

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022/23

Eliška Pavelková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Zobrazení nádoru mozku pomocí PET/CT s 18F-MISO

Bakalářská práce

2023

Eliška Pavelková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Eliška Pavelková**
Osobní číslo: **Z20114**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Zobrazení nádorů mozku pomocí PET/CT s 18F-MISO**
Téma práce anglicky: **Display of brain tumors using PET/CT with 18F-MISO**
Zadávající 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:

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-2162-5.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, c2007, 185, xiv s. ISBN 978-80-903-5849-2.

MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 978-80-244-1723-3.

Principy a praxe radiační ochrany. 1. vyd. Editor Vladislav Klener. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, 619 s. ISBN 8023837036.

ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009, 173 s. ISBN 978-80-7368-669-7.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jiří Doležal, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. dubna 2023**

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

L.S.

Mgr. Zuzana Červenková, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. března 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem zobrazení nádoru mozku pomocí PET/CT s 18F-MISO 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., 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 21.4. 2023

Eliška Pavelková v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi Ph.D. za jeho odborné vedení bakalářské práce, cenné rady, věcné připomínky a jeho vstřícný a trpělivý přístup. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové, za jejich ochotu, vstřícnost a zodpovězení všech potřebných informací ke zpracování mé praktické části bakalářské práce.

ANOTACE

Diagnostické vyšetření PET/CT s 18F-MISO se využívá v onkologii k zobrazení hypoxických tkání solidních tumorů. Vyšetření se provádí na oddělení nukleární medicíny za pomoci radiofarmaka fluoromisonidazolu (18F-MISO).

KLÍČOVÁ SLOVA

PET/CT, tumor mozku, radiofarmakum, hypoxie

TITLE

Display of brain tumors using PET/CT with 18F-MISO.

ANNOTATION

The diagnostic examination PET/CT with 18F-MISO is used in oncology to visualize hypoxic tissues of solid tumors. The examination is carried out in the nuclear medicine department using the radiopharmaceutical fluoromisonidazole (18F-MISO).

KEYWORDS

PET/CT, brain tumor, radiopharmaceutical, hypoxic

OBSAH

Úvod	14
1 Cíle a metody práce	15
1.1 Cíl práce	15
1.2 Metody k dosažení cíle	15
Teoretická část	16
2 Nukleární medicína	16
3 Základní fyzikální pojmy	17
3.1 Atom	17
3.2 Radioaktivita	17
3.3 Přirozená radioaktivita	18
3.4 Umělá radioaktivita	18
3.5 Druhy radioaktivního zařízení	18
3.5.1 Přeměna (rozpad) alfa	18
3.5.2 Přeměna (rozpad) beta –	18
3.5.3 Přeměna (rozpad) beta +	18
3.5.4 Záření gama	18
3.6 Energie	19
3.7 Aktivita	19
3.8 Přímě ionizující záření	19
3.9 Nepřímě ionizující záření	20
3.10 Absorbovaná dávka	20
3.11 Interakce Alfa s prostředím	21
3.12 Interakce β s prostředím	21
3.13 Interakce Gama s prostředím	21
4 Radiofarmaka	23
4.1 Cyklotron	23

4.2	Jaderný reaktor.....	23
4.3	Generátor	24
4.4	Typy radiofarmak	24
4.5	Příprava radiofarmak	24
4.6	Kontrola radiofarmak.....	25
5	Účinky ionizujícího záření.....	26
5.1	Deterministické účinky	26
5.2	Stochastické účinky	27
6	Radiační ochrana.....	28
6.1	Koncepce radiační ochrany.....	28
6.2	Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření.....	29
6.2.1	Ochrana časem.....	30
6.2.2	Ochrana vzdáleností.....	30
6.2.3	Ochrana stíněním	30
6.2.4	Radiační zátěž pacientů	30
7	Pozitronová emisní tomografie.....	31
7.1	Princip PET.....	31
7.2	Vizualizace a rekonstrukce dat	31
7.3	Fúze obrazů.....	32
7.4	PET/CT	32
7.4.1	Dvojměrné a trojměrné zobrazení	32
7.4.2	Příprava pacienta na vyšetření před PET/CT.....	32
7.5	Kontraindikace PET/CT	33
7.6	Artefakty PET/CT.....	34
7.7	FDG	34
7.8	Další PET radiofarmaka.....	35
7.9	Markery hypoxie.....	35

8	MOZEK	36
8.1	Nádorová onemocnění mozku	37
8.1.1	Diagnostika nádorů mozku	37
8.1.2	Rozdělení nádorů	37
9	praktická část	39
9.1	Kontraindikace.....	39
9.1.1	Těhotenství	39
9.1.2	Kojení	40
9.2	Objednání pacienta k vyšetření pomocí PET/CT	40
9.3	Příprava pacienta k vyšetření.....	41
9.4	Postup provedení vyšetření.....	42
10	Diskuze	44
11	Závěr	45
12	Použitá literatura	46
	Internetové zdroje	47

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 Přístroj PET/CT (vlastní zdroj)	42
Obrázek 2 Laminární box (vlastní zdroj).....	42
Obrázek 3 Olověný vozík pro přepravu radiofarmak (vlastní zdroj).....	43
Obrázek 4 Aplikační místnost (vlastní zdroj).....	43
Obrázek 5 Fixace pacienta a centrace pomocí laseru (vlastní zdroj).....	43

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

^{111}In	$^{111}\text{Indium}$
^{131}I	$^{131}\text{Jód}$
^{15}O	$^{15}\text{Kyslík}$
^{18}F	$^{18}\text{Fluor}$
^{235}U	$^{235}\text{Uran}$
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	$^{81\text{m}}\text{Krypton}$
^{99}Mo	$^{99}\text{Molybden}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{99\text{m}}\text{Technecium}$
ALARA	"as low as reasonably achievable" systém optimalizace radiační ochrany
Apod.	A podobně
Bq	Becquerel
CT	Výpočetní tomografie
č.	číslo
ČR	Česká republika
FZS	Fakulta zdravotnických studií
Gy	Gray
keV	kilo elektron volt
MR	Magnetická rezonance
např.	například
PET	Pozitronová emisní tomografie
s.	strana

SPECT	Jedno-fotonová emisní výpočetní tomografie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
Tzv.	Takzvaně
UPCE	Univerzita Pardubice

ÚVOD

Tato bakalářská práce nese název zobrazení nádoru mozku pomocí PET/CT s fluoromisonidazolem. Cílem práce je komparace provedení vyšetření ve FNHK a jiných českých nemocnicích spolu se zahraničními zdroji. U maligních nádorů je často rozhodující přesná identifikace a lokalizace léze, proto byl sestaven hybridní PET/CT systém, který díky svému vysokému rozlišení a detailnímu anatomickému znázornění CT s PET dosahuje kvalitnějších a přesnějších výsledků. Tato kombinace a dostupnost společně registrovaných obrázků je nesmírně užitečná pro stanovení stádia a plánování léčby.

V teoretické části jsou základní informace o nukleární medicíně, anatomii mozku a radiační ochraně. Dodržování pravidel nukleární medicíny je velmi důležité jak pro zaměstnance, tak pro pacienty. Zároveň jsou zmíněny informace o využívaných radiofarmakách a o přístrojích, které se v rámci vyšetření používají.

V praktické části je popsán samotný postup vyšetření. Jsou v ní popsány důvody k indikaci a případné kontraindikace, které mohou být důvodem k tomu proč, není možné vyšetření provést. Je zde popsána příprava k vyšetření a následné vyhodnocování vyšetření.

[¹⁸F] MISO je v současnosti nejrozšířenější radiofarmakum ke studiu hypoxie nádorů za použití PET zobrazení. Přestože obecně lze [¹⁸F] MISO aplikovat pro stanovení hypoxie u celé řady tumorů, nejčastější použití nachází u nádorů centrální nervové soustavy (meningiomů a vysoce maligních gliomů) a zhoubných nádorů hlavy a krku. Distribuce tohoto radiofarmaka v organismu probíhá nezávisle na krevním průtoku, čímž nabízí vhodný a v současné době velmi rozšířený způsob neinvazivního stanovení hypoxie tkání. Bylo prokázáno, že v porovnání s normálními buňkami, jsou hypoxické buňky několikanásobně rezistentnější k ionizačnímu záření, což vede k následné rezistenci k radioterapii. Proto je v takovéto tkáni potřeba ozařovat 2,5 až 3,5krát vyšší dávkou než v tkáni s normální saturací kyslíkem, aby mělo ozařování stejný radioterapeutický efekt. Právě vzrůstající potřeba detekce míry hypoxie, coby prognostického markeru vyústila ve snahu stanovit rozsah hypoxie co nejobektivněji. Zlatým standardem pro stanovení množství kyslíku bývala invazivní metoda pomocí kyslíkové elektrody. V současnosti je nejvíce studovanou neinvazivní metodou stanovení hypoxie právě kombinace radiofarmaka [¹⁸F] MISO se zobrazením pomocí PET.

Pro klinické aplikace je [¹⁸F] MISO používáno již přes 10 let v řadě zemí v Evropě, USA i Austrálii a v současnosti je nejrozšířenějším přípravkem pro stanovení míry hypoxie v onkologických i neonkologických indikacích.

1 CÍLE A METODY PRÁCE

1.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bylo popsat úlohu radiologického asistenta při vyšetření zobrazení nádoru mozku pomocí PET/CT s 18F-MISO. Vysvětlit princip vyšetření a jeho přínos v diagnostice onemocnění. Zároveň by měla ukázat jeho nevýhody a případná rizika.

1.2 Metody k dosažení cíle

Porovnání vyšetření PET/CT s 18F-MISO u pacientů s nádorem mozku ve více nemocničních zařízeních. Popsání průběhu vyšetření.

TEORETICKÁ ČÁST

2 NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

Obor nukleární medicína je samostatný medicínský obor, jehož podstatou je aplikace radioaktivní látky pro diagnostické i terapeutické účely. Pro správnost zobrazení požadovaných struktur se využívá radiofarmaka, která jsou převážně ve formě roztoků, suspenzí, aerosolů či plynů. Diagnostika v nukleární medicíně patří mezi neinvazivní, minimálně zatěžující vyšetření, díky nimž nám jsou poskytnuty informace jak o anatomii požadovaných orgánů (případně jejich změnách), tak i informace o jejich funkčnosti. (Mysliveček, 2007)

Diagnostické metody v nukleární medicíně využívají radioaktivních látek nazývaných radiofarmaka, které se aplikují do těla pacienta. Tyto látky mohou být pozorovány pomocí detektorů, které dokážou zachytit záření, které vysílají. Diagnostika může probíhat jak v těle pacienta (in vivo), tak i pomocí vzorků krve a tkání odebraných pacientům (in vitro), kde se měří hladiny různých látek, jako jsou hormony a nádorové markery. (Koranda et al, 2014)

Pro terapeutické účely jsou využívány zářiče s krátkým doletem, jako jsou zářiče beta a alfa. Tyto zářiče mají vysokou energii, ale dokážou ji v těle pacienta absorbovat pouze na malé vzdálenosti, čímž minimalizují poškození okolních tkání. Na rozdíl od diagnostických zářičů se v terapii využívá především záření alfa a beta, avšak gama záření má také své místo v některých terapeutických postupech. (Mysliveček, 2007)

3 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ POJMY

Tyto pojmy jsou zásadní pro pochopení principů, na kterých je založena nukleární medicína. Atom je nejmenší částice prvku, která se skládá z jádra a elektronů obíhajících kolem něj. Některé atomy jsou radioaktivní a mohou se přeměňovat na jiné prvky. Radioaktivita se týká vlastností atomů, které vyzařují záření, když se přeměňují. Tyto přeměny mohou být spontánní nebo vyvolané vnějšími vlivy. Energie se v nukleární medicíně používá k popisu vlastností záření. Záření může být vysokého nebo nízkého energetického potenciálu. Aktivita je měřítkem množství radioaktivního materiálu a udává, kolik radioaktivních přeměn se v daném čase odehraje. Poločas přeměny je doba, za kterou se polovina radioaktivního materiálu přemění na jiný prvek. Interakce záření s hmotou je důležitá pro pochopení toho, jak záření proniká do těla pacienta a jak na něj reagují tkáně. Tyto interakce mohou být různé v závislosti na druhu záření a materiálu, na který záření dopadá. (Ullmann, 2009)

3.1 Atom

Atomy jsou nejmenší stavební bloky běžné hmoty, skládají se z protonů a neutronů v jádře a elektronů v obalu. Počet protonů v jádře je stejný jako počet elektronů v obalu, což zajišťuje elektrickou neutralitu atomu. Nuklidy jsou prvky se stejným počtem neutronů a protonů v jádře, zatímco izotopy mají stejný počet protonů, ale odlišný počet neutronů. Nestabilní izotopy se nazývají radionuklidy a mají specifické charakteristiky, jako je druh, energie a poločas přeměny. Radioaktivní přeměny způsobují změnu počtu protonů a/nebo neutronů v jádře, což snižuje jeho vazebnou energii a uvolňuje energii v podobě záření. Elektrony obíhají jádro na kvantových drahách (orbitách), přičemž každá dráha má specifickou maximální kapacitu pro elektrony. Přemístění elektronu na jinou dráhu může nastat při dodání energie, která je větší než vazebná energie dané dráhy. Vyrazení elektronu z obalu a ionizace jádra se stane, když je dodána dostatečně velká energie. (Ullmann, 2009)

3.2 Radioaktivita

Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilních jader izotopu jednoho chemického prvku v jádra izotopu jiného chemického prvku, za současného uvolňování energie. Během tohoto procesu vzniká ionizující záření. (Ullmann, 2009)

3.3 Přírozená radioaktivita

Přírozená radioaktivita byla poprvé objevena roku 1896 francouzským fyzikem Henri Becquerelem. Především ji ale studovali manželé Pierre Curie a Marie Curie-Sklodovská. Všichni tři za tyto přínosy získali Nobelovu cenu za fyziku. (Ullmann, 2009)

3.4 Umělá radioaktivita

Umělá (indukovaná) radioaktivita byla poprvé objevena roku 1934 ostřelováním hliníku částicemi α . Vzniká jadernými reakcemi. (Ullmann, 2009)

3.5 Druhy radioaktivního zařízení

3.5.1 Přeměna (rozpad) alfa

Částice alfa se skládá z jádra helia, což znamená dva protony a dva neutrony. Při rozpadu tohoto jádra se uvolní energie, která odpovídá hmotnostnímu úbytku jádra, a částice alfa je emitována. Rozpad může nastat u izotopů těžkých prvků, jako je například radium-226. Nově vzniklý nuklid má o dva protony méně, což znamená, že se posune o dvě místa vlevo v periodické tabulce prvků. I když záření alfa má silné ionizační účinky, jeho pronikavost je malá. Jeho dosah v tkáni je pouze 0,1 mm a lze ho snadno odstínit například listem papíru. Z tohoto důvodu se často využívá v neutronových generátorech a přístrojích na detekci záření. (Ullmann, 2009)

3.5.2 Přeměna (rozpad) beta –

Rozpad β^- je nejčastějším druhem radioaktivity. Neutron v atomovém jádru emituje elektron s elektronovým antineutrinem, přičemž se změní na proton. Protonové číslo se zvětší o jedna. Pronikavost β^- je větší než pronikavost α . Ve tkáni má dolet několik mm ve tkáni a tím pádem je vhodná pro terapii. (Ullmann, 2009)

3.5.3 Přeměna (rozpad) beta +

Při rozpadu β^+ proton v jádru emituje pozitron a elektronové neutrino a změní se na neutron. Nukleonové číslo zůstává stejné a protonové číslo se o jedno zmenší. (Ullmann, 2009)

3.5.4 Záření gama

Gamma záření je elektromagnetické záření s nejvyšší energií a nejkratší vlnovou délkou ze všech typů elektromagnetického záření. Vzniká při radioaktivním rozpadu atomů a nemá žádnou hmotnost ani náboj. Je velmi pronikavé a dokáže procházet i tlustými stěnami materiálů. To z něj dělá důležitý nástroj v medicíně, průmyslu a výzkumu. Gamma záření se používá v

radioterapii ke zničení nádorových buněk, v jaderné medicíně k diagnostice a terapii onemocnění a v průmyslu k měření tloušťky materiálů a detekci defektů.

Gama záření vzniká jako součást radioaktivního rozpadu jader spolu s alfa a beta zářením. Jádro se při tomto procesu musí zbavit nadbytečné energie vysláním elektromagnetického záření v podobě gama paprsků. V jádru se při tomto procesu nemění počet protonů a neutronů. Při emisi gama paprsků z jádra atomu je v atomovém obalu vyražen elektron, který přebírá celou energii gama paprsků a tím je energie elektromagnetického záření pohlcena. (Ullmann, 2009)

3.6 Energie

Energie záření se vztahuje k vlnové délce nebo frekvenci záření. Vyjadřujeme ji v jednotkách Joulu. Platí vztah $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$. Čím kratší je vlnová délka nebo vyšší frekvence, tím vyšší je energie záření. Tento vztah je popsán v rovnici $E=h\nu$, kde E je energie fotonu (kvanta elektromagnetického záření), h je Planckova konstanta a ν je frekvence záření. V nukleární medicíně využíváme energie od 30keV maximálně do několika desítek keV . Čím větší energie, tím větší pronikavost daného záření.

Energie záření má důležitý vliv na biologické účinky záření. Vysoká energie ionizujícího záření (například gama záření) může způsobit přímé poškození buněčného materiálu, zatímco nízká energie neionizujícího záření (například radiové vlny) obvykle nemá takové biologické účinky. Různé druhy záření mají také různé účinky na tkáň v závislosti na jejich energii. (Koranda et al, 2014)

3.7 Aktivita

Aktivita je definována jako počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Označuje se obvykle písmenem A a její jednotkou v SI soustavě je becquerel (Bq), což znamená jednu přeměnu za sekundu. Aktivita je důležitým parametrem při studiu radioaktivních látek a procesů. Aktivita je důležitá při určování dávky záření, protože je to právě aktivita, která určuje, kolik radioaktivního materiálu se v daném čase rozpadne a vyslání ionizujícího záření. (Ullmann, 2009)

3.8 Přímě ionizující záření

Přímě ionizující záření je typ ionizujícího záření, které má dostatečnou energii k tomu, aby přímě interagovalo s atomy či molekulami látek, kterými prochází, a mohlo tak způsobit jejich ionizaci či excitaci. Obsahuje elektricky nabitě částice. Během jejich interakce dojde k úbytku jejich energie a následný dolet v tkáni je krátký. V medicíně se používá k diagnostice a léčbě nádorových onemocnění a k ozařování pacientů v různých diagnostických a terapeutických

procedurách. Příkladem přímo ionizujícího záření jsou například rentgenové paprsky, gama záření, beta záření nebo alfa záření. (Koranda et al, 2014)

3.9 Nepřímo ionizující záření

Nepřímo ionizující záření je typ ionizujícího záření, které interaguje s molekulami látek, kterými prochází, ale nemá dostatečnou energii k přímému ionizačnímu účinku. Namísto toho vytváří tzv. excitované molekuly a iontové páry ve vodivém prostředí, které následně mohou reagovat s jinými molekulami a ionty v okolí a způsobit tak ionizaci. Příkladem nepřímo ionizujícího záření je RTG záření, záření gama a neutrony.

Fotoelektrický jev popisuje interakci mezi elektromagnetickým zářením a látkou, při které foton (kvanta elektromagnetického záření) předá svou energii elektronu v látce, což způsobuje uvolnění elektronu z atomu nebo molekuly. Při fotoelektrickém jevu foton interaguje s elektronem na vnitřních orbitách atomu a způsobuje jeho ionizaci. Na druhé straně, Comptonův rozptyl popisuje interakci mezi fotonem a volným elektronem v látce, při které foton ztrácí část své energie a mění svůj směr. Během Comptonova rozptylu elektron absorbuje část energie fotonu a v důsledku toho se vymrští z atomu. Při fotoelektrickém jevu se elektron uvolňuje z atomu a může způsobit ionizaci dalších atomů v látce, což může vést k výrazným biologickým účinkům a poškození tkání. Comptonův rozptyl může vést k produkci volných elektronů, které mohou také způsobit ionizaci dalších atomů v látce, ale obvykle má méně významné biologické účinky než fotoelektrický jev. Využití obou těchto jevů v medicíně zahrnuje například použití rentgenového záření k diagnostice a léčbě nádorů, kde se využívá schopnost ionizovat a poškozovat buňky. (Ullmann, 2009)

3.10 Absorbovaná dávka

Absorbovaná dávka (D) je fyzikální veličina popisující množství ionizujícího záření, které je absorbováno v látce. Je vyjádřena v jednotkách gray (Gy), což odpovídá absorbované energii ionizujícího záření v joulech (J) na kilogram hmoty látky. Absorbovaná dávka se používá k posouzení biologických účinků ionizujícího záření na tkáně a orgány. Dávka závisí na mnoha faktorech, jako jsou typ a energie ionizujícího záření, druh a složení absorbované látky, tloušťka absorbované vrstvy a doba expozice. Protože různé druhy tkání mají různou citlivost na ionizující záření, používají se k vyjádření biologických účinků ionizujícího záření další veličiny, jako je efektivní dávka a ekvivalent dávky. Absorbovanou dávku mohou lidé dostávat z různých zdrojů, jako jsou rentgenové přístroje, jaderné elektrárny, radioaktivní materiály a kosmické záření. Při určování rizik ionizujícího záření je důležité brát v úvahu nejen

absorbovanou dávkou, ale také ostatní faktory, jako jsou frekvence vystavení, doba expozice a individuální citlivost na ionizující záření. (Koranda et al, 2014)

3.11 Interakce Alfa s prostředím

Alfa částice jsou částice s vysokou energií, které se skládají z dvou protonů a dvou neutronů. Tyto částice mají schopnost silně ionizovat okolní atomy a molekuly, což znamená, že mohou způsobit poškození biologických tkání, když se dostanou do lidského těla. Kvůli svému krátkému dosahu jsou alfa částice ideální pro léčbu nádorů a metastáz v kostech, protože mohou cíleně ničit nádorové buňky. Nicméně, pacienti, kteří jsou vystaveni alfa záření, mají zvýšené riziko stochastických účinků, což jsou biologické účinky, které se mohou projevit s určitou pravděpodobností, i při nízkých dávkách ionizujícího záření. Mezi stochastické účinky patří například rakovina a genetické změny. To znamená, že při použití alfa částic jako léčby nádorů je důležité pečlivě zvážit rizika a přínosy této metody a zvolit adekvátní ochranná opatření k minimalizaci rizik pro pacienta. (Koranda et al, 2014)

3.12 Interakce β s prostředím

Beta záření se skládá z rychlých elektronů, které mají menší hmotnost než alfa částice. To znamená, že mají delší dosah než alfa záření, ale stále jsou schopny ionizovat atomy a molekuly v tkáni. Využívají se zejména v léčbě rakoviny, kdy se využívají zářiče beta, které mají schopnost proniknout do cílového objemu tkáně a uvolňovat svou energii přímo v této oblasti. Pro léčbu štítné žlázy se často využívá radioizotop ^{131}I , který vysílá smíšené beta a gamma záření. Tento radioizotop se vstříkne do těla pacienta a následně se hromadí ve štítné žláze, kde uvolňuje svou energii. Beta záření proniká do tkáně štítné žlázy a ničí nádorové buňky, zatímco gamma záření se šíří po celém těle a umožňuje detekci a zobrazování umístění radioizotopu v těle pomocí speciálních detekčních zařízení.

I přes relativně kratší dosah v porovnání s alfa zářením mohou i beta zářiče způsobovat poškození tkání, pokud jsou použity nevhodně nebo nejsou řádně chráněny. Proto je důležité pečlivě zvažovat použití těchto metod a dodržovat příslušná bezpečnostní opatření. (Koranda et al, 2014)

3.13 Interakce Gama s prostředím

Gama záření může interagovat s prostředím různými způsoby, přičemž záleží na energii gama fotonu a složení materiálu, kterým prochází. Fotony mohou při interakci s tkání způsobit fotoefekt a předat svou energii elektronu na nejbližší vrstvě, nebo se mohou interagovat s molekulami prostředí pomocí Comptonova rozptylu, kdy předají část své energie a pokračují

dál. Tyto procesy vedou k ztrátě energie fotonů a vlivem toho ke vzniku radiační zátěže v těle pacienta. Při diagnostických vyšetřeních mohou fotonové záření procházet tkáněmi a být detekována mimo tělo pacienta, což umožňuje zobrazit vnitřní struktury těla. Nicméně, i když se používají nízké dávky záření pro diagnostiku, mohou zbylé fotony způsobit určitou míru radiační zátěže, která se musí brát v úvahu. (Koranda et al, 2014)

4 RADIOFARMAKA

Radiofarmaka jsou léčiva, která obsahují malé množství radioaktivních látek nazývaných radionuklidy. Tyto látky mají vlastnost vysílat záření, které lze zobrazit pomocí speciálních nástrojů, jako jsou gamma kamery nebo PET skenery. Tyto zobrazovací techniky umožňují lékařům vidět, jak se daná látka chová v těle pacienta, a pomáhají v diagnostice a léčbě různých onemocnění. Vyrábějí v laboratořích, kde se připravuje nosič, ke kterému se přidá radionuklid. Nosič může být organická látka, protein nebo jiná specifická molekula, která se váže na určitou tkáň nebo orgán. Tím se radioaktivní látka dostane do cílového místa a může být zobrazována. U radiofarmak nejvíce pracujeme s jeho poločasem rozpadu. Je to důležitý faktor při jeho výrobě a následném použití. Pro diagnostické účely se nejčastěji využívají látky s krátkým poločasem rozpadu, aby se snížilo riziko radiační expozice pacienta. Naopak pro terapeutické účely se často používají látky s delším poločasem rozpadu, aby bylo možné dosáhnout požadované účinnosti léčby. Příprava těchto radiofarmak je možná pouze v určených laboratořích nukleární medicíny. Je to velmi citlivý proces, který vyžaduje specifickou laboratorní techniku. Musí být vysoce čisté a bezpečné jak pro pacienta, tak i pro zdravotnický personál. (Kraft, Pekárek, 2012)

4.1 Cyklotron

Zkonstruoval ho američan Ernest Orlando Lawrence v roce 1930. Princip cyklotronu spočívá v použití silného magnetického pole, které dráhu nabitě částice zakřivuje do kruhového tvaru. Nabité částice jsou poté urychlovány pomocí oscilujícího elektrického pole, které je synchronizováno s pohybem částice v kruhové dráze. To umožňuje urychlovat částice až na velmi vysoké energie. Lékařské cyklotrony, produkují radiofarmaka pro diagnostické a terapeutické účely. Většina cyklotronů je dnes navržena tak, aby byly schopny produkovat radioizotopy pro medicínské účely s vysokou efektivitou a vysokou čistotou. Příprava těchto radiofarmak se uskutečňuje v cyklotronech přímo na pracovištích nukleární medicíny. Radiofarmakum ^{18}F může být ale převezeno na vzdálené pracoviště, protože jeho poločas přeměny je 110 minut. (Kraft, Pekárek, 2012)

4.2 Jaderný reaktor

Jaderný reaktor je zařízení, které využívá proces štěpení těžkých jader, které mohou být získány například z uranu nebo plutonia. Tento proces umožňuje řízenou uvolňování energie v podobě tepla. Při štěpení jader dochází ke vzniku nuklidů s různými vlastnostmi a některé z nich jsou

radioaktivní. Tyto nuklidy se následně separují. Reaktory se dále využívají v jaderném výzkumu a vývoji nových materiálů. (Kraft, Pekárek, 2012)

4.3 Generátor

Generátor radionuklidů je zařízení, které využívá radioaktivní přeměny pro výrobu krátkodobých radionuklidů. Tyto generátory se liší podle konstrukce, ale jejich princip je stejný. Využívají dlouhodobě rozpadající se radionuklidy jako zdroj krátkodobých radionuklidů. Nejrozšířenějším typem je chromatografický generátor, který se skládá z kolony s adsorbentem, na který je vázán mateřský radionuklid. Při eluci, kdy je kolona promyta sterilním fyziologickým roztokem, se vyloučí krátkodobý radionuklid, který je použit pro medicínské účely. Tímto způsobem lze získat radionuklidy, jako je ^{99m}Tc , který se často používá v diagnostických procedurách. (Kraft, Pekárek, 2012)

4.4 Typy radiofarmak

Radiofarmaka jsou k dispozici v různých formách pro aplikaci do těla pacienta v závislosti na požadovaném účinku a cílovém orgánu. Nejčastěji jsou podávána parenterálně, tedy do žíly, a jsou k dispozici ve formě roztoků, suspenzí a koloidních disperzí. Pokud jsou určena pro perorální podání, jsou k dispozici jako tuhé látky, roztoky nebo emulze. Pro aplikaci do kloubů a podkožního tkáně jsou k dispozici koloidní disperze, zatímco pro intralumbální aplikaci jsou k dispozici roztoky a plyny. Pro terapeutické a zobrazovací účely v břišní dutině jsou k dispozici koloidní disperze a roztoky. Roztoky, emulze apod. se uchovávají ve skleněných lékovkách, kde se jejich zátky může propíchnout či částečně odejmout. Ve složení radiofarmak se mohou vyskytovat stabilizační či bakteriostatické přísady. Radiofarmaka pro perorální podání jsou nejčastěji ve formě želatinových tobolek. Nejvíce obsaženou látkou v těchto tobolkách je jodid sodný. Inhalační radiofarmaka jsou radioaktivní plyny, nejčastěji Krypton. Dále může být ve formě aerosolu. Vybrání správné formy radiofarmaka pro konkrétní aplikaci je důležité pro úspěšné léčení a minimalizaci vedlejších účinků. (Myslivoček, 2007)

4.5 Příprava radiofarmak

Pro bezpečnou práci s radiofarmaky je nutné na oddělení nukleární medicíny dodržovat speciální postupy, které zahrnují přípravu, manipulaci a uchování těchto látek. Pro tyto účely jsou využívána speciální pracoviště, která jsou uspořádána tak, aby minimalizovala riziko expozice radioaktivnímu záření. Pro přípravu radiofarmak se většinou používají roztoky nebo směsi radioaktivních a neaktivních látek, které ředí nebo smísí s kyslíkem. Jsou pečlivě dokumentovány a sledovány. Radiofarmaka mohou být také připravována označením krevních

buněk nebo kmenových buněk, což umožňuje sledovat jejich pohyb a účinnost při léčbě různých onemocnění. (Mysliveček, 2007)

4.6 Kontrola radiofarmak

Kontrola radiofarmak je důležitou částí práce v nukleární medicíně, která zahrnuje soubor opatření, která mají zajistit kvalitu, bezpečnost a účinnost radiofarmak. Zahrnuje například testování stability radiofarmak, čistotu a radioaktivitu, množství a koncentraci radiofarmak, pH hodnotu, sterilitu, pyrogenitu a další parametry. Tyto kontroly se provádějí před uvolněním radiofarmak k použití a opakovaně během skladování, aby byla zajištěna jejich kvalita a účinnost.

Kromě toho jsou prováděny také kontroly prostor, zařízení a pracovních postupů, které mají zajistit bezpečnost při manipulaci s radiofarmaky a minimalizovat rizika pro personál i pacienty. Součástí těchto kontrol jsou například měření radiace, kontrola filtračních systémů, používání ochranných pomůcek a další. Všechny tyto kontroly jsou zaznamenávány v dokumentaci a v souladu s platnými předpisy a normami. Díky tomu jsou radiofarmaka v nukleární medicíně bezpečná a účinná pro diagnostiku a léčbu pacientů. (Mysliveček, 2007)

5 ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Když se záření gama nebo rentgenové záření dostane do tkáně, může se stát jedna ze tří věcí v závislosti na energii záření. Buď záření ztratí část své energie a částečně se absorbuje, nebo předá všechnu svou energii elektronům v obalu a zcela se absorbuje, nebo se v tkáni vůbec neinteraguje a nedochází k absorpci. Buňky se vzhledem k ozáření dělí na radiosenzitivní a radiorezistentní. Radiosenzitivní buňky jsou velmi citlivé na záření a zahrnují pohlavní buňky, střevní epitel a kostní dřev. Na druhé straně jsou radiorezistentní buňky, jako nervové buňky, méně citlivé na ozáření. Rozdělení buněk podle jejich citlivosti na ionizující záření je důležité pro určení rizik spojených s expozicí záření a stanovení přípustného limitu dávky pro jednotlivé profese. Radiosenzitivní buňky jsou citlivé na nízké dávky záření a jejich poškození může vést k poruchám buněčného dělení, mutacím a dalším biologickým změnám. Na druhé straně jsou radiorezistentní buňky odolnější vůči nízkým dávkám záření, ale v případě vysokých dávek mohou být poškozeny a způsobit zdravotní problémy.

V praxi se využívá znalostí o radiosenzitivitě buněk pro cílené ozařování nádorů. Radioterapie je založena na principu, že nádorové buňky jsou radiosenzitivnější než normální buňky a mohou být tedy selektivně zničeny zářením. Tento přístup umožňuje minimalizovat poškození zdravých tkání a zlepšit výsledky léčby. (Karhan, Ptáček, 2007)

5.1 Deterministické účinky

Deterministické účinky ionizujícího záření jsou účinky, které jsou přímo závislé na dávce záření. To znamená, že čím vyšší je dávka ozáření, tím větší jsou následky. Tyto účinky se projevují hlavně u tkání a orgánů, které jsou radiosenzitivní, tedy citlivé na ozáření, jako jsou například kůže, oči, vaječníky, nebo kostní dřev.

Mezi deterministické účinky patří například akutní radiodermatitida, což je zánět kůže způsobený vysokou dávkou záření. Dalším příkladem jsou akutní oční účinky, jako je katarakta, která může nastat při ozáření očí. V důsledku vysoké dávky záření může dojít také k poškození spermií nebo vaječnicků a následnému poškození plodu v případě těhotné ženy.

Deterministické účinky jsou tedy závažné a mohou mít trvalé následky, avšak k jejich projevení musí být překročena určitá kritická dávka ozáření. Proto je důležité dodržovat přísná bezpečnostní opatření při práci s ionizujícím zářením, aby se minimalizovala možnost vystavení vysoké dávce záření a také aby se minimalizovaly rizika spojená s vystavením záření vůbec. (Pelclová, 2014)

5.2 Stochastické účinky

Na rozdíl od deterministických účinků jsou stochastické účinky pouze pravděpodobnostní, tedy nezávisí na dávce záření. Tyto účinky se projevují až po určité době od ozáření a vyskytují se s určitou pravděpodobností. Mezi stochastické účinky patří například vznik mutací v genetickém materiálu buněk, které mohou vést k vzniku rakoviny, nebo poškození krvevorných buněk, což může vést k imunitním poruchám a krvácením. Proto se tyto účinky mohou vyskytovat ale i u lidí, který ozáření nebyli. Riziko vzniku stochastických účinků se zvyšuje s dávkou záření a je důležité minimalizovat riziko expozice ionizujícímu záření na co nejnižší úroveň. (Pelclová, 2014)

6 RADIAČNÍ OCHRANA

V nukleární medicíně je zabezpečení radiační ochrany nezbytné pro bezpečné pracování se zdroji ionizujícího záření. Tato práce je upravena zákonem o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a s ním souvisejícími vyhláškami, jako je například vyhláška č. 307/2002. Je důležité dodržovat předepsaná opatření a postupy pro minimalizaci rizik pro zdraví pacientů, personálu a okolního prostředí. Na rozdíl od jiných odvětví, jako je průmyslové ozáření, lékařské ozáření nepodléhá přísným limitům. Nicméně, aby bylo prováděno bezpečně, musí být jeho přínos vyšší než potenciální rizika, která jsou s ozářením spojena. Proto je důležité při každém rozhodnutí o aplikaci ionizujícího záření zvážit jeho prospěch a případná rizika a použít nejbezpečnější postup pro konkrétní situaci. (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2007)

Máme určité principy, o které se radiační ochrana opírá. Jeden z nich je například princip optimalizace, který pojednává o dávce k aplikaci před vyšetřením. Platí u něj princip ALARA „as low as reasonably achievable“, což znamená „tak nízké, jak je rozumně dosažitelné“. Další z principů pojednává o přínosech a rizicích, která jsou spojená se zdroji ionizujícího záření. Rizika by měla být odůvodnitelná. Jaký zdravotní přínos budou mít pro pacienta a celkově pro lidstvo. Dále musí být zajištěn prostor, kde se zdroje ionizujícího záření nachází a musí být stanoveny mezní hodnoty dávky, které nesmí být překročeny. Mezní hodnoty mají zamezit vzniku deterministických účinků a snížit rozvoj stochastických účinků. (Calabria, Schillaci, 2017)

6.1 Koncepce radiační ochrany

Záhy po objevení radioaktivity a rentgenového záření se objevily první případy poškození zdraví osob, které s těmito zdroji záření experimentovali a později využívali především v lékařských aplikacích. Dříve mohly být zaznamenány pouze viditelné účinky ozáření, jako je například zarudnutí kůže. Pozorovány tak byly ale pouze přímé reakce organismu na intenzivní ozáření, které bychom z dnešního pohledu hodnotili jako deterministické účinky. Teprve na počátku 50.let minulého století byly k dispozici systematické poznatky o stochastických účincích, jejichž hlavním projevem je nádorového bujení u ozářených lidských tkání nebo orgánů. Tento účinek záření byl prokázán v řadě epidemiologických studií, kde u ozářené skupiny osob byl pozorován zvýšený výskyt případů rakoviny oproti kontrolní skupině osob, které ozářeny nebyly.

K udržení ozáření na akceptovatelné úrovni bylo nezbytně nutné vyvinout také metody jeho měření, respektive jeho monitorování. Tím se kontrolují stanovené úrovně ozáření zejména se

snahou zamezit jejich překročení. K tomu slouží různá měřidla a senzory záření, kde úsilí bylo zaměřeno na možnosti interpretace naměřených výsledků pomocí veličin určených k popisu biologických účinků ozáření. (Kubinyi, 2018)

6.2 Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření

Monitorování se uskutečňuje na všech pracovištích nukleární medicíny, které využívají otevřených záříčů. Program je sestaven z monitorování celého pracoviště, z osobního monitorování a z monitorování výpustí. Hlavními opatřeními jsou tzv. radiační ochrana a bezpečnost práce. Radiační ochrana zahrnuje například přesné dávkování ozáření, ochranu proti nebezpečnému záření pomocí vhodných materiálů a ochranných oděvů, větrání prostor, kde se pracuje s radioaktivními látkami, a úpravy prostor pro skladování a manipulaci s radioaktivními zdroji. Bezpečnost práce zahrnuje například školení zaměstnanců, jak s radioaktivními látkami pracovat bezpečně, využívání osobních ochranných prostředků, pravidelné kontroly zdrojů ionizujícího záření a řádné označování a zabezpečování místa, kde jsou radioaktivní látky skladovány. Každý pracovník, který přichází do styku s radioaktivními zdroji, musí být kvalifikovaný a mít dostatečné školení pro práci s těmito látkami. Pracovníci musí být informováni o možných rizicích a opatřeních k minimalizaci rizika. Kromě toho musí být v místě, kde se s radioaktivními zdroji pracuje, k dispozici přístroje pro měření dávky záření, které umožní monitorovat množství záření a přijmout nezbytná opatření.

Při práci s ionizujícím zářením je velmi důležité, aby pracovníci byli chráněni před nebezpečnými účinky záření. Proto jsou pracovníci kategorie A, kteří jsou vystaveni nejvyššímu riziku, povinni nosit osobní dozimetry na hrudníku. Tyto dozimetry sledují úroveň ozáření pracovníka po určitou dobu, která bývá obvykle měsíc nebo tři měsíce. Kromě toho se na pracovištích, kde hrozí riziko vnitřního ozáření, provádí měření aktivity radiofarmak v těle nebo exkretách pracovníka. Jedná se například o pracoviště, kde se využívá ^{131}I k léčbě. Tato opatření jsou důležitá pro ochranu zdraví pracovníků a minimalizaci rizik spojených s prací s ionizujícím zářením. Za tímto účelem existuje celostátní služba osobní dozimetrie, která se specializuje na sledování a vyhodnocování úrovní ozáření pracovníků.

Pro zajištění bezpečnosti při práci s ionizujícím zářením se provádí monitorování výpustí, kde se měří objemová aktivita radionuklidů v odpadní vodě. Tato voda prochází čističkou a následně se vypouští do kanalizace. Každé pracoviště musí mít monitorovací program, který určuje povolené hodnoty měrných veličin, a ty nesmí být překračovány. To zajišťuje ochranu zdraví a životního prostředí. (Sabol, 2018)

6.2.1 Ochrana časem

Dávku, kterou pracovník obdrží, je závislá na době, kdy se pracovník pohybuje v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Tedy, čím kratší dobu budeme v jeho blízkosti, tím menší dávku obdržíme. (Calabria, Schillaci, 2017)

6.2.2 Ochrana vzdáleností

Vzdálenostní ochrana je založena na principu, že čím dále se osoba nebo objekt nachází od zdroje ionizujícího záření, tím nižší bude dávka záření. To znamená, že vzdálenost od zdroje ionizujícího záření může být účinným způsobem, jak snížit expozici ionizujícímu záření. Je to způsob, jak minimalizovat riziko expozice radiačnímu záření a zajištění bezpečnosti pracovníků v oblasti nukleární medicíny. (Calabria, Schillaci, 2017)

6.2.3 Ochrana stíněním

V oblasti nukleární medicíny se věnuje velká pozornost ochranným opatřením proti záření, mezi které také patří použití ochranných materiálů. Olovo je jedním z nejčastěji používaných materiálů pro ochranu před zářením, a to díky svým vynikajícím stínícím vlastnostem. Radiofarmaka jsou obvykle uložena ve speciálních stříkačkách, které jsou poté uloženy v olověných ochranných krytech, aby se minimalizovala expozice radiačního pracovníka. Olověné kontejnery jsou také používány k přepravě radiofarmak do a ze zamýšleného místa použití. Pro ukládání radioaktivního odpadu jsou používány speciální prostředky, jako jsou olověné kontejnery a kryty odpadkových košů, aby se zabránilo úniku radiace a minimalizovala expozice zdravotnického personálu a veřejnosti. (Karhan, Hušák, Ptáček, 2014)

6.2.4 Radiační zátěž pacientů

V nukleární medicíně je radiační zátěž pro pacienty vyjádřena pomocí střední absorbované dávky v orgánech a tkáních, spolu s efektivní dávkou, která se vypočítává z ekvivalentní dávky pro daný orgán. Tyto dávky jsou ovlivněny aktivitou použitého radiofarmaka, jeho biokinetikou a rozložením v těle pacienta. Pro snížení radiační zátěže se používají různé metody, jako je například dostatečné pití tekutin, které urychlí vylučování radioaktivní látky z těla. Taktéž se používají ochranné kryty a kontejnery s olověným stíněním, a speciální postupy pro manipulaci s radiofarmaky, aby se minimalizovala expozice radiačnímu záření. Zkoumání a výpočty středních hodnot absorbovaných dávek a efektivních dávek jsou nezbytné pro řádné plánování a provádění diagnostických a terapeutických postupů v nukleární medicíně. (Calabria, Schillaci, 2017)

7 POZITRONOVÁ EMISNÍ TOMOGRAFIE

PET je moderní diagnostická metoda, která využívá radiofarmak, obsahující značené radionuklidy emitující pozitrony a následně anihilační záření, k zobrazení fyziologických a patologických dějů v lidském těle. Detektory umístěné kolem pacienta registrují anihilační záření a po počítačovém zpracování dat získáme trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka v těle pacienta. Nejčastěji používaným radiofarmakem je FDG značený radioizotopem fluoru ^{18}F . PET se využívá především v onkologické diagnostice, kde umožňuje identifikovat maligní nádory a jejich metastázy na základě zvýšeného metabolismu glukózy. Na základě toho jsme schopni stanovit optimální strategii léčby a monitorovat její progres. Detekcí viabilních nádorových buněk, vyšetření umožňuje též diagnostikovat recidivu onemocnění (např. při elevaci nádorových markerů). PET zaujímá místo též v diferenciální diagnostice maligních a benigních lézí. Nevýhodou PET je omezená schopnost přiřadit patologické ložisko k určité anatomické struktuře. Tento problém však odstraňují hybridní přístroje PET/CT, což jsou kombinace PET scannerů s rentgenovou výpočetní tomografií. Umožňují získat současně funkční i anatomické zobrazení orgánů a lézí v těle pacienta. Tento typ vyšetření poskytuje i data pro přesnější a šetrnější provádění zevní radioterapie na lineárním urychlovači. (Fraiola, 2019)

7.1 Princip PET

Princip PET spočívá v podání radioaktivně označené látky, tzv. radiofarmaka, které se uvolní v metabolicky aktivních tkáních a emitují pozitrony během radioaktivní přeměny. Pozitrony následně interagují s elektrony v okolí a vznikají dva gama fotony s energií 511 keV, které se šíří v opačných směrech. Tyto fotony jsou detekovány pozitronovou emisní kamerou, která detekuje dva fotony současně v různých polohách. Tyto koincidence jsou poté analyzovány a pomocí speciálních algoritmů jsou vypočítány třírozměrné obrazy distribuce radioaktivní látky v těle pacienta. (Fraiola, 2019)

7.2 Vizualizace a rekonstrukce dat

Rekonstrukcí transaxiálních řezů a jejich prostorovou orientací lze v PET snímání vytvořit sagitální, koronární a šikmé řezy, což poskytuje informace o prostorových souřadnicích. Z těchto informací se odvozují tři objemová data, tj. hodnota naměřené aktivity radiofarmaka, jeho pozdější aktivita bez korigování absorpce a jeho absorpční koeficient s korigováním. Tyto údaje se využívají pro zobrazovací a diagnostické účely, kde se pomocí postprocessingu

upravuje snímek podle potřeb lékaře. Tím lze určit zájmovou oblast pro další vyšetření a léčbu pacienta. (Ferda, 2009)

7.3 Fúze obrazů

PET je sice funkčním zobrazovacím vyšetřením, ale oproti anatomickým zobrazovacím metodám jako je CT nebo MRI pokulhává ve schopnosti přesně lokalizovat ložisko. Pomocí výpočetních algoritmů je možné vytvořit vzájemnou prostorovou registraci tomografických řezů PET s CT či MRI, z čehož vznikne jeden fúzní obraz. Lze tak přesněji lokalizovat funkční abnormalitu či naopak funkčně charakterizovat anatomickou lézi. Většímu rozšíření této procedury brání především organizační aspekty a stejná poloha pacienta při obou vyšetřeních. Řešením se stala generace PET/CT skenerů. PET a CT skenery jsou integrovány do jednoho přístroje, díky čemuž je možné provést obě vyšetření naráz. (Ferda, 2009)

7.4 PET/CT

Dnešní moderní zobrazovací technika přináší kombinaci PET a CT v jednom přístroji, což se nazývá hybrid PET/CT. Tento přístroj nahrazuje samostatný PET skener, protože umožňuje získat nejen funkční, ale i anatomické informace. Toho se dosáhlo díky integraci PET skeneru a CT přístroje v jednom gantry, což umožňuje obě vyšetření provést v podobných geometrických a časových podmínkách. Počítačová fúze obrazů pak umožňuje přesné lokalizování patologických změn v těle a zároveň poskytuje přesný anatomický detail. Tento vývoj zobrazovací techniky výrazně zlepšil diagnostické možnosti a přesnost zobrazování. (Ferda, 2009)

7.4.1 Dvojrozměrné a trojrozměrné zobrazení

PET skener se skládá z několika prstenců s bloky detektorů, které směřují axiálně a mají zorné pole cca 15 cm. Při PET vyšetření se může použít buď 2D nebo 3D technika snímání. Při 2D snímání se využívají stínící septa, které vytvářejí mezikruží a umožňují srovnání rovin prstenců pomocí koincidenčních přímk. Pro získání 3D snímku se septa vysunou, což umožní zachytit více fotonů. Avšak 3D snímání je náročnější a vyžaduje kvalitnější detektory, protože je citlivější. Nevýhodou 3D snímání je větší rozptyl záření, ke kterému dochází i v těle pacienta. (Ferda, 2009)

7.4.2 Příprava pacienta na vyšetření před PET/CT

7.4.2.1 Lačnění

Pro zajištění kvalitního zobrazovacího vyšetření je důležité, aby pacient před vyšetřením nejedl po dobu minimálně 6 hodin. Toto lačnění přispívá k udržení bazální hladiny glukózy v krvi,

což je klíčové pro správnou akumulaci 2-18F-fluoro-2deoxy-D-glukózy v cílových tkáních. Pokud by byla hladina glukózy zvýšená, mohlo by to negativně ovlivnit kvalitu získaného obrazu, protože by docházelo k nadměrnému hromadění látky v nezajímavých tkáních jako jsou například svaly nebo střešní stěna. Správné dodržení lačnění je tedy klíčové pro dosažení co nejpřesnějšího výsledku a umožňuje kvalitní diagnostiku. (Votrubová, Máca, 2009)

7.4.2.2 Hydratace

Je velmi důležité, aby pacient udržoval dostatečnou hydrataci po aplikaci radioaktivní látky do organismu. Tím se minimalizuje radiační zátěž a zlepšuje se kvalita obrazu získaného zobrazovacím vyšetřením. Doporučuje se pít neslazené nápoje, které napomáhají k udržení optimální hladiny tekutin v těle. Dostatečná hydratace také chrání pacienta před vznikem nefropatie, což je nežádoucí účinek aplikace jodové kontrastní látky do krevního řečiště. Proto je velmi důležité, aby pacient dodržoval pokyny ohledně hydratace před a po zobrazovacím vyšetření. (Votrubová, Máca, 2009)

7.4.2.3 Kontrola glykémie

Při vyšetření pomocí 2-18F-fluoro-2deoxy-D-glukózy je důležité, aby hladina glukózy v krvi byla u pacienta dostatečně nízká. Pokud by byla hladina glukózy vysoká, může to negativně ovlivnit vztah mezi glukózou a 2-18F-fluoro-2deoxy-D-glukózou a vést k horší kvalitě obrazu. Proto se před vyšetřením měří hladina glykémie v krvi pacienta, a pokud je hodnota vyšší než 10 mmol/l, je třeba podat pacientovi krátkodobě působící inzulin, aby se hladina glukózy v krvi korigovala. (Votrubová, Máca, 2009)

7.5 Kontraindikace PET/CT

PET/CT je poměrně bezpečná a nenáročná diagnostická metoda, kterou lze provádět u většiny pacientů. Nicméně, existují určité situace, kdy je tato metoda kontraindikována a nelze ji provést. Největší kontraindikací pro PET/CT je jednoznačně těhotenství, protože se nedoporučuje vystavovat plod záření. Další kontraindikací jsou pacienti s některými typy alergií nebo s náchylností k alergickým reakcím na injekční kontrastní látky. V těchto případech se může použít jiná diagnostická metoda, nebo se může provést PET/CT bez kontrastní látky. Kontraindikací je také klaustrofobie, která neumožňuje pacientovi nehybně ležet na lůžku déle jak 10 min. Pro tyto případy se pacienti za pomoci anesteziologa nechávají uspat a po ukončení vyšetření a vyvedení pacienta z anestezie jsou odvezeni na tzv. „dospávací“ pokoj, kde jsou do celkového probuzení monitorováni příslušným personálem. Pacienti s těžkými onemocněními jater nebo ledvin, kteří nemohou eliminovat kontrastní látky z těla, jsou také kontraindikováni

pro tuto diagnostickou metodu. Další kontraindikací jsou akutní infekční onemocnění, protože mohou ovlivnit výsledky testu. Všechny kontraindikace by měly být zváženy individuálně a konzultovány s lékařem, aby se rozhodlo, zda je PET/CT vhodná diagnostická metoda pro daného pacienta. (Votrubová, Máca, 2009)

7.6 Artefakty PET/CT

Mezi nejčastější artefakty patří tzv. "respirační artefakty", které jsou způsobeny pohybem pacienta během vyšetření. Pohyby pacienta mohou být způsobeny například dýcháním, které může vést k rozmazání obrazu. Dalším běžným artefaktem je "metabolický artefakt", který může být způsoben nesprávným rozložením radiotraceru v těle pacienta nebo jeho příliš rychlým metabolismem. Tyto artefakty mohou mít za následek falešně pozitivní nebo falešně negativní výsledky vyšetření.

Aby se minimalizovalo riziko vzniku artefaktů, je důležité pečlivě připravit pacienta na vyšetření a zajistit, aby byl přístroj správně nastaven. Některé artefakty lze také eliminovat pomocí počítačových algoritmů, které korigují obrazová data. (Votrubová, Máca, 2009)

7.7 FDG

Fluorodeoxyglukóza (FDG) je radioaktivní glukózový analog, který se používá jako tracers v pozitronové emisní tomografii (PET). FDG je vstřebávána do buněk a metabolizována jako glukóza, ale nemůže být úplně metabolizována, což vede ke kumulaci FDG v buňkách. FDG-PET je často používán pro zobrazování metabolické aktivity buněk a tkání, protože vysoká hladina FDG v buňkách ukazuje na zvýšenou glykolýzu a metabolickou aktivitu, což může být spojeno s růstem buněk nebo patologickými stavy, jako jsou nádory. Fyziologie FDG tedy spočívá v tom, že FDG je vstřebáván a metabolizován jako glukóza, ale výsledný metabolit není úplně rozložen a hromadí se v buňkách, což poskytuje informace o metabolické aktivitě a funkci tkání. (Kabíčková, Starý, 2002)

Aby se provedlo nejkvalitnější zobrazení mozku nebo zánětu v těle pacienta, je nutná správnost jeho přípravy před vyšetřením. Primárně se snažíte v pacientovi krvi dosáhnout co nejnižší glykemické hodnoty. Proto je zapotřebí, aby 6 h před vyšetřením lačnil. Zvýšená glykémie může zapříčinit špatnou akumulaci radiofarmaka v místě zájmu a tím znemožnit rozlišení nádorových či zánětlivých ložisek od krevního pozadí. Radiofarmakum dále protéká ledvinami a shromažďuje se v močovém měchýři, odkud je fyziologicky vylučován močí. (Šlampa, Petera et al, 2007)

7.8 Další PET radiofarmaka

FDG není jediným radiofarmakem, které lze využít pro diagnostiku nádorů pomocí PET. Různá radiofarmaka se zaměřují na různé vlastnosti nádorových buněk. Například FLT dokáže odhalit mitotickou aktivitu, FET zaměřuje na proteosyntézu a FCH zase na výstavbu fosfolipidových membrán buněk. Každé radiofarmakum tedy může poskytnout specifické informace o nádoru a pomoci při jeho diagnostice a monitorování (Šlampa, Petera et al, 2007)

7.9 Markery hypoxie

Nádorová tkáň se vyznačuje nedostatečným zásobením kyslíkem, což je hlavním znakem růstu nádorového ložiska. Pro detekci hypoxie tkání se nejčastěji využívají markery jako 18F-fluoromisonidazol (F-MISO) a 18F-fluoroerythronitroimidazol (FETNIM), které se váží na makromolekuly buněk v tkáni. Prokázání hypoxie se také často provádí pomocí prvku Cu-ATSM (^{64}Cu (II) diacetyl-di, N4-methylthiosemicarbazon), který selektivně interaguje s tkáněmi a využívá redukčně oxidační mechanismus. (Šlampa, Petera et al, 2007)

8 MOZEK

Mozek je hlavní orgán nervového systému, který zajišťuje řízení tělesných funkcí a umožňuje nám vnímat, myslet, učit se, pamatovat si a reagovat na podněty z okolí. Z fyziologického hlediska se mozku říká centrální nervová soustava. Je složen ze tří hlavních částí, a to z mozečku, středního mozku a mozkové kůry. Mozková kůra je nejvýznamnější částí mozku a zodpovídá za myšlení, vnímání, učení a plánování. Střední mozek řídí základní reflexy a koordinaci pohybů, zatímco mozeček zajišťuje kontrolu koordinace a rovnováhy.

Mozek je uložen v ochranném pouzdře, v takzvaném neurocraniu. Pod kostěným obalem se nachází tři mozkové obaly. Tvrdá plena mozková, měkká plena mozková a pavučnice. Nejsvrchnějším obalem je dura mater encephali, tedy tvrdá plena mozková. Má vazivovou podobu a naléhá na vnitřní plochu lebky. Svým výběžkem sahá až mezi mozkové polokoule. Tvoří stěny žilních splavů, díky nimž odvádí odkysličenou krev z mozku. Střední mozkovou plenu představuje arachnoidea encephali, tzv. pavučnice. Subarachnoideální prostor je vyplněn mozkomíšním mokem, a proto je mozek chráněn před otřesy a nárazy. Z pavučnice vybíhají směrem k mozku tenká vazivová vlákna. Měkká plena mozková (pia mater encephali) naléhá přímo na povrch mozku jako tenká vazivová blána.

Mozkomíšní mok vzniká v hloubi mozkových komor v tzv. choroideláních plexech. Proto není pouze ve výše zmiňovaném subarachnoideláním prostoru okolo mozku, ale také uvnitř komorového systému mozku. Ty představují čtyři vzájemně propojené mozkové komory. Mozkomíšní mok se neustále tvoří a vstřebává. Proudí komorovým systémem, přičemž se dostává do subarachnoideálního prostoru. Přebytek moku se vstřebává prostřednictvím arachnoideálních klků.

Mozek, který váží přibližně mezi 1,3 až 1,4 kilogramy, má vysoké nároky na dodávku živin a kyslíku. Přestože tvoří pouze 2 % průměrného člověka, spotřebovává až 20 % z celkového množství kyslíku v těle. Jinak řečeno, přestože je mozku přiděleno jen malé procento celkové hmotnosti těla, využívá až pětinu z celkového množství kyslíku v těle.

K zajištění dodávky okysličené krve do mozku slouží celkem tři tepny – pravá a levá vnitřní krkavice (arteria carotis interna dextra et sinistra) a bazilární tepna (arteria basilaris), která vzniká ze spojení pravé a levé páteřní tepny (arteria vertebralis dextra et sinistra). Tyto tři zdroje jsou propojeny ve Willisově arteriálním okruhu (cirkulus arteriosus Willisii), který poskytuje cévy, které zásobují jednotlivé oblasti mozku. Mezi tyto cévy patří přední, střední a zadní mozková tepna (arteria cerebri anterior, media et posterior), které poskytují kyslík a živiny pro různé části mozku.

Mozek je složen z miliard neuronů, které přenášejí informace pomocí elektrochemických signálů. Tyto neurony jsou propojeny pomocí synapsí, což jsou malé mezery mezi jednotlivými buňkami, kde se informace přenášejí z jedné buňky na druhou. Tyto signály jsou přenášeny pomocí neurotransmiterů, což jsou chemické látky, které umožňují komunikaci mezi neurony. (Orel, Procházka, 2017)

8.1 Nádorová onemocnění mozku

Onemocnění mozku zahrnují primární karcinomy, které se vyvíjejí z mozkové tkáně a okolních struktur, a sekundární karcinomy, které jsou způsobené metastázemi z jiného místa v těle pacienta. Tyto karcinomy mohou být klasifikovány dle anatomického umístění, jako infratentoriální (pod mozečkem) nebo supratentoriální (nad mozečkem). Příčiny primárních karcinomů mozku nejsou zcela známy, ale existuje řada faktorů, které by mohly hrát roli, včetně expozice chemikáliím jako jsou polychlorované bifenyly, vinylchlorid a další. Dále jsou k této skupině přisuzovány faktory jako jsou traumatická poranění hlavy, ionizující záření a určité virové infekce. U dětí mohou hrát roli také vrozené vady, zatímco u dospělých je genetická predispozice důležitým faktorem. Zatímco onemocnění mozku jsou v populaci celkově poměrně vzácná, u dětí, mladých lidí do 15 let a u osob starších 60 let se vyskytují nejčastěji. (Šlampa, Petera et al., 2007)

8.1.1 Diagnostika nádorů mozku

Příznaky mozkomíšních nádorů zahrnují zejména změny nálady a chování (jako agresivita a labilita), bolesti hlavy a epileptické záchvaty. Výpočetní tomografie (CT), magnetická rezonance (MR) a pozitronová emisní tomografie (PET) jsou nejčastěji používané diagnostické metody pro zobrazování zánětlivých lézí v centrálním nervovém systému. Stereotaktická biopsie a cytogenetické vyšetření jsou nezbytné pro diagnózu a určení typu nádoru. Diagnostiku nádorů v oblasti mozku je obtížné a někdy nelze dosáhnout definitivní diagnózy. Pro pacienty, u kterých se předpokládá metastazování, se provádí vyšetření plic, orgánů a kostí. (Šlampa, Petera et al., 2007)

8.1.2 Rozdělení nádorů

Nádory mozku jsou skupinou onemocnění, které se vyskytují v mozku a mohou být buď benigní (nezhoubné) nebo maligní (zhoubné). Tyto nádory mohou být primární, což znamená, že vznikají přímo v mozku, nebo sekundární, což znamená, že jsou důsledkem rozšíření rakovinných buněk z jiné části těla, jako jsou plicní nádory nebo nádory prsu.

Nádory mozku se dělí na různé typy podle toho, z jakých buněk mozku vznikají a jak rychle se šíří do okolních tkání. Některé z nejčastějších typů nádorů mozku jsou Gliomy. Toto jsou nádory, které vznikají z buněk zvaných gliové buňky. Mohou být benigní nebo maligní a vyskytují se nejčastěji u dospělých. Mezi nejčastější typy gliomů patří astrocytomy, oligodendrogliomy a ependymomy. Další nádory jsou Meningeomy. Tyto nádory vznikají z buněk zvaných meningové buňky, které kryjí mozek. Jsou obvykle benigní a vyskytují se častěji u žen než u mužů. Neurinomy jsou nádory, které vznikají z nervových buněk. Mohou být benigní nebo maligní a nejčastěji se vyskytují v oblasti sluchového nervu. Metastatické nádory jsou sekundární a vznikají jako důsledek rozšíření rakovinných buněk z jiné části těla. Mohou být maligní a mohou se vyskytovat v různých částech mozku. Další jsou Lymfomy. Toto jsou maligní nádory, které vznikají z buněk imunitního systému. Mohou se vyskytovat v různých částech mozku a mohou být součástí systémových lymfomů.

Každý typ nádoru mozku se může projevovat různými příznaky, včetně bolesti hlavy, závratí, ztráty koordinace, ztráty paměti a změn v chování nebo osobnosti. Při podezření na nádor mozku je důležité vyhledat odbornou pomoc a podstoupit diagnostické vyšetření, jako je PET/CT. (Šlampa, Petera et. al, 2007)

9 PRAKTICKÁ ČÁST

V onkologii se často využívá diagnostická zobrazovací metoda PET s radiofarmakem 18F-MISO, která umožňuje zobrazit hypoxické tkáně solidních nádorů. Tyto hypoxické oblasti jsou charakteristické pro nádorovou tkáň a způsobují zvýšenou odolnost vůči chemoterapii a radioterapii, což má negativní dopad na výslednou prognózu nemoci.

Mezi hlavní indikace patří léčba nádorů mozku (gliomy), karcinomů v oblasti hlavy a krku (zejména dlaždicobuněčné karcinomy), nemalobuněčných karcinomů plic (NSCLC), karcinomů ledvin, karcinomů prsu a sarkomů.

18F-MISO může být využito k průkazu ischemie nádoru, což má velký význam při plánování léčby. Může také sloužit k odhadu prognózy onemocnění a hodnocení účinnosti radioterapie. Kromě toho může být použit i pro časnou detekci účinků léčby na nádor, což je velmi důležité při sledování úspěšnosti léčby.

9.1 Kontraindikace

Citlivost na léčivou látku nebo jakoukoli pomocnou látku (voda na injekci, chlorid sodný, ethanol (max.10 %), izotonický infuzní roztok chloridu sodného) je relativní kontraindikací, což znamená, že se jedná o situaci, kdy použití léku může být nebezpečné, ale závisí to na konkrétních okolnostech. Těhotenství také představuje relativní kontraindikaci, což znamená, že lék by se měl používat opatrně a pouze za přísných podmínek, a pouze pokud přínosy pro matku převažují nad riziky pro plod.

Při přípravě a podávání léků je nutné dbát na zvláštní péči u léčby dětí, adolescentů, žen ve fertilním věku a kojících matek. Tyto skupiny klientů mohou vyžadovat speciální zohlednění v dávkování a výběru léků.

U pacientů s poruchou ledvin je nutné pečlivě zvažovat předepsanou léčbu, protože u nich může dojít k většímu riziku radiační zátěže. Proto je důležité, aby byla indikace k léčbě stanovena s maximální opatrností.

9.1.1 Těhotenství

U radiofarmaka 18F-MISO nejsou k dispozici žádné informace o jeho podání těhotným ženám. Proto by mělo být jeho podání těhotným ženám nebo osobám mladším 18 let pečlivě zváženo a pouze v případech, kdy přínos vyšetření převáží nad eventuálním rizikem. Je důležité myslet na to, že každá žena, která vynechala menstruaci, by měla být považována za těhotnou, dokud

není prokázán opak. Pokud tedy lékař plánuje aplikovat 18F-MISO ženě u které si není jistý, je-li těhotná, měl by tento fakt zohlednit a zvážit a provést těhotenský test. Nejpřesnější je stanovení sérové hladiny HCG (choriový gonadotropin) z odběru periferní žilní krve. Pokud není tento odběr možný v reálném čase k dispozici, lze použít komerčně dostupný test, který určí HCG v moči pacientky. Pokud je žena již těhotná a mělo by jí být podáno radiofarmakum 18F-MISO, lékař by měl učinit rozhodnutí na základě očekávaného přínosu vyšetření pro klientku a maximálního možného snížení rizika pro plod. V případě, kdy je odhad dávky plodu nižší než 1 mSv, mělo by být podání radiofarmaka provedeno ve zdůvodněných případech.

9.1.2 Kojení

Před podáním radiofarmaka kojícím matkám je důležité pečlivě zvážit, zda je nezbytně nutné provést plánované vyšetření v době kojení nebo jeho provedení odložit na dobu po ukončení kojení.

V případě, že je vyšetření nutné, mělo by být kojení přerušeno na dobu minimálně 12 hodin po aplikaci injekce. Kromě toho je nutné mléko produkované během tohoto období odsát a znehodnotit, aby se tak expozice kojícího dítěte radiofarmakem minimalizovala. Pro ochranu před ionizujícím zářením se doporučuje, aby se kojící matky vyhýbaly kontaktu s dětmi během prvních 12 hodin po aplikaci radiofarmaka.

9.2 Objednání pacienta k vyšetření pomocí PET/CT

Objednání pacienta k vyšetření pomocí PET/CT se provádí na základě doporučení ošetřujícího lékaře. Je nutné informovat pacienta o možných rizicích a vedlejších účincích spojených s PET/CT (expozice ionizujícího záření a možné alergické reakce na radiofarmakum). Pokud je pacient obeznámen s veškerými riziky tohoto vyšetření a souhlasí s jeho provedením, podepíše tzv. informovaný souhlas. Termín vyšetření u žen ve fertilním věku se snažíme umístit do první poloviny menstruačního cyklu. Poté, co lékař indikuje PET/CT vyšetření, žádanka se zařadí do kartotéky spolu s kontaktními údaji pacienta. Pokud se jedná o akutní vyšetření, koordinuje se termín s pracovníkem na úseku radiofarmakologie. Pacientovi jsou poskytnuty pokyny ohledně přípravy na vyšetření a je mu sdělen datum a čas vyšetření. Pokud pacient preferuje, může obdržet písemný souhlas a podrobnější informace o průběhu vyšetření, které si může později kdykoliv přečíst. Pokud pacient osobně navštíví zdravotnické zařízení, jsou mu poskytnuty pokyny a informace v tištěné formě.

9.3 Příprava pacienta k vyšetření

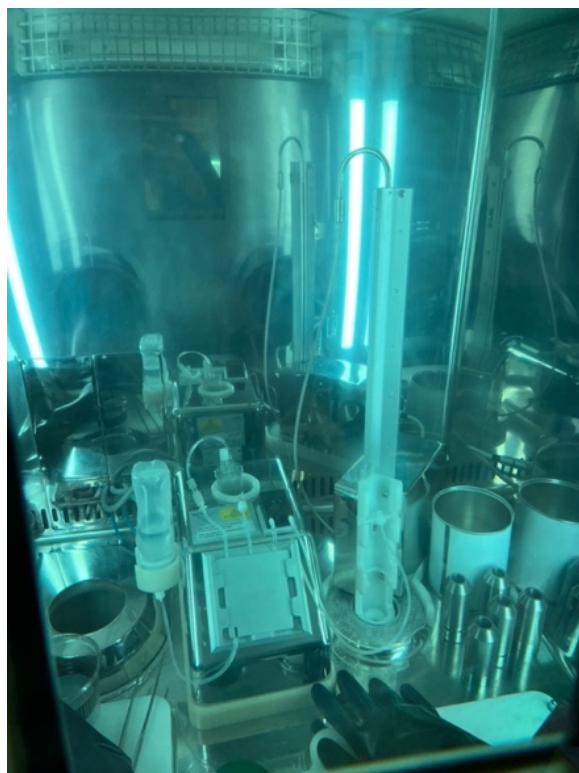
Pacient přichází na oddělení nukleární medicíny bez speciální přípravy a nahlásí se v kartotéce PET/CT. Radiologický asistent zkontroluje identitu pacienta na základě jeho kartičky pojišťence. Lékař pacientovi vysvětlí možná rizika vyšetření a zodpoví jeho případné dotazy. Následně pacient podepíše informovaný souhlas. Pokud má pacient obavy z důvodu klaustrofobie, že vyšetření nezvládne, asistent mu znovu vysvětlí průběh vyšetření, snaží se ho uklidnit a umožní mu průjezd tunelem PET/CT vyzkoušet (obrázek č. 1). Specialista, který manipuluje s radioaktivními látkami mezitím připraví lék do speciální injekční stříkačky, která je zabalená v ochranné vrstvě z wolframu ve zvláštní místnosti vyhrazené pro tuto činnost (obrázek č. 2). Poté lék umístí do vozíku z olova pro další bezpečné přemístění (obrázek č. 3). Následně je pacient odveden do aplikační místnosti (obrázek č. 4), kde je mu zavedená periferní žilní kanyla zpravidla o průměru 0,9 x 25 mm. Při zavádění kanyly je nutné, aby sestra nebo radiologický asistent měli připravené ochranné rukavice, vatové tampony, dezinfekční roztok, škrtidlo a náplast. Tyto pomůcky jsou nezbytné pro zajištění hygienických a bezpečnostních standardů při zákroku. Doporučuje se, aby pacient před podáním radiofarmaka vypil 0,5l vody. Před aplikací ¹⁸F-MISO je nutné změřit její aktivitu pomocí měřiče aktivity. Aplikace musí probíhat striktně intravenózně, aby se předešlo lokální extravazaci a následným artefaktům na snímku zobrazovací technikou. Lékař aplikuje intravenózně radiofarmakum ¹⁸F-MISO. Pro dospělé pacienty se obvykle doporučuje aplikovat aktivitu ¹⁸F-MISO v rozmezí mezi 300 a 550 MBq, přičemž průměrná dávka pro pacienta o hmotnosti 70 kg činí přibližně 400 MBq. Evropská asociace nukleární medicíny (EANM) sestavila tabulky, které určují váhové faktory pro přepočítání dávky ionizujícího záření na účinky v lidském těle. Tyto tabulky slouží jako referenční materiál pro oddělení nukleární medicíny, aby se mohly řídit při stanovení bezpečné úrovně ozáření pacientů a personálu. Nicméně konkrétní dávka musí být individuálně upravena v závislosti na tělesné hmotnosti pacienta, klinické potřebě a zdravotním stavu pacienta. Lékař je ihned po aplikaci povinen zapsat do dokumentace čas podání, způsob podání a místo aplikace radiofarmaka. Po aplikaci musí být použité stříkačky a jehly zlikvidovány v souladu s bezpečnostními a hygienickými předpisy. Tyto materiály musí být uloženy do speciálního kontejneru na odpad, aby nedocházelo k možnému riziku kontaminace a šíření infekčních látek. Po jeho podání pacient čeká 2-3 hodiny, aby se radioaktivní látka rozptýlila po celém těle. V průběhu této doby je pacientovi opět doporučeno vypít litr vody.

9.4 Postup provedení vyšetření

Těsně před odvedením pacienta do kabinky je nutné, aby se vymočil. V kabině opět provedeme jeho aktivní identifikaci a požádáme ho, aby si sundal boty a kovové předměty. Protože je pacient zdrojem záření, snažíme se od něj držet co nejdále. Pacient si lehne na záda, ruce položí na hrudník a hlavu fixujeme do speciálního nástavce tak, aby brada byla co nejbližší k tělu (obrázek č. 5). Pohyblivý stůl se postupně posouvá skrze tunel PET/CT za účelem snímání požadované vyšetřovací oblasti, tedy mozku. Centrovat budeme za pomoci laseru na vrchol hlavy. V ovládací místnosti si zvolíme vyšetřovací protokol pro daného pacienta a zahajujeme vyšetření. Po ukončení vyšetření může pacient pokračovat v běžných aktivitách a je mu vysvětleno, že by se po dobu 12 h měl vyhýbat těhotným ženám a dětem. Dále je instruován, aby pil hodně vody, díky čemuž pomůže urychlit eliminaci radioaktivní látky z těla. Výsledky vyšetření jsou obvykle připraveny do několika dní a jsou poskytnuty indikujícímu lékaři, který je poté předá pacientovi a diskutuje s ním další postup léčby.



Obrázek 1 Přístroj PET/CT (vlastní zdroj)



Obrázek 2 Laminární box (vlastní zdroj)



Obrázek 3 Olověný vozík pro přepravu radiofarmak (vlastní zdroj)



Obrázek 4 Aplikační místnost (vlastní zdroj)



Obrázek 5 Fixace pacienta a centrace pomocí laseru (vlastní zdroj)

10 DISKUZE

V rámci mé bakalářské práce jsem se zaměřila na porovnání přípravy pacientů a provedení vyšetření PET/CT s 18F-MISO ve třech nemocnicích v ČR (A, B, C) a jedné nemocnici ve Velké Británii (D). Zjištění ukázala, že v přípravě pacientů před vyšetřením neexistují téměř žádné rozdíly a postup se v každé nemocnici shoduje. Pacientům se nedoporučuje žádná speciální dieta, omezení fyzické aktivity ani vysazování léků. Doporučuje se jim vypít 0,5 litru vody před aplikací radiofarmaka, 1 litr vody v době po aplikaci a snímkování, před samotným snímkováním se jít vymočit a udržovat dostatečnou hydrataci i po ukončení vyšetření. Rozdíly mezi nemocnicemi spočívají pouze v množství aplikovaného radiofarmaka. Konkrétně, v nemocnicích A, B a C se pacientovi aplikuje 300 až 550 MBq radiofarmaka, zatímco v nemocnici D se aplikuje 185 až 300 MBq. Protože v nemocnici D aplikují pacientovi menší množství radioaktivní látky, může to znamenat, že akviziční doba tzv. „jedné postele“ bude delší než v ostatních nemocničních zařízeních. Akviziční doba v nemocnicích A, B a C je 5-10 min. Je důležité brát na zřetel, že modernější přístroje mají obvykle větší senzitivitu, specifickou rychlost skenování, což umožňuje rychlejší a přesnější diagnostiku. Rozhodnutí, zda upřednostnit kratší dobu vyšetření s menším rizikem artefaktů, ale vyšší dávkou radiofarmaka, nebo delší dobu vyšetření s nižší dávkou radiofarmaka a vyšším rizikem artefaktů, závisí na individuálních potřebách a zdravotním stavu pacienta. Zkrácená doba vyšetření může být pro některé pacienty příjemnější, protože si mohou ušetřit čas a uniknout tak nervozitě spojené s delší dobou čekání. Avšak vyšší dávka radiofarmaka znamená větší radiační zátěž pro organismus, což může být pro pacienty s určitými zdravotními omezeními problém. Na druhou stranu, delší doba vyšetření s nižší dávkou radiofarmaka může být pro některé pacienty přijatelnější, ale vyšší riziko artefaktů může znamenat, že výsledky vyšetření nebudou tak spolehlivé.

11 ZÁVĚR

Výzkum porovnávající přípravu pacientů a provedení vyšetření PET/CT s 18F-MISO ukázal, že postup přípravy pacientů před vyšetřením se v každé nemocnici shoduje a rozdíly spočívají pouze v množství aplikované aktivity radiofarmaka. Rozhodnutí o preferenci kratší doby vyšetření s vyšší dávkou radiofarmaka nebo delší doby vyšetření s nižší dávkou radiofarmaka závisí na individuálních potřebách a zdravotním stavu pacienta. Lékař by měl spolu s pacientem diskutovat o možnostech a rozhodnout se pro ten nejvhodnější přístup k vyšetření.

12 POUŽITÁ LITERATURA

CALABRIA, Ferdinando, Orazio, SCHILLACI, 2020. *Radiopharmaceuticals*. Springer Nature Switzerland AG Second Edition. 239 s. ISBN 978-3-030-27778-9.

FRAIOLI, Francesco, 2019. *PET/CT in brain disorders*. London. Springer Nature Switzerland AG. 186 s. ISBN 978-3-030-01522-0.

KLENER, Vladislav, 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 619 s. ISBN 8023837036.

KORANDA, Pavel, 2014. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 201 s. ISBN 978-80-244-4

KOUTECKÝ, Josef, Edita KABÍČKOVÁ a Jan STARÝ, 2002. *Dětská onkologie pro praxi*. Vyd. 1. Praha: Triton, ISBN 80-725-4288-5

KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 97 s. ISBN 9788074641831

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK, 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, ISBN 978-80-271-2162-5.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, c2007. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 185, xiv s. ISBN 9788090358492

MYSLIVEČEK, Miroslav, 2007. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 9788024417233

MYSLIVEČEK, Miroslav, Pavel KORANDA a Václav HUŠÁK, 2002. *Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 69 s. ISBN 80-244-0509-1.

OREL, Miroslav a Roman PROCHÁZKA, 2017. *Vyšetření a výzkum mozku: pro psychology, pedagogy a další nelékařské obory*[online]. Praha: Grada, [cit. 2023-03-23]. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-5539-7.

PELCLOVÁ, Daniela, 2014. *Nemoci z povolání a intoxikace*. 3., doplněné vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, ISBN 978-8024625-97-3.

ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA, c2007. *Radiační onkologie*. Praha: Galén, ISBN 978-807-2624-690.

ULLMANN, Vojtěch, 2009. *Jaderná a radiační fyzika*. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 173 s. ISBN 978-80-7368-669-7.

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

Internetové zdroje

<http://www.lf3.cuni.cz/cs/pracoviste/onkologie/skripta>

<http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/>

<https://astronuklfyzika.cz/>

<https://www.internimedicina.cz/artkey/int-200402->

<http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf>