

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií

Molekulární zobrazení nádorů mozku - PET

Lucie Rumlová

Bakalářská práce

2015

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Lucie Rumlová  
Osobní číslo: Z12133  
Studijní program: B5345 Specializace ve zdravotnictví  
Studijní obor: Radiologický asistent  
Název tématu: Molekulární zobrazení nádorů mozku - PET  
Zadávající katedra: Katedra informatiky, managementu a radiologie

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

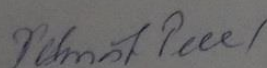
1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

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

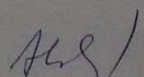
1. KORANDA, P., PEKÁREK, J., ŠÁMAL, M. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-802-4440-316
2. KUPKA, K., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: P3K, 2007. ISBN 978-809-0358-492
3. VOTRUBOVÁ, J., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M. Klinické PET a PET/CT. 1. vyd. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-807-2626-199
4. KRAFT, O., PEKÁREK, J., ŠÁMAL, M. Radiofarmaka. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-807-4641-831
5. HYNKOVÁ, L., ŠLAMPA, P., ŠÁMAL, M. Základy radiační onkologie. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-802-1060-616

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

Datum zadání bakalářské práce: 1. října 2012  
Termín odevzdání bakalářské práce: 7. května 2015

  
prof. MUDr. Arnošt Pellant, DrSc.  
děkan

L.S.

  
Ing. Jana Holá, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 11. března 2015

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 4.5. 2015

Lucie Rumlová

## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Jiřímu Kulířovi za metodické vedení bakalářské práce, poskytnutí cenných rad, podkladů k práci, za jeho vstřícný a trpělivý přístup. Dále děkuji zaměstnancům oddělení nukleární nemocnice ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové, za jejich ochotu, vstřícnost a zodpovězení všech informací potřebných do praktické části mé práce.

V Pardubicích 5. května

Lucie Rumlová

## **ANOTACE**

Téma mé bakalářské práce je Molekulární zobrazení nádoru mozku - PET. V teoretické části je obecně popsána nukleární medicína, její historie, radiofarmaka a přístroje využívající se v tomto oboru. V jedné z kapitol je zahrnuta radiační ochrana a charakteristika základních fyzikálních veličin. Dále v teoretické části je popsána problematika nádorů mozku a technika hybridního PET/CT přístroje.

V praktické části mé práce podrobně popisují zobrazení nádoru mozku pomocí radiofarmak  $^{18}\text{F}$ -FLT,  $^{18}\text{F}$ -FDG, postup provedení vyšetření a přípravu před ním.

## **Klíčová slova**

Nukleární medicína, tumor, mozek, PET (pozitronová emisní tomografie)

## **Title**

Molecular image of a brain tumor- PET

## **Anotatiton**

The topic of my thesis is the molecular imaging of tumor mozku- PET. The theoretical part is generally described nuclear medicine, its history, radiopharmaceuticals and devices employing in this field. In one chapter is included radiation protection and characterization of basic physical quantities. The theoretical part describes the issue of brain tumors and techniques of hybrid PET / CT unit.

In the practical part of my work describes in detail view of brain tumors using radiofarmak<sup>18</sup>F- FLT, <sup>18</sup>F-FDG, how to perform examinations and preparation before him.

## **KEYWORDS**

Nuclear medicine, tumor, brain, PET (positron emission tomography)

# Obsah

ÚVOD .....	12
CÍL .....	13
TEORETICKÁ ČÁST.....	14
1 Nukleární medicína .....	14
1.1 Historie Nukleární medicíny .....	14
1.2 Molekulární zobrazení .....	15
2 Fyzikální pojmy.....	16
2.1 Atom .....	16
2.2 Radioaktivita.....	17
2.2.1 Přeměna alfa.....	17
2.2.2 Přeměna beta <sup>-</sup> .....	17
2.2.3 Přeměna beta <sup>+</sup> .....	18
2.2.4 Záření gama .....	18
2.3 Energie.....	18
2.4 Aktivita .....	19
2.5 Interakce záření s prostředím.....	19
2.5.1 Interakce $\alpha$ .....	20
2.5.2 Interakce záření $\beta^-$ .....	20
2.5.3 Interakce záření $\beta^+$ .....	20
2.5.4 Zářiče $\gamma$ .....	20
3 Radiofarmaka .....	21
3.1 Výroba a získávání radionuklidů .....	21
3.1.1 Jaderný reaktor.....	21
3.1.2 Urychlovač částic.....	22
3.1.2 Generátor.....	22
3.2 Aplikační formy radiofarmak .....	22
3.3 Příprava radiofarmak .....	23
3.4 Kontrola radiofarmak .....	23
4 Účinky ionizujícího záření .....	24
4.1 Účinky deterministické.....	25
4.2 Účinky stochastické .....	25
5 Radiační ochrana .....	26



5.1. Principy radiační ochrany .....	26
5.2 Uspořádání pracoviště nukleární medicíny .....	27
5.3 Monitorování .....	27
5.3.1 Osobní monitorování .....	28
5.3.2 Monitorování pracoviště .....	28
5.4 Radiační ochrana pracovníků .....	28
5.4.1 Ochrana časem .....	28
5.4.2 Ochrana vzdáleností .....	29
5.4.3 Ochrana stíněním .....	29
5.4.4 Důležitá opatření .....	29
5.5 Radiační ochrana pacientů .....	29
5.5.1. Radiační zátěž .....	29
5.5.2. Aktivita radiofarmaka .....	30
5.6 Lékařský dohled .....	30
6 Pozitronová emisní tomografie .....	31
6.1 Princip PET .....	31
6.3 Vizualizace a rekonstrukce dat .....	32
6.4 PET/CT systém .....	33
6.5 Příprava pacienta na vyšetření .....	33
6.5.1 Lačnění .....	33
6.5.2 Hydratace .....	34
6.5.3 Glykemie a inzulinemie .....	34
6.6 Indikace k provedení PET/CT vyšetření mozku .....	34
6.7. Kontraindikace PET/CT .....	34
6.8 Artefakty PET/CT .....	35
6.9 Radiofarmaka pro PET .....	35
6.9.1 FDG , Fluoro-deoxy-glukóza .....	35
6.9.2 Fluorid sodný .....	36
6.9.3 Značené aminokyseliny .....	36
6.9.4 Fluorthymidin ( FLT) .....	36
6.9.5 Cholin .....	36
6.9.7 Markery hypoxie .....	37
6.9.8 Markery pro perfúzi .....	37

7 Nádory mozku .....	38
7.1 Diagnostika .....	39
Praktická část .....	42
8 Objednání pacienta k vyšetření na PET .....	43
8.1 Obecný postup po příchodu pacienta k vyšetření pomocí PET .....	43
8.2 Indikace k vyšetření mozku pomocí $^{18}\text{F}$ -FLT .....	43
8.2.1. Příprava před vyšetřením pomocí $^{18}\text{F}$ -FLT .....	44
8.2.2 Postup provedení vyšetření .....	46
8.2.3 Hodnocení nálezu .....	47
8.3 Indikace a kontraindikace vyšetření pomocí $^{18}\text{F}$ -FDG .....	48
8.3.1 Příprava pacienta .....	48
8.3.2 Postup provedení vyšetření .....	49
8.3.3 Hodnocení nálezu .....	51
Diskuze .....	53
Závěr .....	55
Seznam příloh .....	64

## **Seznam ilustrací a tabulek**

Obrázek 1 Radioaktivní přeměna alfa .....	17
Obrázek 2 Radioaktivní přeměna beta - .....	17
Obrázek 3 Radioaktivní přeměna beta+ .....	18
Obrázek 4 Princip PET.....	31
Obrázek 5 Nejčastěji se vyskytující nádory v oblasti mozku.....	38
Obrázek 6 Apliační místnost .....	44
Obrázek 7 Wolframový kryt stříkačky.....	45
Obrázek 8 Olověný vozík.....	45
Obrázek 9 Přístroj pro pozitronovou emisní tomografii (PET).....	45
Obrázek 10 Uložení pacienta .....	46
Obrázek 11 Centrování pomocí laseru .....	47
Obrázek 12 Recidiva pinealoblastomu.....	47
Obrázek 13 CT a PET/CT fúze .....	48
Obrázek 14 Injektor pro podání KL .....	50
Obrázek 15 Laminární box.....	50
Obrázek 16 PET/CT přístroj .....	51
Obrázek 17 recidiva glioblastomu.....	51
Obrázek 18 CT obraz glioblastomu .....	52
Obrázek 19 PET/CT fúze obrazu.....	52

## ÚVOD

Jako téma pro svou bakalářskou práci jsem si zvolila molekulární zobrazení nádoru mozku – PET. K výskytu nádorového onemocnění mozku dochází nejčastěji u dvou skupin populace, jedná se o děti do 5 let a dále o osoby ve věku 60-80 let. Zhoubné nádory centrální nervové soustavy tvoří 1% všech zhoubných onemocnění. Pomocí PET/CT a následně vytvořené takzvané fúze obrazu, lze vytvořit zcela jasný obraz o vyšetřovaném objektu. Nevýhodou PET je však vysoká radiační zátěž, nejen pro pacienta, ale i pro personál, proto je důležité dodržovat přísnou radiační ochranu, kterou popisují v jedné z kapitol mé práce. V praktické části své bakalářské práce popisují zobrazení nádoru mozku pomocí dvou nejdůležitějších, a také nejvíce využívaných radiofarmak, jimiž jsou  $^{18}\text{F}$ -FDG a  $^{18}\text{F}$ -FLT. Tato část pojednává dále o provedení vyšetření, jeho postupu, přípravě a úkolech radiologického asistenta provádějícího vyšetření. Popsána je také aplikace radiofarmaka, jeho příprava a pomůcky nezbytné k podání radioaktivní látky. Celá praktická část je obohacena fotodokumentací, na které je vidět postup provedení vyšetření. O radiofarmacích jako obecných a jejich využití k vyšetření pro PET, vypovídá samostatná kapitola teoretické části mé práce. Další důležitou částí je kapitola pozitronové emisní tomografie, základní princip tohoto přístroje, klinické indikace a příprava pacienta. Byla bych ráda, aby moje bakalářská práce sloužila jako literatura, kterou mohou použít radiologičtí asistenti k obohacení svých vědomostí během studia.

## **CÍL**

Cílem mé bakalářské práce je pečlivě popsat zobrazení nádorů mozku na přístroji PET (pozitronová emisní tomografie). Vytvořit ucelený dokument, ve kterém bude popsán obor Nukleární medicíny a problematika nádorů postihujících mozek. Detailně rozebrat a popsat na základě vlastních poznatků postup, přípravu a práci radiologického asistenta při provádění vyšetření na přístroji pozitronové emisní tomografie.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Nukleární medicína

Nukleární medicína je rychle a stále se rozvíjející samostatný medicínský obor, hlavním zájmem tohoto oboru je aplikace radioaktivní látky pro terapeutické a diagnostické účely. Radioaktivní látky neboli radiofarmaka, jsou otevřenými zářiči, které se velice často vyskytují ve formě aerosolu, plynu, plynu suspenze aj. V nukleární medicíně lze vyšetření rozdělit na in vivo, během kterého se do organismu pacienta vpraví radiofarmakum o určité aktivitě, a pozorují se jakékoliv patologické změny v těle. Provádí-li se takzvaná „scintigrafická vyšetření“, dochází k pozorování akumulace dané radioaktivní látky v lidském těle a získání obrazu o distribuci radiofarmaka. Další metodou je vyšetření in vitro, jedná se například o stanovení koncentrace jakéhokoliv z hormonů nebo protilátky v krvi. Jak už bylo řečeno, při tomto vyšetření se především pracuje s pacientovou krví, lépe řečeno se vzorkem krve. Tato analýza je nazývána jako radiosaturační nebo také radioimunní, během které pacient není vystaven styku s radioaktivní látkou. Radionuklidy umístěné ve vzorku lze změřit pomocí scintilačního detektoru. Diagnostika ke svým vyšetřením využívá zářiče, které sekundárně produkují anihilační záření, což jsou především zářiče pozitronové, je zde také z velké části využíváno záření gama. Naopak k terapii onemocnění jsou v tomto oboru vhodné otevřené zářiče produkující záření alfa a beta. Záření beta je typické svým doletem ve tkáni pouhých pár mm, tudíž všechna energie, kterou nese, se absorbuje v cílovém ložisku. (Myslivoček, 2007)

### 1.1 Historie Nukleární medicíny

*„ Metody nukleární medicíny jsou založeny na tzv. indikátorovém nebo stopovacím principu, který objevil maďarský chemik Gyorgy Hevesy v roce 1913. Jeho podstatou je shodné chemické chování izotopů: radioaktivní izotopy reagují chemicky stejně jako stabilní izotopy téhož prvku. Na rozdíl od stabilních izotopů jsou však radionuklidy „viditelné“ prostřednictvím pronikavého záření, které vzniká při radioaktivních přeměnách jejich atomových jader a je vyzařováno do okolí. Sloučeniny označené radioaktivními prvky lze proto sledovat a jejich množství měřit detektory záření gama. Za objev indikátorového principu a jeho využití při studiu chemických reakcí a fyziologických dějů získal G. Hevesy v roce 1943 Nobelovu cenu za chemii“.*

*„Traduje se příběh o jedné z prvních aplikací indikátorového principu v souvislosti s obtížným problémem, na který Hevesy narazil. Jako student žil v podnájmu, kde se také stravoval. Měl podezření, že jeho bytná sbírá zbytky nesnědené bramborové kaše z talířů, které jí strážníci vraceli, a servíruje je znovu s dalším jídlem. Jednou večer Hevesy přidal do nedojedené kaše malé množství radioaktivního olova. Když byla kaše následujícího dne znovu podána, trochu z ní oddělil a v laboratoři proměřil elektroskopem. Jeho podezření se potvrdilo a pokus mu poskytl i potřebný důkaz. Když jej však předložil své bytné, nijak zvlášť ji to nezaujalo a okamžitě ho z podnájmu vyhodila. Hevesyho příběh nabízí několika ponaučení: za prvé dosažení vědecké pravdy nevede nutně k úspěchu v životě, za druhé, některé problémy nelze vyřešit ani s pomocí špičkové technologie a za třetí, máš-li důkaz, dobře si rozvaž, jak s ním naložit.“ ( Šamál, s.13, 2007)*

## **1.2 Molekulární zobrazení**

Vzhledem k tomu, že dochází k neustálému vývoji organické chemie, biochemie a biologie buněk, došlo k objevení různých radioaktivních látek, jejichž molekuly mají afinitu k určitým specifickým buňkám a dějům na subcelulární úrovni. ( Ullmann,web)

## 2 Fyzikální pojmy

V této kapitole bych chtěla stručně zmínit základní fyzikální pojmy jako je atom, radioaktivita, radioaktivní přeměny, energie, aktivita, poločas přeměny a interakci záření s hmotou. Tyto pojmy je nezbytné znát při práci na oddělení nukleární medicíny.

### 2.1 Atom

Atom je jednou z nejmenších částí hmoty, skládá se z těžkého jádra, které obsahuje kladně nabitě částice protony, neutrální částice, tedy bez náboje, neutrony a částice, které mají záporný náboj a nacházející se v elektronovém obalu elektrony. Atom je elektricky neutrální částice, počet elektronů v obalu je roven počtu protonů v jádře. Nuklidy jsou nazývány takové atomy, u kterých dochází k výskytu stejného počtu protonů a neutronů. **Nuklid**, který má stejný počet protonů, ale odlišný počet neutronů nazýváme **Izotop**. Nestabilní izotopy jsou nazývány **radionuklidy**. Každý z radionuklidů je charakterizován druhem záření, energií záření a poločasem přeměny. Každá radioaktivní přeměna je typická změnou počtu protonů či neutronů a snížením vazebné energie jádra, která je vždy předána emitovanému typu daného záření. Odmítivé elektrické síly a jaderné síly zodpovídají za stabilitu či nestabilitu atomového jádra. Z Bohrova modelu atomu je usuzováno, že elektrony okolo jádra obíhají na kvantových drahách, neboli slupkách (orbitách), které jsou označovány písmeny K, L, M, S. Kvantové číslo „n“ určuje dráhu elektronů. Toto číslo také udává informace o maximálním počtu elektronů na slupkách, vztahem  $2n^2$ . K tomu, aby byl elektron vyražen, nebo přemístěn ze slupky vnitřní na vnější, je zapotřebí dodání určitého množství energie. Excitace atomu nastává, dojde-li k dodání energie elektronu, která bude větší než vazebná energie dané orbity a elektron se posune na hladinu, která je vzdálenější od jádra. Bude-li energie dodaná atomu natolik velká, že dojde k uvolnění elektronu z pole a jeho úplnému vyletění z atomu, nastává ionizace atomového jádra, které se přemění na elektron a kladný ion. (Ullmann, 2009)

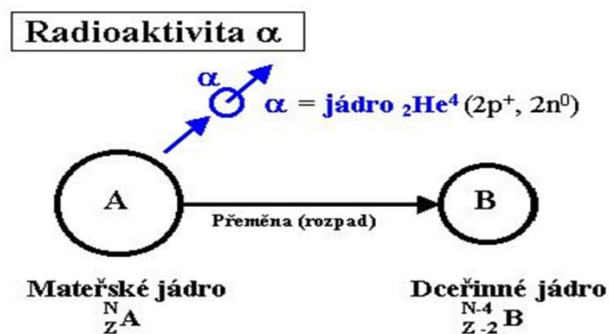


## 2.2 Radioaktivita

**Radioaktivita** je samovolná přeměna jader nestabilních izotopů jednoho chemického prvku v jádru izotopu prvku jiného, za současného uvolňování energie a vzniku ionizujícího záření. Byla objevena roku 1932.

### 2.2.1 Přeměna alfa

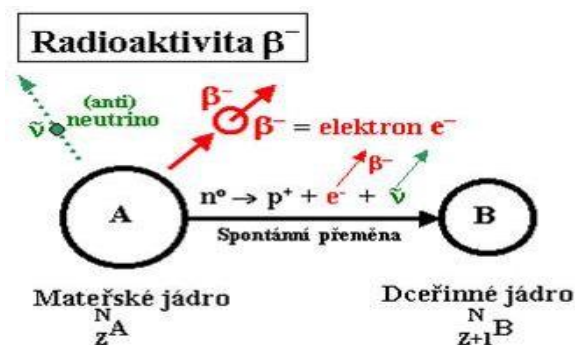
Při radioaktivní **přeměně  $\alpha$**  je vyzařována částice alfa, která je složena ze dvou protonů a neutronů. Vyskytuje se u těžkých radioaktivních izotopů, u nichž je protonové číslo větší než 82, mohou to být například tyto prvky  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ . Alfa částice velmi rychle ztrácí svou energii, k jejímu zastavení dochází již po 0,1 mm tkáně, pronikavost je tedy velice nízká. Lze jí využít v neutronových generátorech, nebo přístrojích určených pro detekci záření.



Obrázek 1 Radioaktivní přeměna alfa (Ullmann, web)

### 2.2.2 Přeměna beta<sup>-</sup>

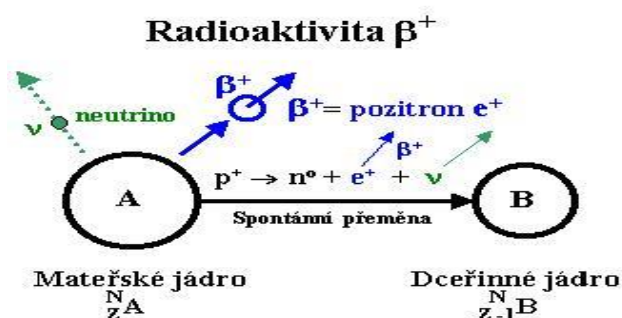
Radioaktivní **přeměna  $\beta^-$**  patří mezi nejčastější druh radioaktivity. Dochází zde k emisi  $\beta^-$  částice. Tento děj se uskutečňuje u jader s přebytečnými neutrony. Kladně nabitý proton  $p^+$  zůstane v jádře a záporně nabitý elektron  $e^-$  je emitován z jádra ven. Protonové číslo se zvětší o jedna. Pronikavost  $\beta^-$  bude ve tkáni několik mm, je tedy vhodná pro terapii.



Obrázek 2 Radioaktivní přeměna beta<sup>-</sup> (Ullmann, web)

### 2.2.3 Přeměna beta +

Jednou z dalších radioaktivních přeměn je **přeměna  $\beta^+$** , která je způsobena emisí částice  $\beta^+$ . K této přeměně dochází u radionuklidů, které mají více protonů než neutronů. Proton se změní na neutrino a kladně nabitý pozitron. Protonové číslo bude o jedna menší.



Obrázek 3 Radioaktivní přeměna beta+ (Ullmann,web)

### 2.2.4 Záření gama

Při radioaktivních přeměnách jako je alfa a beta dochází ke vzniku jádra ve stavu, který je energeticky excitován. Když jádro přechází do základního stavu, musí se vždy zbavit energie pro něj zcela přebytečné. Toto vše se odehraje vyzářením elektromagnetického záření, tedy **záření gama**. Počet protonů a neutronů zůstane nezměněn. Dceřiné jádro, které je excitováno je schopno emitovat gama záření zcela jasně daných energií. Jádrem emitované gama záření vyrazí elektron atomového obalu, ten přebírá veškerou energii a foton gama zaniká, vzhledem k energii, která byla přijata, vylétává z atomu elektron, tomuto ději říkáme vnitřní konverze elektronu. Během radioaktivní přeměny  $\beta^-$ , dochází k emisi elektronů přímo z jádra a spektrum jejich energií nazýváme spojitém. Při vnitřní konverzi, dochází k emisi elektronů přímo z obalu atomu, a tak mohou vznikat seskupení většího množství monoenergetických elektronů. Zůstane-li dceřiné jádro dlouho v energeticky excitovaném stavu, bude se jednat o stav jádra, který je nestabilní a daný radionuklid značíme indexem m. (Ullmann, 2009)

## 2.3 Energie

**Energie** emitovaného záření je přiřazena jednotka 1 Joule, může se však používat i jednotka vedlejší elektronvolt, kiloelektronvolt, megaelektronvolt a platí vztah  $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$ . Na energii záření závisí jeho pronikavost. V nukleární medicíně se využívají energie emitující fotonové záření, které mají energii od 30keV do několika desítek keV. (Ullmann, web)

## 2.4 Aktivita

Pro každý z radionuklidů je charakteristická jeho **aktivita**. Můžeme jí definovat jako počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Jednotkou aktivity je 1 Becquerel, vzhledem k tomu, že tato jednotka je poměrně malá, jsou v praxi využívány jednotky násobné jako je například 1 MBq, 1 GBq. K poklesu aktivity dochází exponenciálně s časem, je pro ni tudíž charakteristický **poločas rozpadu**. Lze ho charakterizovat jako dobu, za kterou se rozpadne přesně polovina jader atomu vzorku, za dva poločasy se rozpadne na čtvrtinu a za tři na osminu. Poločas přeměny bývá u každého radionuklidu jiný, pohybuje se v řádech rozmezí od několika sekund, hodin až po několik dnů či let. (Koranda et al, 2014)

## 2.5 Interakce záření s prostředím

Záření lze rozdělit na přímo ionizující, mezi něž patří záření alfa, elektrony, protony a na záření nepřímo ionizující, což jsou neutrony, rentgenové záření a záření gama.

- Nepřímo ionizující záření

Toto záření nemá elektrický náboj, dochází k předání energie nabitě částici, kterou je elektron z obalu atomu. V nukleární medicíně se tento jev vysvětluje fotoefektem, při kterém foton předá veškerou energii kterou má, některému slupce obalu nejbližšímu elektronu a zanikne. Dochází k vyzáření rentgenového záření charakteristického. Další z možností předání energie je Comptonův rozptyl, při kterém foton interaguje s elektronem slabě vázaným, předá mu část své energie a letí dál se sníženou energií

- Přímou ionizující záření

Jako přímo ionizující záření jsou považovány částice, které mají elektrický náboj, patří sem  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$ . Projdou-li tyto uvedené částice prostředím, dojde k interakci s elektrony a nastane excitace nebo ionizace atomu. Během interakce je typické, že u každé částice dojde k úbytku energie a její dosah ve tkáni se zmenší. (Ptáček, Karhan, Hušák, 2014)

Při interakci záření dochází k absorpci energie. Pohlcenou energii v prostředí lze vyjádřit **absorbovanou dávkou**, která je charakterizována jako podíl energie absorbované v 1 kg hmotnosti objemu. Jako jednotka této veličiny je udáván 1 Gray. Dávka za časovou jednotku se nazývá **dávkový příkon**, jehož jednotkou je 1Gy/s. (Ptáček, Karhan, Hušák, 2014)

### 2.5.1 Interakce $\alpha$

Alfa částice se skládá z heliového jádra, které obsahuje 2 protony a 2 neutrony. Díky své tíze, dokáže silně ionizovat atomy a molekuly v prostředí. Její dosah ve tkáni je ale zcela krátký. Využívá se především pro terapii zhoubných nádorů či léčbě kostních metastáz. U léčených pacientů alfa částice zvyšuje riziko výskytu stochastických účinků.

### 2.5.2 Interakce záření $\beta^-$

Zářiče beta<sup>-</sup> se využívají pro terapii nádorových onemocnění. Jejich dosah ve tkáni je v jednotkách milimetrů. Převážná část energie, kterou nesou, se absorbuje v cílovém objemu. Může se využívat v kombinaci s emisí fotonů gama jako  $\beta$ - $\gamma$  zářič. Příkladem tohoto smíšeného zářiče je <sup>131</sup>I pro terapii štítné žlázy.

### 2.5.3 Interakce záření $\beta^+$

Zářiče beta<sup>+</sup> emitují pozitrony, ve tkáni mají malý dolet. Interagují-li s elektronem jiného obalu, dochází k anihilaci, při které dojde ke vzniku dvou gama fotonů o energii 511 keV. Tyto fotony z místa anihilace odlétnou protilehlým směrem. Na detekci fotonu s vysokou energií je založen princip pozitronové emisní tomografie.

### 2.1.4 Zářiče $\gamma$

Foton (gama částice) postupně ztrácí svou energii fotoefektem, comptonovým rozptylem projde-li prostředím. Při in vivo vyšetření část fotonů lidskou tkání pronikne, což umožní detekci i mimo tělo pacienta. Naopak další část v tkáni zůstává a působí radiační zátěž. (Nováková, 2007, Koranda et al, 2014)

## 3 Radiofarmaka

*„Radiofarmakum je léčivý přípravek obsahující chemické nebo biologicky aktivní látky, jejichž účinnou složkou je radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. Radiofarmaka jsou aplikována na pracovištích nukleární medicíny z diagnostických nebo terapeutických důvodů. Přítomností radionuklidů se radiofarmaka odlišují od jiných farmak“.* (Koranda et.al, s.17, 2014)

Základní složkou každého radiofarmaka je léčivý přípravek, označován také jako nosič a účinná složka, kterou je radionuklid. Každé farmakum by mělo mít určitý vztah k vyšetřovanému orgánu nebo tkáni, což znamená, že by se příslušným orgánem mělo vylučovat nebo se v něm vychytávat. Nukleární medicína využívá ke svým účelům pouze radionuklidy vyrobené uměle, které se poté navazují na dané farmaka, neboli nosiče. Nosičem radiofarmak bývají chemicko-biologické aktivní látky, molekuly organických látek, buňky peptidy, krevní elementy, protilátky, či imunoglobuliny. Jednou z nejdůležitějších vlastností radiofarmak je poločas rozpadu, tedy doba, za kterou se sníží jeho aktivita na polovinu, dále je důležitá energie a druh ionizujícího záření. K diagnostickým účelům je vhodné využívat radiofarmaka s krátkou dobou poločasu přeměny, nejlépe sekundy, minuty, hodiny, jejichž příprava je možná přímo na pracovišti v určených laboratořích. (Kraft, Pekárek, 2012)

### 3.1 Výroba a získávání radionuklidů

Radionuklidy, které jsou obsaženy v radiofarmaceutických přípravcích, se obvykle vyrábějí v cyklotronech, jaderných reaktorech a generátoru. Principem jsou rozdílné jaderné reakce, během kterých dochází ke změně atomového jádra za vzniku jádra jiného, které se po reakci stává radioaktivní.

#### 3.1.1 Jaderný reaktor

V jaderném reaktoru dochází k řízené řetězové reakci, jako štěpný materiál je především používáno  $^{239}\text{Pu}$  a  $^{235}\text{U}$ . Radionuklidy se zde vyrábějí separací štěpných produktů nebo neutronovým tokem, který aktivuje neradioaktivní látky.

### 3.1.2 Urychlovač částic

Urychlovač nabitých částic, neboli cyklotron, je zařízení, ve kterém dochází k ozáření vhodného terčového materiálu deuterony, protony, alfa částicemi a dochází ke vzniku radionuklidů  $^{81}\text{Rb}$ ,  $^{111}\text{In}$ , dále mohou vznikat zářiče pozitronové jako je například  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ . Radioizotopy, které jsou pozitronovými zářiči, mají velice nízký poločas rozpadu. Přípravují se v cyklotronech přímo na lékařském pracovišti nukleární medicíny. Tímto způsobem může být připraven i  $^{18}\text{F}$ , který díky svému dlouhému poločasu 110 minut, může být převezen na pracoviště vzdálené.

### 3.1.2 Generátor

K výrobě radionuklidů v **generátoru** dochází radioaktivní přeměnou radionuklidů s dlouhým poločasem rozpadu, které se změny na radionuklidy s poločasem rozpadu krátkým. Generátory podle jejich konstrukce mohou být chromatografické, extrakční, sublimační. Nejvíce rozšířený a nejméně náročný k obsluhování je generátor chromatografického typu. Tomuto typu odpovídá generátor  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Základem uvedeného molybden/technecium generátoru je kolona, ve které se nachází čistý oxid hlinitý s adsorbovaným mateřským radionuklidem Mo. Dochází zde k přeměně  $^{99}\text{Mo}$  a vzniká  $^{99}\text{Tc}$  v podobě technecistanového iontu  $^{99}\text{TcO}_4^-$ , tento prvek se z kolony odloučí, promyjeme-li generátor sterilním fyziologickým roztokem. Celý tento proces je nazýván elucí a odehrává se v olovněném stínění. Dalším typem generátoru sloužícím jako zdroj radioaktivního inertního plynu je rubidium  $^{81}\text{Rb}$ /krypton  $^{81\text{m}}\text{Kr}$ . K získání radionuklidu  $^{68}\text{Ga}$  emitujícího záření pozitronů slouží generátor germanium  $^{68}\text{Ge}$ /galium  $^{68}\text{Ga}$ . (Kraft, Pekárek, 2012)

## 3.2 Aplikační formy radiofarmak

Podle způsobu aplikace lze radiofarmaka dělit na perorální, inhalační a parenterální. Radiofarmaka aplikovaná injekčně (parenterálně) bývají ve formě roztoků, molekulárních iontových koloidních disperzí a suspenzí. Subkutánně a intraartikulárně aplikujeme koloidní disperze, intralumbálně roztoky a plyny, k terapeutickému podání a intraperitoneálně koloidní disperze a roztoky. Emulze, roztoky nebo tuhé látky podáváme pacientovi perorálně. Přípravky, které jsou tekuté, umístíme do lékovek ze skla, jejichž zátku můžeme odejmout či propíchnout. V jejich složení můžou být obsaženy bakteriostatické a stabilizační přísady. Tuhé látky k podání per os se mohou vyskytovat ve formě želatinových tobolek, v kterých je účinná látka aplikována. V této formě, se velice často vyskytuje například jodid sodný. Mezi inhalační přípravky řadíme radioaktivní plyny, především Krypton, k jehož anihilaci je

zapotřebí generátorový systém  $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$ . Radioaktivní krypton z tohoto zařízení získáme proudem vzduchu. K anihilačním přípravkům lze zařadit i některá radiofarmaka ve formě aerosolu. (Kraft, Pekárek 2014)

### **3.3 Příprava radiofarmak**

K přípravě radiofarmak na oddělení nukleární medicíny je nutné dodržovat zásady správné praxe pro jejich přípravu. Jedná se o soubor opatření, jenž má za úkol zabezpečit jejich trvalou kontrolu a přípravu v souladu s činností, pro kterou mají být využity. Nutné pro přípravu je dále cílené uspořádání pracovních prostorů k provádění pracovní činnosti s radiofarmaky, specifické pracovní postupy a dokumentace.

Radiofarmakum lze připravit rozředěním, tato metoda se využívá u radiofarmak, která jsou vyráběna ve velkém množství. K dalšímu způsobu přípravy lze využít neaktivní kytu, jimiž se radioaktivní látka označí. Dochází ke smísení kytu společně s látkou radionuklidu. Radioaktivní látkou je možné označit například i krvinky nebo kmenové buňky. (Mysliveček, 2007)

### **3.4 Kontrola radiofarmak**

Stejně jako na každé z léčiv, tak i na radiofarmaka jsou kladeny různé požadavky. Provádí se například zkouška chemické čistoty, pH, sterility, pyroxenity, zjištění aktivity radioaktivní látky, dále nutno stanovit, zda je prvek čistý z radionuklidového a radiochemického hlediska. (Mysliveček, 2007)

## 4 Účinky ionizujícího záření

Projde-li rentgenové záření, nebo záření gama tkání daného organismu v závislosti na jejich energii mohou nastat níže uvedené skutečnosti.

- kvanta předají všechnu energii elektronům v obalu a zcela se absorbují
- v tkáni vůbec neinteragují, absorpce nenastane
- kvanta ztratí část své energie, absorpce nastane jen z části

Energie bývá absorbována v určitých stádiích, prvním z nich je fyzikální stádium. Odehrává se především v excitaci a ionizaci atomů a molekul. Nastane-li ionizace v molekule DNA, bude se jednat o přímé účinky záření. Během fyzikálně – chemického stádia dochází k disociaci molekul, při radiolýze vody vzniknou radikály, které jsou volné a mohou reagovat s molekulou DNA. Poškodí-li volné radikály molekulu, účinek záření bude nepřímý. Pro biologické stádium je typické projevení funkčních a morfologických změn. Mezi poruchu buněčného jádra patří dvojláknový zlom DNA. Tento jev nastane, pronikne-li alfa částice nebo neutrony přímo do buněčného jádra. O těchto uvedených částicích (alfa, neutrony) lze říci, že jejich lineární přenos energie osahuje vysoké hodnoty. Naopak, pronikne-li gama záření, rentgenové záření či elektrony, nastane v DNA jednoláknový zlom. Bude-li molekula DNA zcela porušena, může dojít až k jejímu zcela úplnému zániku. Dalším poškozením molekuly DNA bývají genetické transformace. Je-li buňka z určité části porušena, může dojít k obnově díky takzvaným reparačním dějům, během kterých enzymy obnoví narušenou část molekuly DNA.

Vzhledem k citlivosti na ozáření lze buňky rozdělit na radiosenzitivní a radiorezistentní. Radiosenzitivní buňky jsou velice citlivé na ozáření, patří sem například střevní epitel, pohlavní buňky, nebo kostní dřeň. Naopak buňky radiorezistentní na ozáření citlivé tolik nejsou, řadíme mezi ně buňky nervové aj. (Karhan, Ptáček, 2007)



## 4.1 Účinky deterministické

Výskyt deterministických účinků lze očekávat vždy, dojde-li k překročení takzvané prahové dávky. Obecně můžeme říci, že čím je dávka větší, tím větší bude riziko poškození. Účinek deterministických účinků vzniká za zcela krátký čas po ozáření, může se jednat o hodiny, dny, týdny. Tato dávka je pro každou tkáň rozdílná. Pokud bude dávka v orgánech nižší než prahová, k výskytu těchto účinků nedojde. V důsledku působení těchto účinků, může být způsobena akutní nemoc z ozáření, u které lze vzhledem k dávce záření odlišit formu dřeňovou, gastrointestinální a neurovaskulární. Mezi další nemoci způsobené vlivem záření patří katarakta, radiační dermatitida, genetická predispozice, či poškození embrya a plodu.

## 4.2 Účinky stochastické

Účinky stochastické, nazývané také pravděpodobnostními, vzhledem k ozáření nemají žádnou prahovou dávku. S každým ozářením se zvyšuje riziko jejich výskytu. Tyto účinky způsobují nádorové onemocnění a genetické poškození. Mohou se však vyskytovat i u populace, která ozářená nebyla. Za každých okolností se snažíme, aby výskyt těchto účinků byl zcela vyloučen. (Karhan, Ptáček, 2007)

## 5 Radiační ochrana

V nukleární medicíně, stejně jako na jiných pracovištích, je nutné při práci se zdroji ionizujícího záření dodržovat radiační ochranu, kterou se zabývá vyhláška č. 307/2002 o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a Atomový zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Radiační ochrana se snaží o úplné vyloučení deterministických účinků a snížení výskytu stochastických účinků na minimum. Ozáření v nukleární medicíně lze zařadit mezi ozáření lékařské, které nepodléhá limitům, stejně jako ozáření z přírodního pozadí. Aby mohlo být lékařské ozáření provedeno, musí být jeho přínos větší, než rizika s ním spojené.

### 5.1. Principy radiační ochrany

- Princip **zdůvodnění** přínosu použití zdrojů ionizujícího záření oproti rizikům spojených s jejich použitím. Rizika by měla být odůvodnitelná pro zdravotní přínos člověka nebo pro lidstvo obecně. Nebude-li přínos větší, než rizika spojená s tímto ozářením, nesmíme ZIZ použít.
- Princip **optimalizace** vypovídá o tom, že aplikace dávky k vyšetření musí být natolik nízká, jak lze rozumně dosáhnout. Platí zde princip ALARA. Musí být minimalizovány velikosti individuálních dávek, možná pravděpodobnost ozáření a počet osob vystavených záření.
- **Aplikace dávkových limitů**, neboli mezních hodnot, které nesmí být překročeny, jsou rozlišovány limity. Rozlišují se limity pro radiační pracovníky, běžné obyvatelstvo a havarijní situace. Limity mají za úkol zamezit vznik deterministických účinků a snížení rozvoje účinků stochastických vlivem záření. Každý radiační pracovník je povinen omezit ozáření tak, aby k překročení dávkových limitů nedošlo.
- **Zajištění bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření** je velmi důležité. Při využívání zdrojů ZIZ, musíme vždy dbát na bezchybnost jejich technického stavu a musíme zabránit jejich zneužití. (Hušák, Pašková, 2000)

## 5.2 Uspořádání pracoviště nukleární medicíny

Pracoviště nukleární medicíny je složeno z několika částí, patří sem úsek pro příjem radiofarmak, úsek kde se radiofarmaka kontrolují, připravují či vyšetřují in vitro (laboratorní úsek), místnost pro provedení diagnostiky za pomoci radionuklidů a část ambulantní popřípadě lůžková pro léčbu nemocných, kteří musí být hospitalizováni. V laboratorním úseku dochází k přijmutí radiofarmak od firem přípravy dodávajících s potřebným povolením. Pověřená osoba zde kontroluje obsah dodání a údaje uvedené v průvodním listě. Každé radiofarmakum, jeho aktivita, spotřeba a likvidace musí být evidována. K přípravě radiofarmak v nemocnicích slouží generátor radionuklidů, z něhož si potřebnou látku můžeme převést do určité lékové formy značené sloučeniny. U každého hotového přípravku v lékové či injekční formě je nutné změřit jeho aktivitu a označit ho. Příprava radiofarmak se odehrává ve sterilním laminárním boxu a provádí jí radiologický nebo farmaceutický asistent, dle zvyklosti oddělení. V každém lékopise je stanovena doba a způsob uchování dané látky. Musíme předcházet jejich znehodnocení. Pro každou činnost na oddělení nukleární medicíny jsou stanovené standardní operační postupy, dle podmínek specifických pro pracoviště. V aplikační místnosti na ambulantní části oddělení se aplikují pacientům látky ve formě roztoků, většinou intravenózně. Některá radiofarmaka bývají aplikována lékařem i přímo ve vyšetřovně. Lůžková část není typická pro každé pracoviště. Nachází se pouze tam, kde se uskutečňuje léčba pomocí  $^{131}\text{I}$ , který je pacientům podáván ve formě kapslí nebo roztoků. Dochází zde k léčbě zvýšené funkce štítné žlázy aplikací  $^{131}\text{I}$  o aktivitě v rozmezí 400 - 700 MBq, kdy je podán roztok jodidu sodného ústy. Před podáním léku pacientovi je vhodné zkontrolovat aktivitu kapslí, případně roztoku ve studnové ionizační komoře, která je určena pro měření aktivity látek. (Hušák, Pašková, 2000)

## 5.3 Monitorování

K monitorování dochází na všech pracovištích nukleární medicíny, které ke své činnosti využívají otevřené zářiče. Program je sestaven z osobního monitorování, monitorování výпустí a monitorování celého pracoviště.

### **5.3.1 Osobní monitorování**

Při osobním monitorování jsou pracovníci kategorie A povinni nosit osobní dozimetry na přední levé straně hrudníku. Dozimetry určené k nošení na výše uvedeném místě mohou být například filmové nebo termoluminiscenční. Prstové dozimetry nosí pracovníci, u nichž jsou ruce vystaveny vyšší expozici záření. Osobní dozimetrií se zabývá celostátní služba osobní dozimetrie (CSOD), období, během kterého dochází ke sledování, bývá jeden nebo tři měsíce. Pro monitoraci je nezbytné znát druh využívaných dozimetrů, dobu sledování, zásahovou, vyšetřovací a záznamovou úroveň, postupy, dojde-li k překročení úrovně a způsob předání informací zaměstnancům o osobních dávkách. Na pracovišti, kde by mohlo dojít k vnitřnímu ozáření, je nutné provádět monitorování. Provádí se měření aktivity radiofarmak v těle nebo exkretech pracovníka. K této kontaminaci může dojít na pracovištích využívajících k léčbě  $^{131}\text{I}$ . (Klener, 2000)

### **5.3.2 Monitorování pracoviště**

Monitorování pracoviště se provádí pomocí měření dávkového příkonu záření gama a kontaminace povrchů radioaktivními látkami. Toto měření se uskutečňuje v kontrolovaném pásmu, ale také mimo něj. K měření se používají přístroje vybavené GM počítačem nebo obsahující proporcionální detektory. Monitorování výpustí se provádí měřením objemové aktivity radionuklidů, které jsou v odpadní vodě, procházejících přes čističku odpadové vody přímo do kanalizace. Monitorovací program je vypracován a umístěn na každém pracovišti nukleární medicíny a jsou v něm stanoveny hodnoty měrných veličin, jako je například povrchová kontaminace, dávkový příkon a objemová aktivita odpadních vod. Uvedené hodnoty v monitorovacím programu nesmějí být překračovány. (Ptáček, Karhan, Hušák 2014)

## **5.4 Radiační ochrana pracovníků**

Mezi principy ochrany radiačních pracovníků patří ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Pokud je to možné, je vhodné tyto zásady vzájemně kombinovat. Nesmíme zapomínat na ochranu před vnitřní kontaminací, což znamená, že by se v kontrolovaném pásmu neměla konzumovat strava.

### **5.4.1 Ochrana časem**

Obecně lze říci, že dávka, kterou pracovník obdrží, je závislá na době, během které se pohyboval v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Při práci s radiofarmaky lze čas jejich přípravy zkrátit dovednostmi a schopnostmi pracovníka. Během úkonů, při nichž dochází k vysoké expozici je vhodné pracovníky střídat.

### **5.4.2 Ochrana vzdáleností**

Vzhledem k tomu, že k poklesu dávky záření dochází s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření, kterým je v nukleární medicíně pacient, je nezbytné, aby radiační pracovník setrval v bezprostřední blízkosti pacienta, jemuž byla naaplikována radioaktivní látka jen po dobu nezbytně nutnou. K manipulaci s radiofarmaky se doporučuje používat například pinzety nebo peány, aby nedocházelo k přímému kontaktu.

### **5.4.3 Ochrana stíněním**

Ke stínění se v nukleární medicíně používá například olovo, nebo jakýkoliv vhodný materiál, který zeslabí záření. Stříkačky, v nichž je natažené radiofarmakum se překrývají olovněným ochranným krytem a přenášejí se v olovněných kontejnerech. Nutné je také zabezpečit například odpadkové koše či jiné prostředky, do nichž se ukládá radioaktivní odpad. (Karhan, Hušák, Ptáček, 2014)

### **5.4.4 Důležitá opatření**

Dalším opatřením k ochraně radiačních pracovníků patří fakt, že jsou po příchodu na pracoviště nukleární medicíny povinni se převléknout do pracovního oděvu. Při práci s radioaktivními látkami jsou povinni využívat osobní ochranné pomůcky, mezi které patří například gumové jednorázové rukavice, brýle či zástěry. Při svlékání rukavic musí dbát, aby nedošlo ke kontaminaci rukou. Při vykonávání činnosti s otevřenými zářiči použijí kleště, peán, pinzety, ochranné obaly ke stínění atd. Jakoukoliv činnost s radioaktivními látkami jsou povinni vykonávat v laminárním boxu nebo digestoři. (Hušák, Pašková, 2000)

## **5.5 Radiační ochrana pacientů**

### **5.5.1. Radiační zátěž**

Radiační zátěž pacienta je vyjádřena středními absorbovanými dávkami v orgánech a tkáních, dále dávkou efektivní, která se vypočítá pomocí ekvivalentních dávek v různých orgánech. Absorbovaná dávka je závislá na poločasu rozpadu, druhu emitovaného záření v radionuklidu, dále je důležitá aktivita radiofarmaka a kinetická distribuce látky v těle pacienta. V praxi jsou využívány „tabelové hodnoty“ středních absorbovaných dávek v orgánech a efektivních dávek, které se vztahují na aplikovanou aktivitu radiofarmak. Vyjadřují se v mGy/MBq. Snížení absorbované dávky, lze dosáhnout ovlivněním biokinetiky radiofarmaka. Eliminuje-li se látka z těla dostatečnou hydratací a následným močením, dojde k snížení radiační zátěže močového měchýře. Dále je možné zabránit tomu, aby se

radiofarmakum dostalo do určitého orgánu. Jedná se především o štítnou žlázu, k její blokaci je využíván například KI nebo  $KClO_4$ . (Hušák, Pašková, 2000)

### 5.5.2. Aktivita radiofarmaka

Radiofarmaka, která jsou využívána, ať už k diagnostice nebo léčbě, musí být registrována Státním úřadem pro kontrolu léčiv v Praze, „*při aplikacích radionuklidů (radiofarmak) pro diagnostické účely je nutné aplikovat nezbytné množství radioaktivní látky požadované čistoty a aktivity, které zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta*“. (Hušák, Pašková, str.335, 2000)

Nutné je také podívat se na směrné hodnoty aktivit aplikovaných radiofarmak. Například pro statickou scintigrafii ledvin pomocí  $^{99m}Tc$  činí směrná hodnota 200MBq. Radiofarmakum, které bude splňovat výše uvedený požadavek, je označováno za radiofarmakum s optimální aktivitou k vyšetření.

Volíme-li optimální aktivitu, je důležité dbát na:

- typ aparatury, kterou k vyšetření používáme, její citlivost, polohové a rozlišovací schopnosti
- dobu vyšetření
- hmotnost pacienta, klinický stav a metabolický charakter

### 5.6 Lékařský dohled

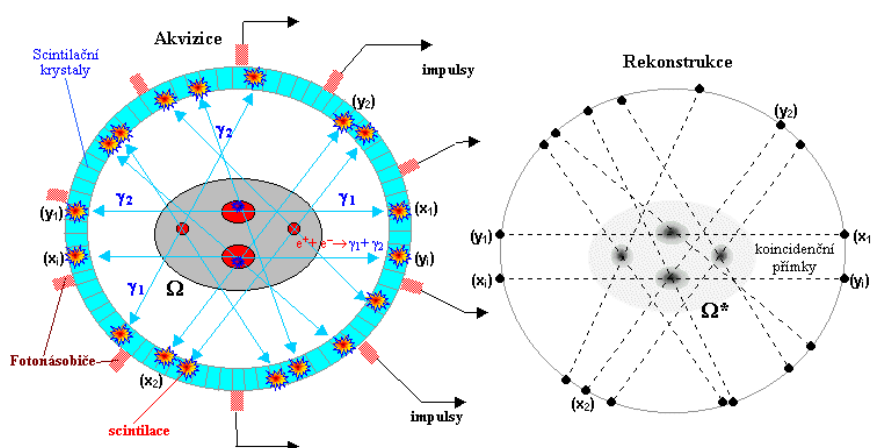
U radiačních pracovníků kategorie A, je nutné dbát na jejich zdravotní způsobilost k výkonu povolání. Je nutné sledovat vliv ionizujícího záření na jejich zdravotní stav. Za poskytování této činnosti je zodpovědný oprávněný lékař. Každý pracovník by měl podstoupit **vstupní** lékařskou prohlídku, dříve než bude do kategorie A zařazen. Dále jednou za rok podstoupí prohlídku **periodickou**, v případě, kdy dojde k překročení dávkových limitů nebo jakémukoliv zhoršení stavu pracovníka, je nucen podstoupit prohlídku **mimořádnou**. Rozhodne-li se pracovník ukončit pracovní činnost, podrobí se prohlídce výstupní. Bude-li pracovník zdravotně nezpůsobilý k výkonu povolání radiačního pracovníka kategorie A, nesmí tuto činnost vykonávat. (Hušák, Pašková, 2000)

## 6 Pozitronová emisní tomografie

Princip pozitronové emisní tomografie spočívá v podání pozitronového radiofarmaka s charakteristickými vlastnostmi pro přeměnu  $\beta^+$  a následného sledování jeho distribuce. Během radioaktivní přeměny  $\beta^+$  dochází k současnému zachycení dvou fotonů na detektorech přístroje. Systémy PET tvoří multidetektorové zařízení, ve kterém se nachází malé detektory umístěné v několika prstencích okolo pacienta. V dnešní době patří pozitronová emisní tomografie k přístrojům, které poskytují vysoce kvalitní zobrazení poukazující na funkční a patologické změny v lidském organismu. (Doležal, 2014)

### 6.1 Princip PET

Během radioaktivní přeměny  $\beta^+$  dochází v nestabilním jádře pozitronového zářiče ke změně protonu na neutron. Vlivem výše uvedené přeměny nastává vyzáření pozitronu. Dráha této částice je závislá na jeho energii a dolet ve tkáni je zcela malý. Na konci doletu ztratí pozitron veškerou svou energii a dojde k jeho střetu s elektronem okolní hmoty. Tyto dvě částice spolu interagují a po nějaké době zanikají, nastane anihilace, která je doprovázena emisí dvou kvant záření gama neboli vznikem anihilačních fotonů. Energie anihilačních fotonů je 511 keV a z místa vzniku se šíří opačným směrem po přímce. K registraci anihilačních fotonů letících opačným směrem a po přímce dochází na koincidenčních detektorech. Ke zvýšení citlivosti detekce se využívá kolimace, která je řízena elektricky. Aby byl získán obraz, zaznamenávají se pouze fotony, které dopadnou na prstencové detektory umístěné naproti sobě současně. (Doležal, 2014)



Obrázek 4 Princip PET, zdroj: (Ullmann, web)

## 6.2 Dvojměrné a trojměrné zobrazení

Skenery přístroje PET jsou konvenční, skládají ze z několika detektorů, které jsou umístěny v několika prstencích za sebou. Uvnitř prstenců se nachází bloky detektorů, jejichž zorné pole je přibližně 15 cm a směřují axiálně. Při vyšetření pomocí pozitronové emisní tomografie provádíme snímání pomocí 2D nebo 3D technik. K 2D snímání dochází pomocí koincidenčních přímek, které se srovnají do roviny prstenců. Mezi detektor PET a pacienta je zapotřebí umístit několik stínících sept, která vytvoří mezikruží v odstupech definovaných a řazených za sebou. Středů výše zmíněných sept musí ležet na ose souběžné s vyšetřovanou osou pacienta, aby došlo k srovnání záření do detekční roviny prstenců a 2D snímání. Trojměrný snímek (3D) získáme, vysuneme-li septa ze skeneru. Během tohoto snímání dojde k zachytu více fotonu než u snímání 2D. Trojměrný mód je tedy o něco citlivější, proto je nutné použít detektory o něco kvalitnější. Mezi nevýhody 3D snímání patří větší rozptyl záření, také dochází k rozptylu záření v pacientově těle. (Ferda, 2009)

## 6.3 Vizualizace a rekonstrukce dat

Ze zaznamenaných souřadnic charakterizujících koincidenční přímky rekonstruovaných následně do řezu transaxiálních, lze prostorovou orientací vytvořit řezy koronární, sagitální a šikmé. Pro PET snímání je typická trojice objemových dat, vyjádřena elementárními objemovými jednotkami, které udávají příslušné informace o prostorových souřadnicích. První z informací dává hodnotu naměřené aktivity radiofarmaka, druhá informuje o aktivitě bez jakéhokoliv korigování absorpce a třetí informace charakterizuje absorpční koeficient, podle kterého se korigování uskutečnilo. Výše zmíněné tři informace lze využít k zobrazení a diagnostickým účelům. Díky diagnostickému PET systému počítače, lze provádět různé úpravy snímku jako je například zvětšování, ořezávání, nastavení barevných škál a především podrobněji určit zájmovou vyšetřovanou oblast. (Ferda, 2009)



## **6.4 PET/CT systém**

Hybridní systém PET a CT umožňuje kombinaci těchto dvou vyšetřovacích modalit. Pomocí tohoto vyšetření získáme fúzi funkčních a morfologických obrazů vyšetřované oblasti. PET a CT jsou uspořádány za sebou, systém poskytuje lepší kvalitu vzájemné registrace obou vyšetření než obyčejná fúze obrazu z PET a CT. O PET/CT systému. Můžeme říci, že zlepšuje diagnostický potenciál vyšetření a udává synergické efekty obou metod. Průběh tohoto vyšetření bývá u všech pacientů stejný, rozdílem je pouze rozsah vyšetření, který udávají klinické indikace. Standardní rozsah vyšetření se provádí od baze lební do poloviny stehen. První částí vyšetření je vytvoření topogramu, který se zobrazí jako předozadní projekce, díky které naplánujeme rozsah dalšího skenování. Další náběr dat pro CT tedy probíhá ve vymezené zájmové oblasti, lůžko s pacientem se posune hlouběji do gantry PET a nastává snímání emisních PET dat z definované oblasti. K náběru PET dat dochází plynule v určitých okamžicích nazývaných jako postele (beds). Systém ukládá data ve směru vyšetřované osy v délce asi 15-20 cm po dobu 3 minut. Poté se lůžko automaticky posune a snímá se další část. Snímané pozice (postele) by se z části měli překrývat, aby nenastalo snížení citlivosti PET skeneru na krajích zorné oblasti. Fúze obrazu je založena na principu zvětšení PET snímků, které jsou zaznamenány do menší matice než snímky CT. Využívá se metoda zvaná alpha-blending, pomocí které můžeme přiřadit různou míru průhlednosti každé z modalit. (Votrubová, 2009)

## **6.5 Příprava pacienta na vyšetření**

Příprava pacienta na vyšetření by měla být velice důsledná, vzhledem k tomu, že se snažíme o kvalitní provedení vyšetření, také o kvalitní výsledky vyšetření a následné hodnocení. Snažíme se především dbát na to, aby pacient byl dostatečně hydratovaný. Pacient by se měl na vyšetření dostavit lačný. Hladina glykemie v krvi pacienta by měla být nízká. U pacientů trpících alergií na jodové kontrastní látky je nutno podat premedikaci. (Votrubová, Máca, 2009)

### **6.5.1 Lačnění**

Lačnění je jedním ze základních předpokladů správně provedeného a kvalitně hodnotitelného vyšetření. Před vyšetřením je zapotřebí, aby pacient 6 hodin nejedl, jelikož potřebuje hladinu glukózy udržet na bazální úrovni a předejít výskytu zvýšené akumulace například ve svalech a střevní stěně. (Votrubová, Máca, 2009)

### **6.5.2Hydratace**

Pacientovi doporučujeme, aby přijímal nápoje, které nebudou sladké. Hydratace hraje důležitou roli pro snížení radiační zátěže pacienta z radiofarmaka. Dále je důležitá k prevenci vzniku možných nefropatií po aplikaci jodové kontrastní látky intravenózně. Klientovi doporučujeme, aby pil vodu až do vlastního vyšetření. ( Votrubová, Máca, 2009)

### **6.5.3Glykemie a inzulinemie**

Hladina glukózy v krvi je důležitým faktorem ovlivňujícím metabolickou část vyšetření. Především u onkologických pacientů je zvýšená hladina glykémie nežádoucí, neboť nepříznivě ovlivňuje vztah glukózy a 2-<sup>18</sup>F-fluoro-2deoxy-D-glukózou a nastává zhoršení kvality obrazu. Po příchodu pacienta na vyšetření je tedy nezbytné změřit hladinu glykemie v krvi. Pokud je hladina glykemie vyšší než 10mmol/l je nutné provést její korekci intravenózním podáním krátkodobě působícího inzulinu. (Votrubová, Máca, 2009)

### **6.6 Indikace k provedení PET/CT vyšetření mozku**

K tomuto typu vyšetření se dostaví pacienti ke kontrole, jedná se například o klienty, u kterých se vyskytují změny v metabolismu glukózy, nastává změna morfologického obrazu. Změny metabolismu glukózy jsou typické při výskytu recidivy nebo remise onemocnění. V dnešní době se PET/CT využívá i jako plánovací vyšetření před radioterapií. (Mysliveček, Koranda, Hušák, 2002)

### **6.7. Kontraindikace PET/CT**

Nejzávažnější kontraindikací k provedení PET/CT vyšetření těhotenství tato indikace je vzhledem k tomuto vyšetření absolutní. Další kontraindikací je dekompenzovaný diabetes mellitus a alergie na jodové kontrastní látky, které lze předejít dlouhodobou premedikací. Důležitou roli hraje klaustrofobie. Některé pacienty je nutné i uspat, jsou to především pacienti, kteří nejsou schopni ležet na lůžku 15 minut bez pohnutí. Pacienti by neměli překročit hmotnost 200 kg. (Votrubová, Máca, 2009)

## 6.8 Artefakty PET/CT

Nejčastějšími artefakty, stejně jako u jiných zobrazovacích modalit tak i u PET/CT, jsou artefakty způsobené pohybem pacienta. Jedná se o artefakty způsobené vlivem dýchání nebo nevědomě pohnutím pacienta. Dýchací pohyby jsou na PET/CT obrazu zobrazeny jako pruhy orientované paralelně s bránicí. Pohnutí v oblasti hlavy způsobuje zhoršení anatomického lokalizování ložiska, kde dochází k zvýšené akumulaci FDG. Při vyšetřování v oblasti hlavy je tedy vhodné využít fixační pomůcky a především poučit pacienta. (Votrubová, Máca, 2009)

## 6.9 Radiofarmaka pro PET

Pozitronová tomografie ke svým vyšetřením používá velké množství radionuklidů. Pomocí biologických vlivů radioaktivních látek lze prozkoumat funkční změny v lidském organismu. Nejčastěji využívaným radionuklidem bývá  $^{18}\text{F}$  a ním označená fluoro-2-deoxy-D-glukóza (FDG). V současné době je známo přibližně 600 radionuklidů, které při radioaktivní přeměně umí vyprodukovat pozitrony využitelné pro vyšetření pomocí PET. Velice často se využívají biogenní radionuklidy vyprodukované z cyklotronu, jedná se například o  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ . Plusem těchto prvků je nízká radiační zátěž pro pacienta a získání kvalitního výsledného obrazu. Jejich výroba je však velice nákladná a poločas rozpadu těchto prvků je nízký. (Bělohávek, 2003)

### 6.9.1 FDG , Fluoro-deoxy-glukóza

Glukóza zároveň s FDG se dostává do buňky za pomoci transportních proteinů, podél koncentračního gradientu (Glut) a nebo proti němu (SGLT). Transportní protein má rozdílnou afinitu ke glukóze a pro každou z buněk je jinak známý. Glut -4 se ve velkém množství vyskytuje na povrchu tukových a svalových buněk, exprese tohoto prvku závisí především na inzulínové hladině v těle. Glukóza i FDG se v buňce fosforylují za pomoci enzymů hexokinázy na glukóza-6-fosfát a 2-FDG-6-fosfát, který se dále metabolizuje a seskupuje v buňce. Vznikají také takzvané reverzní reakce, pomocí enzymu glukóza-6-fosfatázy, díky kterým se částečně z buňky FDG vyloučí.

U buněk nádorů dochází ke zmnožení non-inzulindependentní glukózové transportéry, vyskytuje se i zrychlení fosforylace a snižuje se hladina glukózo-6-fosfatázy. Důsledkem výše zmíněných skutečností dochází k zvýšené akumulaci FDG v nádorových buňkách. Výskyt zvýšené akumulace uvedeného prvku lze vidět i v místech zánětu. K provedení vyšetření pomocí FDG je nutná pečlivá příprava pacienta. Chceme-li zobrazit nádory mozku nebo

záněty, je zapotřebí, aby pacient 6 hodin před vyšetřením lačněl. Snažíme se, aby hladina glykemie byla co nejnižší a došlo k minimalizaci kompetice FDG s glukózou. Zvýšená hladina glykemie může způsobit zhoršení kontrastu mezi nádorem a krevním pozadím. V důsledku lačnění dochází také ke snížení hladiny inzulinemie. FDG je fyziologicky z těla vylučována močí, k jejímu nahromadění tedy dochází v ledvinách a močovém měchýři. Vysokou akumulaci tohoto radiofarmaka lze vidět v šedé kůře mozkové, protože glukóza patří mezi nezbytnou látku zásobující mozek energií. (Bělohávek, 2003)

### **6.9.2 Fluorid sodný**

Tento prvek se využíval pro scintigrafii kostí před zavedením  $^{99m}\text{Tc}$  značených fosfátů. NaF se intenzivně váže na kostní matrix, dále na místa, kde dochází ke zvýšené kostní přestavbě, například zlomeniny, degenerativní onemocnění či záněty. Fluorid sodný má vysoký kontrastní poměr mezi kostí a krevním pozadím při vyšetření pomocí PET.

### **6.9.3 Značené aminokyseliny**

Využívají se především k zobrazení proteosyntézy u nádorových onemocnění. V poslední době se často používá O-2 $^{18}\text{F}$ -fluoroethyl-L-tyrosin (FET), tento prvek má i delší poločas radioaktivní přeměny. Značené aminokyseliny jsou vhodné pro zobrazení nádoru mozku, protože na rozdíl od FDG nedochází k jejich akumulaci ve zdravých tkáních mozku, při vyšetření tedy lze dosáhnout vysokého kontrastu mezi nádorem a okolní tkání.

### **6.9.4 Fluorthymidin (FLT)**

Za pomoci 3-deoxy-3- $^{18}\text{F}$ -fluorthymidinu lze zobrazit aktivitu v mitochondriích nádoru. FLT se vylučuje v buňkách enzymem thymidinkinázou 1, tento enzym je potřebný k syntéze DNA. K výskytu thymidinkinázy dochází uvnitř buněk v S-fázi buněčného dělení. U neoplazmat se v S-fázi vyskytuje přibližně 10% buněk, k akumulaci FLT v nádorovém ložisku tak dochází ve srovnání s FDG o něco méně. Při srovnání vyšetření před léčbou a po ní FLT umí lépe posoudit než FDG účinek nádorové léčby. Stejně jako u některých aminokyselin tak i u FLT nedochází k akumulaci ve zdravé tkáni mozku.

### **6.9.5 Cholin**

Tento prvek patří mezi živiny nezbytné pro tvorbu buněčných membrán a pro jejich obnovení. Cholin bývá označen jako  $^{11}\text{C}$  nebo jako derivát fluorocholinu značený  $^{18}\text{F}$ . Stejně jako jiné prvky tak i cholin není tolik vhodný pro diagnostiku onkologických onemocnění tak jako FDG. Tento derivát lze využít například k diagnostice nádorů prostaty.

### 6.9.6 Acetát

Pro acetát je typické, že se velmi rychle váže na buňky a aktivuje se na acetyl-koenzym, který je stavební látkou pro syntézu cholesterolu a mastných kyselin potřebných ke tvorbě membrán. Zvýšené množství je typickým znakem nádorů. Využívá se například k prokázání recidivy nádorů prostaty, dále ho lze využít i k diagnostikování nádoru ledvin, močového měchýře nebo posouzení ischemie a infarktu myokardu v kombinaci s PET vyšetřením. Acetyl-koenzym také patří mezi důležité zdroje energie pro mitochondrie, ve kterých dochází k jeho rozkladu na oxid uhličitý a vodu.

### 6.9.7 Markery hypoxie

Hypoxie je jedním z hlavních znaků růstu nádorového ložiska. Nejčastěji využívaným markerem pro hypoxii je  $^{18}\text{F}$ fluoromisonidazol (FMISO) a  $^{18}\text{F}$ -fluoroerythronitroimidazol (FETNIM), tyto prvky se váží na makromolekuly buněk. Dalším vysoce permeabilním prvkem využívaným k prokázání hypoxie nádoru se nazývá Cu-ATSM neboli  $^{64}\text{Cu}$  (II) diacetyl-di, N4-methylthiosemicarbazon, selektivně vázán na hypoxické tkáně pomocí redukčně oxidačního mechanismu.

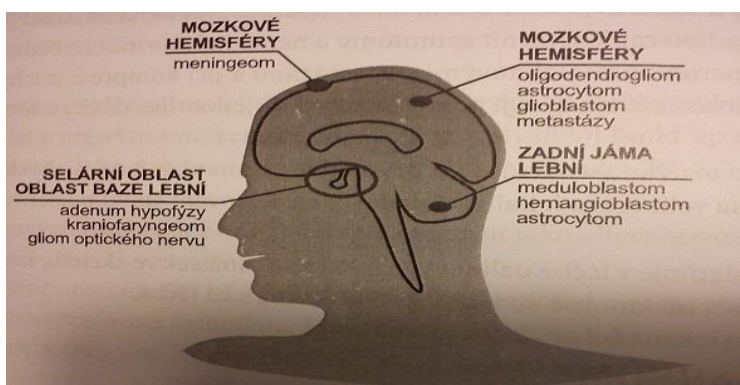
### 6.9.8 Markery pro perfúzi

Ke sledování perfúze lze kromě  $^{15}\text{O}$  využít i amoniak ( $^{13}\text{N}$ )  $\text{NH}_3$ , který se velice rychle myokardem mozkiem a dalšími tkáněmi vychytává z krevního oběhu pacienta. Přes buněčnou membránu se dostává především mechanismem zvaným difuze. V buňkách dochází k hromadění  $^{13}\text{N}$  v glutaminu nebo v kyselině glutamové. K využití amoniaku dochází na hranici výzkumu a klinicky ho lze využít k hodnocení perfúze myokardu či mozku. (Bělohávek, 2009)

## 7 Nádory mozku

Nádorová onemocnění mozku se rozdělují na karcinomy primární, vyrůstající z mozkové tkáně či okolních struktur a na karcinomy sekundární, které jsou způsobeny metastázami především maligních nádorů z různých oblastí těla, například ledvin, plic, prsou, mamy. Z anatomického umístění můžeme karcinomy rozdělit na infratentoriální, karcinomy nacházející se v mozkovém kmenu a na karcinomy supratentoriální, které tvoří velkou část výskytu. Vzhledem k tomu, že je dosud známo velmi malé množství údajů vypovídajících o vztahu zevních příčin primárních karcinomů postihujících CNS, můžeme za etiologické faktory považovat expozici různých chemických přípravků (například vinylchlorid, polychromované bifenyly, etylnitrozomocovina), ionizující záření, poranění hlavy nebo viry vyskytující se v onkologii. U pacientů v dětském věku může být za výskyt mozkových nádorů zodpovědná porucha v embryonálním vývoji plodu. V České republice nádory mozku ročně onemocní přibližně 700 obyvatel, z toho k nejčastějšímu výskytu dochází u dětí a mladistvých přibližně do 16 let a poté u obyvatel starších 60 let. K nejmenšímu výskytu nádorů dochází u věkové kategorie od 16 do 24 let. Určitá část tohoto onemocnění je podmíněna genetickou predispozicí. (Šlampa, Petera et al.,2007)

*„WHO klasifikace dělí nádory CNS do 10 skupin na základě histogenetického původu: nádoryneuroepiteální, nádory mozkomíšních nervů, nádory mening, lymfomy a nádory hemopoetické, germinální nádory, cysty a pseudotumorózní léze, nádory selární oblasti, nádory šířící se z okolí, metastatické a neklasifikovatelné nádory“ ( Šlampa, Petera et.al.s 92, 2007)*



Obrázek 5 Nejčastěji se vyskytující nádory v oblasti mozku (Šlampa, Petera et.al)

## 7.1 Diagnostika

Mezi hlavní z iniciálních příznaků mozkových nádorů řadíme především bolest hlavy, psychické změny jako je například agresivita, labilita, syndrom nitrolební hypertenze s městnáním na oční pozadí. U 20-30 % pacientů mohou být jedním z příznaků i epileptické záchvaty. K zobrazovacím postupům diagnostiky zánětlivých lézí v oblasti centrální nervové soustavy se využívají přístroje výpočetní tomografie, mezi něž patří CT přístroj, dále je často využívána magnetická rezonance, případně MR angiografie nebo spektroskopie. Důležitou diagnostickou metodou, která je v poslední době ve velké míře rozšířená, je pozitronová emisní tomografie (PET). Díky této zobrazovací metodě je možné rozlišit recidivu nádorových onemocnění od postradiačních nekrotických ložisek v oblasti tkáně mozku. U každého z diagnostikovaných nádorů musí být provedeno histologické ověření stereotaktickou punkcí nebo běžným operačním způsobem. Velkým přínosem bývá provedení cytogenetického vyšetření, především u pacientů v dětském věku. Nádorová ložiska vyskytující se v oblasti mozkového kmene lze lokalizovat s velkými obtížemi, někdy verifikace nádoru nedosáhneme vůbec. U nádorů dále se rozšiřujících do vaku míšního je nezbytné provést MR vyšetření a především cytologické vyšetření mozkomíšního moku. Vyšetření skeletu, plic a parenchymatózních orgánů se provádějí u pacientů s nádory, kde můžeme předpokládat, že dále budou metastazovat krevní cestou. (Loukotová, 2011)

### Changova klasifikace meduloblastomu

T1- nádor ve svém největším průměru menší než 3cm

T2- nádor ve svém největším průměru větší než 3 cm

T3a- nádor větší než 3 cm s propagací do Silviova kanálku nebo s průnikem do Luschkova otvoru

T3b- nádor větší než 3 cm s propagací do mozkového kmene

T4- nádor větší než 3 cm s průnikem kranálně nad Silviův kanálek a nebo kaudálně přes foramen magnum

M0-nejsou přítomné známky subarachnoidální nebo hematogenní diseminace

M1-mikroskopický průkaz nádorů v mozkomíšním moku

M2-makroskopický průkaz postižení subarachnoideálního prostoru mozku

M3- makroskopický průkaz postižení subarachnoideálního míšního prostoru

M4- diseminace mimo cerebrospinalní osu (Šlampa, Petera et.al, 2007)

## 7.2 Rozdělení nádorů

Mezi vysoce maligní „**high-grade**“ gliomy patří astrocytom G3 a astrocytom G4-glioblastomamultiforme. Jedná se o nádory vycházejících z neurogliových buněk a jsou to vysoce maligní tumory s infiltrativním růstem. „High-grade“ gliomy vytvářejí výrazný kolaterální edém.

Gliomy s **nízkou malignitou** jako jsou například astrocytomy, pocházejí z buněk, které podporují neuroglie.

Další skupinou nádorů mozku, pro kterou je charakteristický jejich pomalý růst jsou meningeomy tvořící přibližně 20% primárních nádoru CNS. Tyto tumory vyrůstají především z plen mozkových, bývají z určité části zhoubné, nezshoubné a semimaligní, což znamená, že nádor je na hranici mezi maligním a benigním, tedy částečně zhoubný.

**PNET (primitivní neuroektodermální tumor) neboli meduloblastom**, patří k nádorům embryonálním. Nejčastěji je lokalizován u skupiny obyvatel dětského a mladistvého věku, tvoří přibližně 40% infratentoriálně lokalizovaných tumorů. Charakter tohoto nádoru bývá velice agresivní, velice často dochází k jeho rozšíření v CNS a mimo kraniální osu. Svým růstem z mozečku kvůli němu dochází k uzavěru čtvrté komory mozkové a vzniká vnitřní hydrocefalus. Největším vrcholem růstu tohoto nádoru je pátý rok života bez ohledu na pohlaví postiženého jedince. U meduloblastomu dochází k velikému riziku diseminace neuroaxiální, z 11-43% spinální cestou a ze 4% diseminace hematogenní.

V zadní jámě lební jsou z 90% lokalizovány intrakraniální **ependyomy**. Jejich častý výskyt bývá z 3-6% u dětí do 6 let, především u chlapců. 70% nádorů je lokalizováno v míšním kanálu v oblasti caudaequiny a fillumterminale. Tyto nádory dokážou velice často metastazovat likvorovými cestami, stejně jako výše uvedené meduloblastomy. Projevují se neurologickými projevy, jako jsou například bolesti hlavy, které postupně zvyšují svou intenzitu do maxima a pak potíže rychle ustupují, nádor zabraňuje odtoku moku, dalšími projevy bývá ataxie, zvracení, dysmetrie nebo hemiparetické jevy.

Nádory vycházející z corpus pineale nazýváme **pinealocyty a pinealoblastomy**. Je zde 10% riziko, že dojde k jejich subarachnoidálnímu rozšíření po celé ose kraniospinální. Podle nejnovější klasifikace tento typ tumorů, můžeme zařadit do skupiny nádorů PNET.

Jednou z dalších skupin nádorů jsou **germinomy**. Supraselárně se nachází 30-50% tumorů, v pineální oblasti dochází k výskytu přibližně 50-60% případů. Tyto nádory se svým histologickým složením téměř shodují s nádory varlat. Některé germinomy jsou schopné produkovat biochemické markery, jako je  $\alpha$ -1-fetoproteinu a choriogonadoproteinu.



Hladiny těchto markerů je vhodné monitorovat, neboť může být velice významným přínosem během léčby i při následném dlouhodobém pozorování pacienta. Předpokládáme zde, že u 10% onemocnění, může dojít ke kraniospinální diseminaci.

V části **hypofýzi** můžeme lokalizovat velké množství nádorů. Většinou dostávají název podle hormonu, který sami produkují, především se jedná o adenomy. Mohou se projevovat postižením zrakových drah a svým vysoce rozšířeným růstem v oblasti tureckého sedla. Adenomy hypofýzi se podle mikrostruktury a dalších různých vlastností rozdělují do sedmi skupin, mezi něž patří laktotropní, somatotropní, kortikotropní, thyreotropin, gonadotropní, nuabuňkové a plurihoronální. Tyto nádory tvoří 10-15% nádorů mozku. Velká část nádorů má benigní charakter a jejich růst je spíše pomalý. Dále do této skupiny řadíme hypofyzární karcinomy, vyskytující se spíše jen vzácně. Část z nich bývá stále hormonálně aktivní. Velmi vzácně u této skupiny dochází i k hematogenní diseminaci.

**Kraniofaryngeomy** můžeme zařadit mezi nádory vyskytující se v dětském věku. K jejich vzniku dochází v Rathkeho výchlípký v selární nebo supralární oblasti. Bývají dobře ohraničené, lze je charakterizovat cystickými útvary či obsahem kalcifikací. Především se vyskytují v benigní podobě. (Šlampa, Petera et. al, 2007, Kubecová, 2011)

## II. Praktická část

V praktické části se zabývám popisem zobrazení nádorů na molekulární úrovni. Přesněji budu popisovat pozitronovou emisní tomografii pomocí  $F^{18}$ -FLT,  $F^{18}$ FDG a stručně se zmíním o vyšetření pomocí  $^{18}F$ -MISO. Podrobné informace k provedení tohoto vyšetření jsem získala na oddělení nukleární medicíny. V této části práce jsou přiloženy i fotografie a písemné souhlasy k provedení vyšetření.

Pro diagnostiku mozkových nádorů se přístroj PET (pozitronové emisní tomografii) využívá k odlišení recidivy a pooperační, postradiační jizvy u high-grade lymfomů, posouzení stupně malignity nádoru, detekce reziduální nádorové masy po operaci, lokalizaci nádorů před biopsií nebo k odlišení mozkových lymfomů od toxoplazmózy.

$^{18}F$ -FLT, fluorothymidin je pozitronové radiofarmakum, využívající se pro PET mozku. K jeho vychytávání (akumulaci) dochází u maligních nádorů, tento prvek je dále ukazatelem proteosyntézy (metabolismu aminokyselin), která se ve velkém množství nachází v zhoubných nádorech.

$^{18}F$ -FDG, fluorodeoxyglukóza patří také mezi pozitronová radiofarmaka k vyšetření mozku. Pomocí tohoto radiofarmaka lze zobrazit metabolismus glukózy v mozku a regionální průtok mozkovou částí.

## 8 Objednání pacienta k vyšetření na PET

Pacient je k vyšetření objednáán na základě žádanky vystavené indikujícím lékařem. Za schválení indikace k vyšetření (lékařskému ozáření) a rozhodnutí o provedení vyšetření je odpovědný lékař se specializací v oboru Nukleární medicíny. U žen ve fertilním věku směřujeme termín vyšetření do první části cyklu. Pacient se objedná buď osobně na oddělení NM, sám telefonicky, nebo jej může objednat indikující zařízení. Žádanku s doplněným telefonickým kontaktem ponecháme v kartotéce. Statimová vyšetření se provádějí po telefonické domluvě s indikujícím lékařem a jsou koordinována s pracovníkem na úseku radiofarmak.

Při osobním objednání pacient obdrží písemné pokyny s uvedením data a hodiny vyšetření spolu s informacemi o průběhu vyšetření a přípravě. Můžeme mu s sebou dát i písemný souhlas, aby si ho doma v klidu přečetl.

### 8.1 Obecný postup po příchodu pacienta k vyšetření pomocí PET

- a) Identifikace pacienta (jméno, příjmení, rodné číslo, bydliště, pojišťovna) a založení pacientovi karty. V případě, že se jedná o opakované návštěvy, ověříme data a případně je aktualizujeme.
- b) Na přední stranu karty zaznamenáme datum, druh vyšetření, druh aplikovaného radiofarmaka a vpravo nahoru údaje o alergii.
- c) Zkontrolujeme a eventuálně na žádanku doplníme hmotnost pacienta a přesvědčíme se, zda pacient dodržel doporučenou přípravu.
- d) Pacienta poté předáme k sestře do aplikační místnosti k dalšímu postupu.
- e) Po aplikaci příslušná osoba doplní číselný údaj o aktivitě radiofarmaka na přední stranu karty.
- f) Pacienta zapíšeme do příslušného počítačového systému.

### 8.2 Indikace k vyšetření mozku pomocí $^{18}\text{F}$ -FLT

Indikací k provedení PET vyšetření pomocí radiofarmaka  $^{18}\text{F}$ -FLT je diferenciální diagnostika recidivy maligního nádoru mozku, dále jakékoliv postradiační změny.

### 8.2.1. Příprava před vyšetřením pomocí $F^{18}$ -FLT

Pacient přichází na vyšetření v ranních hodinách, není nutná žádná příprava, může normálně jíst a pít jak je zvyklý.  $F^{18}$ -FLT je čirý bezbarvý nebo žlutě zbarvený roztok prostý částic. Na oddělení je transportován ve skleněné lahvičce, která je uzavřena pryžovou zátkou a hliníkovou objímkou. Radiofarmakum je aplikováno intravenózně. Osoba určená k provádění činnosti s radioaktivními látkami si farmakum natáhne ve speciální místnosti k tomu určené do injekční stříkačky chráněné obalem z wolframu a poté jej ještě umístí do olovněného vozíku (obrázek číslo 8). Celková aplikovaná aktivita radiofarmaka závisí na hmotnosti pacienta, pohybuje se v rozmezí 150-600 MBq. Pozveme pacienta z čekárny do aplikační místnosti (obrázek číslo 6), kde mu před aplikací radiofarmaka zavedeme do kubitální žíly periferní kanylu, kterou poté propláchneme fyziologickým roztokem. Kanylu zavádí sestra nebo radiologický asistent a je zapotřebí, aby k tomu měl připravené rukavice, vatové tamponky, dezinfekci škrtidlo a náplast. Samotnou aplikaci radiofarmaka provádí sám lékař a je povinen ihned po aplikaci zapsat do dokumentace čas, způsob a místo aplikace radiofarmaka. Stříkačky a jehly, které jsme k aplikaci použili, musíme vyhodit do speciálního kontejneru na odpad. Za 15 minut po aplikaci radiofarmaka provádíme vyšetření mozku pomocí přístroje pro pozitronovou emisní tomografii (PET), který je zobrazen na obrázku číslo 9. Součástí tohoto přístroje je i CT.



Obrázek 6 Aplikační místnost (vlastní zdroj)



**Obrázek 7 Wolframový kryt stříkačky (vlastní zdroj)**



**Obrázek 8 Olověný vozík (vlastní zdroj)**



**Obrázek 9 Přístroj pro pozitronovou emisní tomografii (PET) , (vlastní zdroj)**

### 8.2.2 Postup provedení vyšetření

Před vyšetřením požádáme pacienta, aby si došel na toaletu, pozveme ho do kabinky, kde si odloží obuv, bundu a především kovové věci. Při vstupu do vyšetřovny provedeme identifikaci pacienta, zeptáme se na jeho jméno, příjmení, datum narození, případně rodné číslo. Pokud to jde, snažíme se od pacientů držet co nejdále, nutno dbát na radiační ochranu. Pacienta uložíme na záda, ruce budou na hrudníku, hlavu uložíme do speciálního nástavce tak, aby byla brada co nejbližší k tělu, můžeme upevnit i páskem viz obrázek číslo 10. Centrovat budeme pomocí laseru za hlavu pacienta, což je názorně vidět na obrázku číslo 11. V ovládací místnosti si zadáme do počítače údaje o pacientovi, provedeme toposken, naplánujeme rozsah CT vyšetření v axiální rovině a provedeme CT. Po skončení CT provádíme vyšetření PET. Po celou dobu vyšetření, které trvá přibližně 20-30 minut pacienta, sledujeme z ovládozny nebo pomocí kamerového systému.



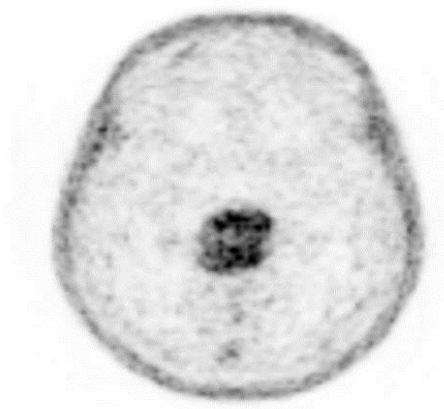
Obrázek 10 Uložení pacienta (vlastní zdroj)



Obrázek 11 Centrování pomocí laseru (vlastní zdroj)

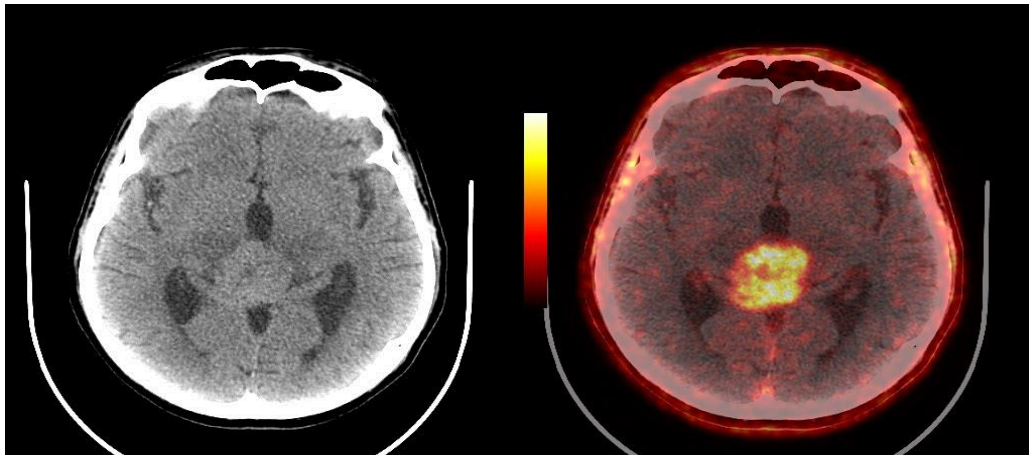
### 8.2.3 Hodnocení nálezu

$^{18}\text{F}$ -FLT se neváže v šedé koře mozkové. Nádorové ložisko se v mozku se na výsledném obrazu bude jevit jako místo vysoké akumulace  $^{18}\text{F}$ -FLT, což lze vidět na níže uvedených obrázcích. Radiofarmakum pro PET mozku, které se akumuluje v maligních nádorech a je ukazatelem stupně metabolismu aminokyselin neboli proteosyntézy, která je vysoká u zhoubných nádorů.



Obrázek 12 Recidiva pinealoblastomu (Doležal, 2014)





Obrázek 13 PET/CT fúze (Doležal, 2014)

### 8.3 Indikace a kontraindikace vyšetření pomocí $^{18}\text{F}$ -FDG

Indikací k vyšetření je zobrazení recidivy nebo remise nádoru mozku, kde dochází k vysoké akumulaci  $^{18}\text{F}$ -FDG, neboť glukóza se hromadí v místě nádorového bujení a je zdrojem energie, kterou nádorové ložisko vyžaduje.

Mezi kontraindikace k provedení vyšetření patří těhotenství, neschopnost ležet 15 minut bez pohybu, dekompenzovaný diabetes mellitus, hladina glykemie nad 11 mmol/l, zhoršuje kvalitu zobrazení.

#### 8.3.1 Příprava pacienta

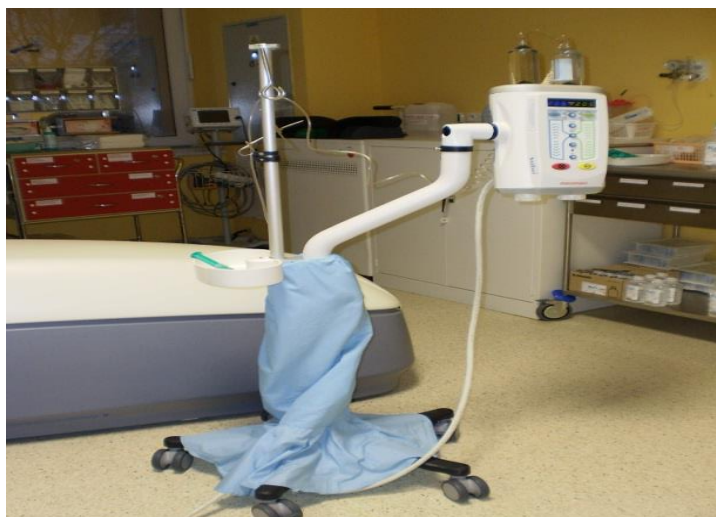
Pro vyšetření pomocí  $^{18}\text{F}$ -FDG, je nutné, aby pacient 1-2 dny před plánovaným vyšetřením omezil jakoukoliv fyzickou námahu. Dále pacienta upozorníme, že 6 hodin před vyšetřením nesmí nic jíst a pít slané nápoje. Při provádění PET/CT se intravenózně podává jodová kontrastní látka, proto je nutné, aby pacient před vyšetřením, ale i po něm, byl hydratován. Čtyři hodiny před vyšetřením je nutné, aby pacient pil pouze čistou vodu a množství se pohybovalo kolem 100 ml/h. Při parenterálním podání se k hydrataci podává 0,9% roztok NaCl, 1-2 ml/kg/hod 4 hodiny před vyšetřením a 24 hodin po něm. Hydratace hraje důležitou roli u pacientů se sníženou renální funkcí, neboť kontrastní látka se z těla vylučuje ledvinami. U klientů, kteří již v předešlé době měli jakoukoliv reakci na kontrastní látku, podáváme premedikaci Prednisonem 40mg, 12-18 hodin před podáním jodové kontrastní látky a 20mg 6-8 hodin před podáním. Za jakoukoliv premedikaci je zodpovědný indikující lékař. U diabetických pacientů užívajících inzulin, lékař upraví užívání tak, aby v den vyšetření byla hladina glykemie v normě. Horní hranice glykemie se uvádí maximálně



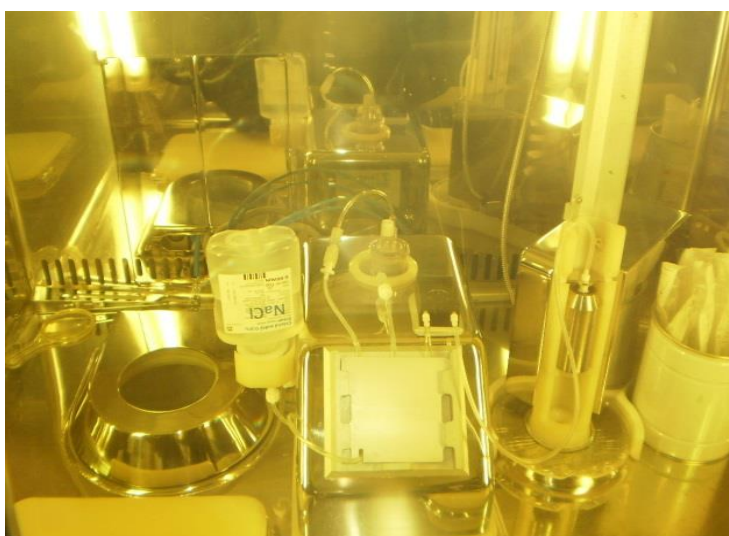
10 mmol/l. Doporučuje se, aby pacient před půlnocí snědl netučné a nemastné lehce stravitelné jídlo, aplikoval si běžnou dávku inzulínu a dále už nic nejedl, inzulín si více neaplikoval. Pokud to bude možné, diabetického pacienta objednáme na vyšetření v ranních hodinách jako prvního. U pacientů trpících bolestmi zad, které znemožňuje ležet 30 minut na zádech, podáme přípravek na tlumení bolesti. Je nutné dbát, zda pacient netrpí klaustrofobií nebo nějakou z dalších skutečností, která by mohla znepříjemnit průběh a kvalitu vyšetření.

### **8.3.2 Postup provedení vyšetření**

Po příchodu pacienta na oddělení a nahlášení v kartotéce PET/CT ho pozveme do aplikační místnosti, požádáme ho, aby si odložil a posadil se na křeslo. Změříme hladinu glykémie, připravíme si dezinfekci, škrtidlo, tamponky, emitní misku, leukoplast, pro zavedení kanyly do kubitální žíly. Na laboratorním úseku nacházejícím se většinou vedle aplikační místnosti, připraví farmaceut mezi tím v laminárním boxu FDG do injekční stříkačky opatřené wolframovým stíněním, kterou do aplikační místnosti doveze ve vozíku z olova. Před aplikací radiofarmaka vede lékař s pacientem krátký rozhovor o jeho potížích, popřípadě zodpoví jeho dotazy. Po aplikaci vše zaznamenáme do dokumentace a pacienta odešleme do úseku kabinek, kde bude asi 60 minut odpočívat. Během tohoto klidového času, nastává vychytávání metabolitů FDG v patologických lézích. Pacient by měl být v absolutním fyzickém i psychickém klidu, u tenzních pacientů totiž dochází k aktivaci hnědého tuku a vychytání FDG v nežádoucích oblastech. Po uplynutí klidové fáze požádáme pacienta přes komunikační systém, aby si došel na toaletu a odložil si oblečení. Vyzveme pacienta z kabinky do vyšetřovny a požádáme ho, aby si lehl na záda a hlavu dal do speciálního nástavce viz. obrázek 14. Rozsah vyšetření určí lékař, většinou se provádí v rozsahu od báze lebni až pod třísla. V indikovaných případech podáme pacientovi premedikaci (bucspan, analgetika, sedativa), fyziologickým roztokem propláchneme kanylu a zjistíme její průchodnost a napojíme prodlužovací hadičku k injektoru jodové kontrastní látky. Po odpojení kontrastní látky provádíme PET stejné oblasti, jako bylo provedeno CT. Provedení PET trvá přibližně 30 minut. Není-li pacient schopen 30 minut ležet bez močení, zabezpečíme ho plenou, aby nenastalo přerušování vyšetření, které by znemožnilo hodnocení PET/CT fúze.



**Obrázek 14 Injektor pro podání KL (vlastní zdroj)**



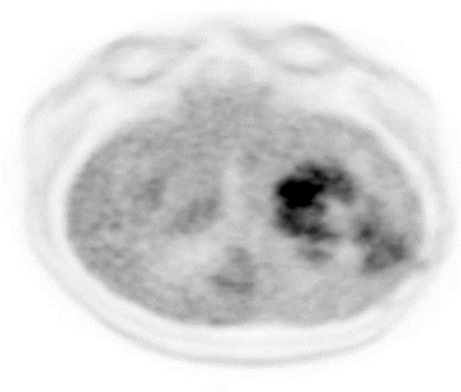
**Obrázek 15 Laminární box (vlastní zdroj)**



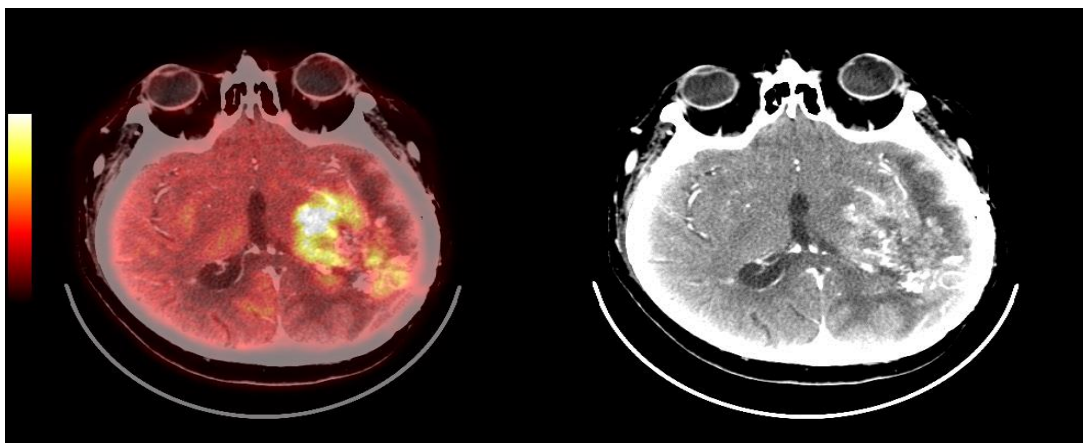
Obrázek 16 PET/ CT přístroj (vlastní zdroj)

### 8.3.3 Hodnocení nálezu

$^{18}\text{F}$ -FDG velmi rychle a snadno prostupuje přes hematoencefalickou bariéru, poté je fosforylováno v neuronech pomocí hexokinázy na deoxyglukózo-6-fosfát, který již dále není metabolizován a zůstává iverzibilně v neuronech. Záchyt  $^{18}\text{F}$ -FDG v mozku je přímo úměrný regionálnímu metabolismu glukózy. Šedá hmota, jako neurony, vykazuje přibližně 4x vyšší spotřebu záchytu glukózy než hmota bílá. Zvýšená akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDG je vidět u maligních nádorů viz. obrázek číslo 13 a v epileptogenním fokusu v iktálním stádiu, naopak snížená akumulace je u CMP, demencí a epileptogenním fokusu v interiktálním stádiu.



Obrázek 17 recidiva glioblastomu (Doležal, 2014)



Obrázek 18 CT obraz glioblastomu

Obrázek 19 PET/CT fúze obrazu (Doležal,2014)

## Diskuze

V rámci studia oboru Radiologický asistent, jsem měla možnost dostat se na tři pracoviště nukleární medicíny. Bohužel s přístrojem určeným k pozitronové emisní tomografii jsem měla možnost během své praxe pracovat pouze na pracovišti jednom, jelikož náklady na pořízení tohoto přístroje jsou velice nákladné, nemůže si ho dovolit pořídit každé pracoviště. Vzhledem k tomu, že jsem vyšetření mozku pomocí s hybridního přístroje PET /CT viděla pouze na jednom pracovišti, mohu své poznatky porovnat pouze s literárními prameny, kterých dle mého názoru k tomuto tématu je minimální.

Správné postupy na oddělení nukleární medicíny jsou popsány radiologickými standardy, každá nemocnice si je upravuje individuálně pro vyšetření, které provádí a uvedené standardy vychází z obecných národních radiologických standardů. Radiologický asistent je povinen tyto standardy dodržovat, praxe se však někdy zásadně může lišit od teorie vzhledem k tomu, že každý z lékařů klade jiné požadavky a má různé zvyklosti, každý z pacientů je také jiný, každý má typickou výšku, váhu a indikace k vyšetření jsou rozdílné.

Téma mé práce je zaměřeno na mozkové nádory. Pacienti s tímto onemocněním se od sebe odlišují především věkovou kategorií, výškou a váhou. Někteří z pacientů mohou být, neklidní, nepozorní a mít například výpadky paměti, či poruchy vědomí což odpovídá jejich onemocnění. Snažíme se k pacientovi tedy přistupovat individuálně, někdy je zapotřebí poupravit průběh vyšetření.

K dobrému zvládnutí výjimečných situací je zapotřebí, aby měl radiologický asistent dostatečnou praxi, musí mít kvalitní znalosti v rámci oboru, být flexibilní a odolný vůči stresovým situacím. Nikdy nesmíme zapomínat na kontrolu identity pacienta, aby nedošlo k záměně. Po vstupu pacienta do vyšetřované místnosti se ho zeptáme na jméno případně rodné číslo.

Nejmodernější metodou molekulárního zobrazování je modalita PET/CT. Tento přístroj je založen na principu distribuce aplikovaného radiofarmaka a následném zachycení pomocí radioaktivní přeměny beta<sup>+</sup>. Počítačový systém PET/CT přístroje pak vytváří fúzi, neboli konečný obraz vyšetřované oblasti, ve které je promítnut snímek pořízený z PET a CT. Pomocí principu alpha-blendingu přiřadí snímku různá průhlednost. K zobrazení nádorů mozku pomocí výše zmíněného přístroje se především užívají dvě základní radiofarmaka, mezi něž patří <sup>18</sup>F-FLT a <sup>18</sup>F-FDG. Tyto radioaktivní látky jsou na pracoviště nukleární medicíny dováženy, proto je za potřeby jejich předkalibrace. Mezi výhody <sup>18</sup>F-FLT patří, že se na rozdíl od <sup>18</sup>F-FDG neváže v šedé koře mozkové, který fyziologicky ukazuje vysokou

konsumpci glukózy. Vyšetření mozku pomocí uvedených radiofarmak se provádí přibližně jednou za čtvrt roku. Vzhledem k tomu, že při tomto vyšetření dochází k velké radiační zátěži nejen pacienta, ale i personálu. Nezbytnou součástí práce radiologického asistenta je dodržování radiační ochrany, především jejich principů, kterými jsou ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Po sdělení informací pacientovi by radiologický asistent neměl setrvávat v jeho bezprostřední blízkosti, neměl by se zdržovat v prostorách čekárny.

Nukleární medicína v dnešní době patří k moderním a neustále se vyvíjejícím se oborům. Dochází k neustálému obohacování vyšetření, zdokonalování a objevování nových vyšetřovacích postupů. Vyvíjí se výroba radiofarmak a přichází na trh nové a čím dál tím dokonalejší přístroje. Vlivem nových postupů a poznatků lze zlepšovat kvalitu péče personálu o pacienta.

## **Závěr**

Cílem praktické části mé bakalářské práce bylo pečlivě popsat zobrazení nádorů mozku na přístroji PET (pozitronová emisní tomografie), uvést ucelený, stručný a přehledný dokument, ve kterém bude popsán chod na oddělení nukleární medicíny, její historie, principy radiační ochrany a její náležitosti, které jsou nezbytnou znalostí radiologického asistenta k vykonávání tohoto povolání. Dále jsem stručně a výstižně popsala nádorová onemocnění postihující mozek, základní princip pozitronové emisní tomografie a radiofarmaka využívajících se k tomuto vyšetření.

V praktické části, jsem se snažila vytvořit literaturu, která popisuje molekulární zobrazení nádoru mozku pomocí pozitronové emisní tomografie. Stručně a přehledně jsem na základě vlastních poznatků a zkušeností popsala objednání pacienta na vyšetření, přípravu pacienta před vyšetřením, zavedení kanyly, aplikaci radioaktivní látky a samostatný postup provedení vyšetření s následným snímáním.

Myslím si, že cíle, které jsem si stanovila, se mě podařilo splnit. Díky své bakalářské práci, jsem sama dosáhla obohacení svých znalostí v oboru Nukleární medicíny, především jsem se více dozvěděla o principu emisní pozitronové tomografie.

**Příloha : A**



FAKULTNÍ NEMOCNICE HRADEC KRÁLOVÉ  
Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové  
Oddělení nukleární medicíny  
tel./fax: 495 834 542

**ŽÁDANKA NA PET/CT VYŠETŘENÍ**

(žádanku odešlete na oddělení nukleární medicíny faxem nebo poštou)

**Příjmení, jméno:**

**Poj.:**

**Rodné číslo:**

**Telefon:**

**Adresa:**

**Druh požadovaného vyšetření:**

**Časový horizont:**

**Přesná DG (slovně i kódem MKN):**

**Průběh terapie:**

**Výsledky dosavadního vyšetření:**

**Alergie:**

**Váha/výška:**

**DM:**

**Pohyblivost pacienta:**

**Urea a kreatinin:**

**Způsob dopravy:**

**Datum odběru:**

**Gravidita: ANO NE**

**Sérové hodnoty NESMÍ být starší 14 dnů  
před termínem vyšetření na PET/CT!**

**Jméno, adresa, razítko a podpis odesílajícího lékaře:**

**IČP a odbornost (ve FN i kód oddělení):**

**Telefonní kontakt:**

**Datum vyplnění:**



**Příloha: B****Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 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 příjmení pacienta .....

Rodné číslo: ..... Pojišťovna.....

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

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

Datum:

Podpis pacienta – zákonného zástupce:

## PŘÍLOHA :C



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

**Oddělení nukleární medicíny - 6682**

tel./fax.: 495 834 542

**Souhlas pacienta/ky – zákonného zástupce  
s vyšetřením na přístroji PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka <sup>18</sup>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, zřízenec)

**Plánovaný výkon:** **PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka a jódové kontrastní látky**

**Radiofarmakum:** **<sup>18</sup>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 <sup>18</sup>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 stěv. Po cca 1 hodině (nutný interval k dostatečné akumulaci radiofarmaka) následuje vlastní vyšetření na přístroji PET/CT. Vyšetření se provádí vleže a trvá 20-40 minut.

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

Podání nitrožilní kontrastní látky může být spojeno s mírnými průvodními pocity, mezi něž patří sucho v ústech a pocit tepla v těle. Vzácně může na jódovou kontrastní látku vzniknout i nežádoucí alergická reakce. Vznik alergické reakce nelze předem předvídat. Projevy alergické reakce mohou být kýčání, pocit dušnosti, kožní reakce (např. kopřivka), ale ojediněle i těžké život ohrožující stavy. Vyšší rizika jsou u nemocných s astmatem a mnohočetnou přecitlivělostí (polyvalentní alergie). Vzácně se zhoršení základního onemocnění může objevit po podání jódové kontrastní látky u nemocných se srdečním selháním, s pokročilým poškozením funkce ledvin, feochromocytomem, myasthenií gravis, paraproteinemií, epilepsií a u některých osob trpících cukrovkou.

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

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

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

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

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

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

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

**Prohlašuji, že jsem lékařům 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, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví, souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.**

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

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

**dne: ..... v ..... hodin**

**Podpis: .....**  
-----  
-----

**Místo aplikace radiofarmaka a kontrastní látky:**

kubitální žíla  vpravo  vlevo

předloktí  vpravo  vlevo

dorsum ruky  vpravo  vlevo

flexila  vpravo  vlevo

jiné .....

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

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

jmenovka a podpis: .....

## PŘÍLOHA :D

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

### Souhlas pacienta/ky – zákonného zástupce s vyšetřením mozku na přístroji PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka <sup>18</sup>F-FLT

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, zřízenec)

Plánovaný výkon: **PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka**

Radiofarmakum: **<sup>18</sup>F- FLT (fluorodeoxythymidin)**

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 mozku pomocí radioaktivní látky.

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 <sup>18</sup>F-FLT se provede do zavedené kanyly a není spojeno s nežádoucími účinky.

Po cca 15-20 minutách (nutný interval k dostatečné akumulaci radiofarmaka) následuje vlastní vyšetření na přístroji PET/CT. Vyšetření se provádí vleže a trvá 15 minut. Vyšetření není spojeno s nežádoucími účinky.

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, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví, souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.**

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: .....

## Seznam Literatury

1. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Editor Vladislav Klener. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, 619 s. ISBN 8023837036.
2. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, c2007, 185, xiv s. ISBN 9788090358492
3. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6
4. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 9788024417233.
5. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012, 97 s. ISBN 9788074641831
6. VOTRUBOVÁ, Jana. *Klinické PET a PET/CT*. 1. vyd. Praha: Galén, c2009, xi, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.
7. 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.
8. HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA. *Základy radiační onkologie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012, 247 s. ISBN 978-80-210-6061-6
9. SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2012, 368 s., iv s. obr. příl. ISBN 978-80-247-4108-6.
10. MYSLIVEČEK, Miroslav, Pavel KORANDA a Václav HUŠÁK. *Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002, 69 s. ISBN 80-244-0509-1.
11. ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA. *Radiační onkologie*. 1. vyd. Praha: Galén, c2007, xviii s., 457 s. ISBN 978-80-7262-469-0.
12. DOLEŽAL, Jiří. *Fyzika*. ONM FN Hradec Králové, 2014, 228s.
13. DOLEŽAL, Jiří. *Radionuklidové zobrazení centrálního nervového systému*. ONM FN Hradec Králové, 2014, 63s.

## Internetové zdroje

1. <http://www.lf3.cuni.cz/cs/pracoviste/onkologie/skripta>
2. <http://www.astronuklfyzika.cz/>
3. <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/>
4. [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307\\_po\\_novele.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf)
5. <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf>
6. [http://public.fnol.cz/www/knm/manual\\_PET.pdf](http://public.fnol.cz/www/knm/manual_PET.pdf)

## Seznam příloh

1. Příloha A: *Žádanka na PET/CT vyšetření*.....56
2. Příloha B: *Anamnestický dotazník* .....57
3. Příloha C: *Souhlas pacient s vyšetřením pomocí PET/CT s aplikací  $^{18}\text{F-FDG}$* .....58
4. Příloha D: *Souhlas pacienta s vyšetřením pomocí PET/CT s aplikací  $^{18}\text{F-FLT}$* .....60