

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Simona Benešová

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

PET/CT v diagnostice febrilních stavů nejasného původu

Simona Benešová

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Simona Benešová**
Osobní číslo: **Z14108**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **PET/CT v diagnostice febrilních stavů nejasného původu**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

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

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

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 35 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
3. SERHAN, Charles N., Peter A. WARD a Derek W. GILROY. Fundamentals of inflammation. New York: Cambridge University Press, 2010, 473 s. ISBN 978-0-521-88729-8.
4. KOLEKTIV AUTORŮ [ÚSTAVU NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY 1. LF UK A VFN PRAHA]. Nukleární medicína. 4. vyd. Jilemnice: Gentiana, 2002, 154 s. ISBN 80-86527-05-0.
5. VOTRUBOVÁ, Jana. Klinické PET a PET/CT. Praha: Galén, 2009, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.

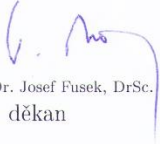
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kulíš

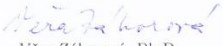
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: 1. prosince 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. května 2017


prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.
děkan

L.S.


Věra Záhorová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 27. února 2017

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 5.4.2017

Simona Benešová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce, Ing. Jiřímu Kulířovi, za odborné vedení, cenné rady, připomínky a vstřícný přístup při tvorbě této práce.

Mé velké díky patří také zaměstnancům oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové za pomoc a rady při tvorbě mé praktické části.

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřená na využití PET/CT při diagnostice febrilních stavů nejasného původu. V teoretické části jsou popsány principy fungování PET/CT a využití PET/CT pro diagnostiku febrilních stavů a dále je přiblížena problematika febrilních stavů. V praktické části je prezentováno vyšetření samotné i s postupem a výslednými obrázky.

KLÍČOVÁ SLOVA

principy PET/CT zobrazování, febrilní stavy, nukleární medicína, zánět

TITLE

PET/CT in the diagnosis of febrile events of unknown origin.

ANNOTATION

The bachelor thesis is focused on the use of PET / CT in the diagnosis of febrile events of unknown origin. The theoretical part describes the principles of working PET / CT and the use of PET / CT for the diagnosis of febrile events and there is an idea of febrile events. In the practical part is presented testing itself with the process and with the resulting images.

KEYWORDS

principles PET/CT imaging, febrile events, nuclear medicine, infection

OBSAH

Úvod.....	12
Cíl.....	13
1. Obecná část	14
1.1 Detekce zánětů metodami nukleární medicíny	14
1.2 Výpočetní tomografie.....	15
1.2.1 Princip CT přístroje	15
1.2.2 Kontrastní látky.....	17
1.2.3 Indikace a kontraindikace	17
1.3 Pozitronová emisní tomografie	17
1.3.1 Princip PET.....	17
1.3.2 Vývoj PET	18
1.3.3 Elektronická kolimace gama záření.....	18
1.3.4 Princip snímání PET	19
1.3.5 Rozdíly PET oproti planární scintigrafii a SPECT.....	19
1.3.6 Typy koincidenčí u PET	19
1.3.7 Scintilační detektory pro PET.....	20
1.3.8 Fotodetektory pro PET, Bloky detektorů pro PET	20
1.3.9 Rekonstrukce obrazů pro PET	21
1.3.10 Nepříznivé vlivy u PET a jejich korekce	21
1.3.11 Použití scintigrafie PET	22
1.3.12 Radiofarmaka.....	22
1.4 Hybridní zobrazení PET/CT	22
1.4.1 Princip PET/CT.....	22
1.4.2 Indikace.....	23
1.5 Radiofarmaka	24

1.6	Záněty.....	26
1.7	Horečky neznámého původu.....	27
2.	Scintigrafie.....	29
2.1	Scintigrafie skeletu.....	29
2.1.1	Indikace.....	29
2.1.2	Metodika vyšetření	29
2.1.3	Třífázová scintigrafie	30
2.2	Scintigrafie s ⁶⁷ Ga citrát	30
2.2.1	Farmakokinetika	30
2.2.2	Indikace.....	31
2.2.3	Metodika vyšetření	31
2.3	Leukocyty značené radionuklidy	31
2.3.1	Postup značení leukocytů in vitro	32
2.3.2	Leukocyty značené pomocí ^{99m} Tc-HMPAO.....	32
2.3.3	Leukocyty značené pomocí ¹¹¹ In-oxinu.....	33
2.3.4	Kinetika značených leukocytů	33
2.4	Značené protilátky.....	34
2.4.1	Antigranulocytární monoklonální protilátky značené ^{99m} Tc, „leukocyty značené in vivo“	34
2.5	PET/CT s ¹⁸ F-FDG	35
2.5.1	Detekce zánětů pomocí ¹⁸ F-FDG.....	36
2.5.2	Fyziologická distribuce FDG	36
2.5.3	Indikace k vyšetření	37
2.5.4	Kontraindikace.....	37
2.6	Výběr správné metody vyšetření.....	37
3.	Radiační ochrana.....	39
3.1	Zdroje ionizujícího záření	39

3.2	Cíle radiační ochrany	39
3.3	Základní principy radiační ochrany	40
3.3.1	Klasifikace zdrojů	40
3.3.2	Kategorizace pracovišť nakládajících s ionizujícím zářením	40
3.3.3	Optimalizace	41
3.3.4	Limity dávek, výjimečné ozáření.....	41
3.4	Základní veličiny a jednotky dozimetrie.....	42
3.5	Kategorizace radiačních pracovníků	45
3.6	Pásma	45
3.7	Program monitorování	46
3.7.1	Metody dozimetrického stanovení radiačních dávek.....	46
4.	Praktická část	49
4.1	Metodika přípravy vyšetření	49
4.2	Příprava pacienta k vyšetření	49
4.3	Příprava radiofarmaka	51
4.4	Vyšetření	53
4.5	Závěr	55
5.	Diskuse.....	56
6.	Závěr	57
7.	Seznam použité literatury	58
8.	Seznam zkratk	60
9.	Příloha.....	61

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 Cyklotron.....	25
Obrázek 1 Stolek s pomůckami pro aplikaci radiofarmaka	50
Obrázek 2 Kontrastní látka per os.....	50
Obrázek 3 Aplikační křeslo	51
Obrázek 4 PET vozík s radiofarmakem	51
Obrázek 5 Digestoř pro přípravu radiofarmaka	52
Obrázek 6 Ovládací konzole s tiskárnou digestoře.....	52
Obrázek 7 PET/CT.....	54
Obrázek 8 Pumpa na KL.....	54
Obrázek 9 Ovládací konzole PET a CT.....	55

ÚVOD

Nukleární medicína je jedním z rychle se rozvíjejících lékařských oborů. Stále se zdokonalují přístroje a počítačové programy. Nukleární medicína je lékařský obor, který využívá k vyšetřování pacientů otevřených radioaktivních zářičů. Tyto radioaktivní zářiče se aplikují pacientům do těla a využívají se jak k diagnostickým, tak i k terapeutickým účelům.

Detekce zánětlivých ložisek je jedním z nejčastějších vyšetření na oddělení nukleární medicíny. V dnešní době využívá nukleární medicína několik různých diagnostických postupů při detekci zánětů, které se od sebe liší odlišnými farmakokinetickými mechanismy vedoucími k rozdílné akumulaci farmaka v zánětlivém ložisku. Z toho důvodu je možno zvolit optimální vyšetřovací postup, který vede ke správné detekci zánětu.

CÍL

Cílem mé bakalářské práce je seznámit čtenáře s možností detekce zánětů v oblasti nukleární medicíny a to hlavně u přístroje PET/CT. Dále se záněty a radiofarmaky, které se k jeho detekci používají. Nakonec chci čtenáři přiblížit samotný průběh vyšetření na PET/CT v praxi.

1. OBECNÁ ČÁST

1.1 Detekce zánětů metodami nukleární medicíny

Zjišťování a určení místa zánětlivého ložiska v organismu člověka je velmi důležitým diagnostickým problémem. Jeho řešení ale bývá často neúspěšné z důvodu velkého množství diagnostických postupů a možností vyšetření. Velkou a významnou výhodou užívání scintigrafie je možnost celotělového vyšetření a hledání zánětlivého ložiska. V současné době využívá nukleární medicína při hledání zánětlivého ložiska mnoho diagnostických postupů, které se odlišují tím, kde a jak se dané farmakum kumuluje v zánětlivém ložisku (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.163).

Při scintigrafické vyšetření, což znamená zobrazování distribuce radiofarmaka v těle, se používá scintilační kamera, která se také nazývá gama kamera. Máme dva druhy scintigrafického vyšetření. Statickou scintigrafii, což je prostý dvojrozměrný obraz vyšetřované tkáně a dynamickou, která je naproti tomu sérii dvojrozměrných obrazů snímaných postupně v různém čase. Gama kamera se skládá z detektorů a počítače. Detektor obsahuje scintilační krystal, nejčastěji užívaným je jodid sodný aktivovaný thaliem. Kolimátor je zařízení z těžkého kovu, který má trychtýřovitý tvar a jeho úkolem je zamezit detekci fotonového záření z okolních tkání a poslední částí detektoru jsou fotonásobiče.

Nejčastěji užívanou metodou v nukleární medicíně je metoda SPECT, což je jednofotonová emisní tomografie. Emisní znamená, že při tomto postupu se registruje záření γ emitované radioaktivní látkou, která se nachází v těle pacienta. U tohoto vyšetření se detektory pohybují okolo pacienta. Takto vzniklé obrazy se dále rekonstruují v počítači. Díky tomuto vyšetření dokážeme získat 3D zobrazení dané léze. Nevýhodou však je horší prostorová rozlišovací schopnost, proto se SPECT doplňuje buď o CT nebo o PET. Jedním ze způsobů je využití hybridního systému SPECT/CT. Toto vyšetření umožňuje pořídit záznam funkčního i anatomického zobrazení (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.29-30).

V mé bakalářské práci se zabývám využitím přístroje PET/CT. Jedná se o hybridní přístroj, který obsahuje jak součást PET, tak i CT. Pozitronová emisní tomografie neboli PET je tvořena soustavou mnoha drobných detektorů, které jsou kruhovitě uspořádány do prstenců, které obkružují pacienta. Při přeměně β^+ radioaktivního zářiče dojde samovolně k emisi pozitronu, který ihned interaguje s elektronem v jeho blízkosti. Tímto dojde k jejich zániku, a z tohoto místa odlétnou současně opačnými směry dva fotony s energií 511 keV. Místo, ze

kterého letí dvojice fotonů je téměř stejné jako místo, odkud emitují pozitrony. PET tedy detekuje pouze ty fotony, které doletí na detektor současně (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.30).

Co se týče radiační zátěže u vyšetření PET/CT, pacient obdrží jak zátěž z rentgenového vyšetření, tak i z vyšetření nukleárně medicinského. Celková efektivní dávka při PET/CT s ^{18}F -FDG je tedy cca 17 mSv (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.31)

1.2 Výpočetní tomografie

1.2.1 Princip CT přístroje

Je zobrazovací technika, která využívá digitálního zpracování dat o průchodu rentgenového záření v mnoha řezech tkáně. Základním principem je zeslabování svazku rtg záření při průchodu vyšetřovaným objektem, podobně je tomu při konvenčním snímkování. Jde tedy o metodu tomografickou. Vyšetření se skládá z většího množství navazujících vrstev, tzv. skenů o šířce 0,5- 5 mm. (Heřman Miroslav, 2014, s.21)

Nedílnou součástí tomografického přístroje je posuvný stůl, na kterém pacient leží. Stůl obsahuje posuvnou desku, která s pacientem postupně zajíždí do prostoru gantry. Uvnitř gantry se nachází rentgenka se systémem detektorů, které rotují kolem pacienta. Na levé straně od gantry je umístěna tlaková stříkačka pro podávání kontrastní látky. V ovladovně jsou monitory, které slouží k sledování průběhu vyšetření, a na nichž se zhotovují výsledné snímky.

Princip získávání obrazu vrstev se těžko chápe, proto je nejjednodušší vysvětlit jej na přístrojích, které pracují s jednou řadou detektorů. Svazek záření, který vychází z rentgenky je vycloněn do tvaru vějíře. Šířka vějíře udává šířku zobrazované vrstvy. Záření, které projde skrz pacienta, dopadá na detektory, které jsou uloženy na části kruhové výseče naproti rentgence. Detektory slouží k registraci množství dopadajícího záření a následně je tato informace převedena na elektrický signál, který se odesílá ke zpracování do počítače. Během zhotovení jedné vrstvy, jednoho skenu, se systém rentgenka – detektory otočí kolem pacienta o 360 °. Doba jedné rotace, tedy jedné otočky o 360° je okolo 0,3 – 2 sekundy. U nových přístrojů se expoziční čas pohybuje do 1 sekundy. Během takto krátké rotace se změří řádově až stovky dat každým detektorem. Detektorů v dnešních CT přístrojích bývá 800 – 1200. Z takto získaných dat počítač následně rekonstruuje obraz vyšetřované vrstvy. (Heřman Miroslav, 2014, s.22)

Současné detektory obsahují více řad „úzkých“ detektorů, které jsou umístěné vedle sebe. Výhodou je, že už během jedné rotace rentgenky a detektorů je zhotoven větší počet tenkých vrstev. Přístroje, které mají více řad detektorů jsou označovány jako MDCT, neboli multi-detector CT. (Heřman Miroslav, 2014, s.22)

Obrazy, které získáme, jsou digitální. Jsou tedy tvořeny maticí bodů, obvykle v počtu 512x512. Míra oslabení záření v jednotlivých místech vyšetřované vrstvy, které je vypočítaná přístrojem, se označuje jako denzita. Jednotkou je 1 Hounsfield, zkratka HU. Rozdíl mezi denzitami se rozlišuje podle stupni šedi. (Heřman Miroslav, 2014, s.22)

Protože lidské oko je schopno rozlišit jen okolo 60 odstínů šedi, musela se zavést tzv. okna. Jelikož chceme zjistit rozdíly v sousedních a na sobě navazujících tkáních zvolíme si předem dané okno, neboli tkáň, kterou chceme sledovat. Okno nám přesně vyměří vyšetřovanou oblast a sníží tím stupně šedi, které jsou pro naše oko a smyly přijatelné a rozeznatelné. Prohlížením vzniklých obrazů v různých oknech postupně získáváme informace o tkáních s různými denzitami.

CT vyšetření začíná tím, že se nejprve zhotoví tzv. topogram, což je digitální snímek. Rentgenka ani detektor se ještě nepohybují a pacient, který leží na pohyblivém stole projede během expozice otvorem v gantry. Na získaném snímku, topogramu, se naplánuje rozsah zájmu, tedy část, kterou chceme vyšetřovat. Následuje samotné vyšetření. Získané obrazy se nacházejí v transverzální, neboli axiální rovině. (Heřman Miroslav, 2014, s.23)

Vyšetření lze provést jak nativně, tak i s použitím jódové kontrastní látky. Po použití kontrastní látky docílíme lepšího rozlišení cév od ostatních struktur. Máme dva základní typy CT přístrojů. Konvenční a helikální.

Konvenční CT vyšetření probíhá tak, že jsou postupně zhotoveny jednotlivé řezy. Mezi každým řezem – vrstvou, dochází k posunu stolu s pacientem o předem zvolenou vzdálenost. Ve velké většině případů jsou šířka vrstvy a posun stolu stejně velké, čímž se docílí pokrytí celé vyšetřované oblasti. (Heřman Miroslav, 2014, s.23)

U spirálního (helikálního) CT dochází ke kontinuální expozici, kdy pacient pomalu a plynule projíždí otvorem v gantry, a taktéž se postupně vyšetří celá oblast zájmu, a z takto vzniklých dat počítač později rekonstruuje data ve výsledný obraz. Hlavní výhodou spirální techniky je kratší doba vyšetření. Toto má velký vliv na vyšetřování neklidných pacientů, vyšetřování celého orgánu během jednoho nádechu, nebo je zde také možnost aplikace menšího množství

kontrastní látky. Jsou-li spirální CT vybaveny speciálním softwarem, je na nich možno synchronizovat sběr dat s EKG a provést tak zobrazení srdce včetně koronárních tepen. (Heřman Miroslav, 2014, s.24)

CT vyšetření trvá obvykle 5-15 minut. Během vyšetření se pacient nesmí hýbat. CT přístroje jsou také součástí PET/CT nebo SPECT/CT zařízení. Tyto kombinace metod, takzvané hybridní přístroje, využívají vysokého prostorového rozlišení CT a funkční informace získané metodami NM.

1.2.2 Kontrastní látky

Kontrastní látka slouží ke zvýraznění cév a orgánů. Po použití KL dochází ke zlepšení obrazů CT. Lze provádět i nativní snímky, to se však provádí u posuzování vysoce kontrastních struktur, jako jsou plíce nebo skelet. Mezi negativní kontrastní látky patří vzduch, oxid uhličitý, dusík, kyslík a vzácné plyny. Ty se však používají vzácně. V dnešní době se využívají pozitivní kontrastní látky a to spíše neiontové, které mají nízkou osmolaritu. Před aplikací kontrastní látky pacient lační 4 hodiny. Je třeba zjistit, zda pacient netrpí alergií, nebo nemá poruchu funkce ledvin nebo štítné žlázy či srdce. Po použití KL je pacientovi doporučeno více pít, aby se kontrastní látka lépe a rychleji dostala z těla ven. Kontrastní látky se aplikují buď intravenózně, per orálně nebo se aplikují přímo do tělních dutin.

1.2.3 Indikace a kontraindikace

Hlavními indikacemi a kontraindikacemi jsou vyloučení nebo potvrzení přítomnosti ložiskových lézí a stážování tumorů, traumata, CMP, pátrání po abscesech či pooperačních operacích. Provádění biopsií nebo drenáží.

1.3 Pozitronová emisní tomografie

1.3.1 Princip PET

PET je druh scintigrafického rozmístění distribuce pozitronových radionuklidů, které pracují na principu koincidenční detekce dvojice fotonů anihilačního záření gama. Toto gama záření má energii 511 keV a vzniká při anihilaci pozitronu β^+ s elektronem, které vylétávají z místa svého vzniku v proti sobě jdoucích směrech pod úhlem 180° . Detekce těchto vylétajících elektronů se využívá k elektronické kolimaci gama záření a k následné rekonstrukci tomografických obrazů. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

Ke scintigrafické detekci anihilačního záření může být v praxi použita i klasická scintilační kamera. Tato kamera však musí obsahovat speciální „těžké“ kolimátory s dostatečně silnými septy mezi jednotlivými otvory. V tomto režimu se ale snímá vždy jen jeden z dvojice fotonů. Jedná se tedy o jednofotonovou scintigrafii tomografickou nebo planární. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.2 Vývoj PET

Základní primární částicí, na které je založeno PET, objevil poprvé pan Anderson v roce 1932 v kosmickém záření. Jedná se tedy o pozitrony. Detekci koincidenčních dvojic kvant anihilačního záření, které pocházejí z pozitronových radionuklidů, poprvé odzkoušeli W.Sweet a G.Brownel již koncem 50.let. Další experimentální přístroje PET se vyráběly již na University of Pennsylvania, kde první prstencové detektory vyrobili R.Robertson a Z.H.Cho. Velkým impulsem pro ještě větší rozvoj PET byla syntéza ^{18}F -FDG, kde v roce 1970 byla zjištěná její akumulace v nádorových tkáních. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.3 Elektronická kolimace gama záření

Fotony gama, které vznikají anihilací, mají tři důležité geometrické vlastnosti:

- Vylétají současně a v protisměru z místa anihilace pod úhlem 180°
- Pohybují se po přímkových dráhách
- Pohybují se rychlostí světla, čímž mohou být detekovány současně

Tyto tři důležité vlastnosti umožňují tzv. koincidenční detekci anihilačních fotonů, kde pozitronový zářič, který chceme změřit umístíme mezi dva detektory. Výstupy detektorů zapojíme do elektronického koincidenčního obvodu. Takto zapojeným obvodem projdou do další elektronické soustavy přístrojů jen impulsy, které mají současnou detekci fotonů v obou detektorech. Díky těmto geometrickým vlastnostem mohou být detekovány jen fotony s anihilací, ke které došlo na přímkové spojnici protilehlých detektorů. Pokud nastane anihilace mimo tuto spojnici a dojde k zachycení anihilačního fotonu jen jedním detektorem, na výstupu koincidenčního obvodu se neobjeví žádný impuls. Pokud se tedy na konci koincidenčních obvodů impuls objeví, znamená to, že v některém bodu na spojnici obou detektorů došlo k anihilaci. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

Pokud tedy obklopíme pacienta s pozitronovým radionuklidem větším počtem detektorů, které jsou umístěny protilehle, dostaneme cílené detekce anihilačních fotonů. Tím dochází k elektronické kolimaci, kde není nutné stínění olovňným kolimátorem. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.4 Princip snímání PET

Detektory scintilační kamery mají prstencové uspořádání segmentů, které jsou v optickém kontaktu s fotonásobiči. Tyto segmenty snímají záblesky, které vznikly interakcí gama záření. Díky vysoké energii anihilačního záření se ve scintilačních krystalech musí používat jiný materiál než obvyklý NaI(Tl) (jodid sodný aktivovaný thaliem). Nejčastěji užívanými materiály jsou BGO (trigermaničitan tetrabizmutitý $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) nebo LSO (lutecium orthosilikát), které mají větší hustotu a vyšší detekční účinnost. Pacient, jež obdržel radioaktivní látku je umístěn do detekčního prstence PET kamery. Když dojde v určitém místě k radioaktivní přeměně jádra radioindikátoru, vyzářený pozitron se po 1-3 mm pohybu v tkáni ionizačním brzděním zastaví a při interakci s elektronem anihiluje, kde se obě kvanta anihilačního záření o energii 511 keV rozletí v protilehlých směrech, projdou tkání a jsou detektory registrovány ve dvou místech. Koincidenční obvod tedy snímá pouze ty fotony, které doletěly na detektory v opačném směru současně. Spojnicí těchto dvou míst dostaneme tzv. koincidenční přímku. Množina těchto přímek pak slouží k rekonstrukci obrazu šíření pozitronového radionuklidu ve tkáni. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.5 Rozdíly PET oproti planární scintigrafii a SPECT

Hlavním a největším rozdílem PETu oproti SPECT nebo klasické planární scintigrafii je to, že detektory u pozitronové emisní tomografie nemají olovněné kolimátory s otvory, protože je zde kolimace realizována elektronicky. Toto vede k vyšší detekční účinnosti PETu, na rozdíl od SPECT. U SPECT totiž dochází k absorpci záření v septech kolimátoru. Dalším rozdílem je, že detektory kamery u SPECTu se otáčejí kolem pacienta, tím dochází ke střádání projekcí pod různými úhly. U PET kamer se detektory neotáčejí, jsou tedy stacionární. Prstencové detektory sbírají data ze všech projekčních úhlů současně. Výsledný obraz se tedy může konstruovat průběžně během projekcí. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.6 Typy koincidencí u PET

Při koincidenčních detekcích anihilačních fotonů mohou nastat tři případy u kterých dochází k detekci dvou fotonů gama:

1. Pravá koincidence: Je to přímá detekce dvojice fotonů, které pocházejí vždy z jedné anihilace.
2. Rozptylové koincidence: Jeden nebo oba fotony podlely Comptonově rozptylu, který je odchýlil z daného úhlu.
3. Náhodné koincidence: Zde dochází k detekci fotonů gama z různých anihilací, které náhodně dopadly současně do protilehlých detektorů.

Pouze u pravých koincencí dochází k pravdivému gamagrafickému obrazu distribuce radionuklidu. Rozptylové a náhodné koincidence jsou tedy falešné a dávají nám mylnou představu o distribuce radiofarmaka ve tkáních a zhoršují kvalitu obrazu, snižují totiž kontrast a zvyšují šum. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

Novější PET kamery obsahují více vedle sebe sousedících řad detektorů, které umožňují snímání současně několik transaxiálních řezů. Zorné pole současných přístrojů je okolo 15 centimetrů. V tomto případě se používají dva druhy snímání:

- 2D způsob: Mezi jednotlivé prstence detektoru jsou vloženy stínící přepážky, které snímají gama záření z každého příčného řezu zvlášť, jen v rovině prstenců.
- 3D způsob: Septa u detektorů jsou vysunuta a snímání probíhá i zešikma, vyhodnocují se tedy i koincidence z detektorů, které jsou v jiných prstencích. Tímto způsobem se zachycuje více fotonů, dochází k větší citlivosti. Naopak nevýhodou je, že dochází k náhodným koincencím, takže tento 3D způsob lze užít jen u kamer s rychlejšími detektory, které jsou na bázi LSO scintilátorů.

Když chceme zobrazit větší část těla, nebo rovnou celotělové zobrazení, jsou PET kamery opatřeny vyšetřovacím lehátkem, které jsou řízeny motorickým posunem. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.7 Scintilační detektory pro PET

Při PETu jsou snímány vysoké energie anihilačního záření, proto nelze užít obvyklé scintilační krystaly, které jsou na bázi NaI(Tl). Pro tento typ zobrazení se používá scintilační materiál, který má vyšší denzitu, která dovoluje vyšší detekční účinnost. Další požadavky kladené na vhodný výběr scintilačního krystalu jsou krátká doba trvání scintilace. Tím se dosáhne vysokého časového rozlišení, a tím se zásadně omezí náhodné koincidence. V praxi se tedy používají hlavně scintilátory BGO a LSO. Tyto scintilátory mají kratší dosvit. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.8 Fotodetektory pro PET, Bloky detektorů pro PET

Pro snímání gama záření a elektronickou registraci záblesků ze scintilačních detektorů se u PET používají dva druhy fotodetektorů:

1. Fotonásobiče: Fotonásobiče se v dnešní době používají nejčastěji. Mají vysoké zesílení a nízký poměr signál-šum, krátký impuls výstupního signálu. Jejich nevýhodou je složitá konstrukce, je potřeba vysoké napětí a má větší rozměry. Dalším záporem je vysoká cena a nízká citlivost na magnetické pole.
2. Polovodičové detektory: Polovodičové detektory jsou modernějším způsobem fotonásobičů. Mezi jejich hlavní výhody patří malá velikost, vysoká kvantová účinnost a nízké napětí. Dalším kladem je malá cena a necitlivost na magnetické pole. Pro

snímání záblesků se používají dva typy fotodetektorů: fotodiody a křemíkové fotonásobiče. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

Scintilační krystaly s fotonásobiči jsou v kameře umístěny do kompaktních scintibloků, které jsou sestaveny po obvodu gantry. Každý scintiblok je tvořen 2D polem krystalů, který je spojen s fotonásobičem, a to pomocí světlovodiče. Jakmile foton gama záření dopadne na krystal, fotonásobiče zaregistrují vzniklé scintilační světlo. Pomocí elektronické analýzy poměrů amplitud impulsů dochází k přesné informaci o poloze vzniklých záblesků. Jeden prstenec detektorů je tvořen přibližně 48 scintibloky, které jsou uspořádány těsně vedle sebe do kruhu o průměru 60-70 cm. Kamera obsahuje 3-4 paralelní prstence. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.9 Rekonstrukce obrazů pro PET

Během dané akvizice jsou počítačem snímány souřadnice koincidenčních přímek. Pomocí počítačové rekonstrukce těchto přímek se vytvářejí obrazy příčných řezů a z následných transversálních řezů lze vytvořit řezy pod libovolnými úhly. Hlavními metodami rekonstrukce jsou buď metoda filtrované zpětné projekce, nebo metoda iterativní rekonstrukce. Filtrovaná zpětná projekce má však velkou nevýhodu a to, že v místě lézí nám může produkovat hvězdicové artefakty. Naopak metoda iterativní rekonstrukce je však výpočetně složitější, ale poskytuje nám obraz bez těchto artefaktů. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.10 Nepříznivé vlivy u PET a jejich korekce

I u PET zobrazení dochází k nepříznivým vlivům, které zhoršují kvalitu obrazů.

1. Nedokonalé prostorové rozlišení: Tento nepříznivý vliv rozmazává získaný obraz distribuce radiofarmaka v těle. Zabraňuje rozpoznat léze v organismu a vede k aktivnímu a objemovému zkreslení.
2. Šum v obraze
3. Absorbce anihilačního záření: Tkáně uloženy hlouběji v organismu pohlcují více gama záření, a tím detektory zaznamenají méně impulsů.
4. Rozptyl záření: Fotony, které procházejí tkání, jsou pomocí Comptonova jevu mírně vychýleny z jejich původního směru, což vede k snížení jejich energie.
5. Dolet pozitronů: Dolet pozitronového záření určuje hloubku indikátoru ve tkáni. Tento dolet určuje základní mez. Pod touto mezí nemůžeme získat PET zobrazení.
6. Náhodné koincidence: Vznikají při aplikaci velké aktivity radiofarmaka pacientovi. Při tak velké aktivitě dochází ve tkáni k detekci falešných fotonů, které nepocházejí z místa anihilací. Tyto falešné koincidence můžeme omezit zkrácením časového rozlišení koincidence. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.11 Použití scintigrafie PET

Oblasti využití pozitronové emisní tomografie jsou dány podle vlastností příslušných radiofarmak. Zde se používají radiofarmaka značená pozitronovými radionuklidy. PET se nejvíce užívá v diagnostice onkologického onemocnění, zjišťování místa a povahy nádorů. Tato diagnostika zabírá až 90% všech vyšetření PET. U onkologických diagnóz se používá hlavně FDG, které se vychytává v nádorových buňkách, a které mají velkou metabolickou buněčnou aktivitu. Tato metoda se tedy může používat i k monitorování nádorové tkáně po radioterapii. PET obrazy mohou být použity pro plánování radioterapie. Další oblastí užití PETu je neurologie. Zde se diagnostikuje mozková činnost a perfuze mozku. Aktivní oblast mozku se zobrazí díky nahromadění radiofarmaka. Dále se diagnostikují zánětlivé procesy. PET se využívá i k vyšetření myokardu. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

V dnešní době se hodně využívá užití hybridních systému PET a CT, kdy funkční informace z PET je doplněna o anatomické zobrazení dané tkáně. V poslední době se začala hodně používat i kombinace PET/MRI. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1.3.12 Radiofarmaka

Pro PET vyšetření lze využít pouze ty radionuklidy, které při radioaktivní přeměně produkují pozitrony. Nejčastěji se užívají radioizotopy biogenních prvků produkované v cyklotronu, jako jsou uhlík, dusík, kyslík nebo fluor. Hlavní výhodou je nízká radiační zátěž pacienta, a také vysoká kvalita vzniklého obrazu. Velkými nevýhodami jsou nákladná produkce spojená s cyklotronem a velmi krátký poločas přeměny, který nám nedovoluje širší distribuci. (VOTRUBOVÁ, 2009, s.16)

Nejvíce užívaným radiofarmakem je ^{18}F -FDG. Toto radiofarmakum se využívá k detekci nádorových onemocnění a k hledání zánětlivého ložiska. Zánětlivá místa a nádorové buňky výrazně akumulují FDG, což má za následek vyšší metabolismus. Po aplikaci FDG se radiofarmakum vychytává ve tkáních podle stupně metabolické aktivity buněk. (VOTRUBOVÁ, 2009, s.11)

1.4 Hybridní zobrazení PET/CT

1.4.1 Princip PET/CT

PET/CT systém je kombinací PET skeneru a diagnostického CT přístroje. Umožňuje nám funkční informaci o metabolismu organismu a morfologickou informaci s anatomickou

lokalizací. PET/CT obraz nám umožňuje na rozdíl od samostatného PET daleko lepší představu o velikosti a umístění hypermetabolických ložisek. Vyšetření probíhá postupně oběma vyšetřovacími metodami beze změny polohy pacienta. Nejprve dojde k vytvoření topogramu, díky němuž si později nastavíme oblast vyšetřovaného zájmu. Lůžko s pacientem postupně projíždí CT gantry. Vzniklý obraz je obvykle v předozadní projekci. Po nastavení oblastí zájmu dochází k vyšetření PET. Standardně se snímá od baze lebni až po horní třetinu stehen. Podle přání lékaře lze vyšetření provést od baze lebni až po nárt dolních končetin, kdy pacient má ruce podél těla. (VOTRUBOVÁ, 2009, s.45-49)

Data jsou snímána nejdříve pod CT skenerem. K lepšímu kontrastu CT snímku se aplikuje kontrastní látka. CT data nám slouží k rekonstrukci morfologicko-anatomického obrazu, a také taktéž jsme schopni díky nim vytvořit mapu atenuačních korekčních koeficientů. Absorpce anihilačních fotonů v pacientově těle je dáno hloubkou ložiska, hustotou jeho okolí a energií procházejícího záření (VOTRUBOVÁ, 2009, s.44-49)

Po CT vyšetření se pacient zasune hlouběji do gantry PET skeneru. Získávání PET obrazů probíhá v určitých sekvencích označovaných jako lůžka neboli postele. Délka jedné postele bývá obvykle 15-20 cm. Snímání jedné postele je okolo 3-5 minut. Po nasnímání dané postele se lůžko s pacientem zasune dále do gantry PET přístroje a snímá se další pozice. Vyšetřuje se 5 až 7 postelí podle požadovaného rozsahu a podle výšky pacienta. Na sebe navazující pozice se musí z části překrývat kvůli poklesu citlivosti skeneru na okrajích axiálního zorného pole. (VOTRUBOVÁ, 2009, s.49)

Hlavní výhodou hybridních PET/CT přístrojů je snadná fúze CT a PET obrazů. Obraz každé modality je zaznamenán ve své vlastní barevné škále. Pro CT je to škála šedí a pro PET je použita vhodná monochromatická barevná tabulka. Můžeme tedy zobrazit pouze PET, postupně přidávat CT obrazy, a nebo zobrazit pouze CT snímky. (VOTRUBOVÁ, 2009, s.45-44)

1.4.2 Indikace

PET/CT slouží z 90% k onkologickým vyšetřením, menší procento se zabývá diagnostikou zánětlivých procesů, kardiologií a neurologií. Mezi onkologická vyšetření na PET/CT přístroji patří:

- diagnostika maligních lézí
- hodnocení rozsahu onemocnění

- grading maligních lézí
- lokalizace primárního neznámého tumoru u neznámé metastáze
- plánování radioterapie
- hodnocení reakce nádoru na léčbu.

Mezi neoncologická vyšetření patří:

- febrilie nejasného původu
- hledání zánětu
- vyšetření viability a perfúze myokardu
- diagnostika epilepsie a demence.

U vyšetření zánětů je PET/CT indikováno až jako jedna z posledních metod a to díky vysoké radiační zátěži pacienta. Vyšetření pomocí ^{18}F -FDG je indikováno hlavně při podezření na zánět, dále u chronické osteomyelitidy, odlišení osteomyelitidy od celulitidy, u podezření na vaskulitidy velkých tepen, při podezření na mitigované infekty cévních protéz, u pacientů s AIDS nebo se sarkoidózou. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.172)

1.5 Radiofarmaka

Radiofarmakum je léčivý přípravek, který obsahuje chemické nebo biologické aktivní látky. Jejich účinnou složkou je radionuklid, který je zdrojem IZ. Radionuklidy se dělí na přirozené a umělé. V nukleární medicíně se používají jen uměle vyráběné radionuklidy. Vyrábí se buďto v jaderném reaktoru, urychlovačích nebo v cyklotronech. Radiofarmaka jsou aplikovaná na pracovištích NM z diagnostických nebo terapeutických důvodů.

Pro PET lze použít velké množství radionuklidů a jimi značených radiofarmak. Díky jejich velkému množství vlastností lze zkoumat různé funkční procesy v organismu. Nejvíce se však používá ^{18}F , který značí glukózu, užívaná zkratka FDG.

Existuje mnoho radionuklidů, které při radioaktivní přeměně produkují pozitrony, tyto radionuklidy jsou použitelné pro PET vyšetření. Tyto radionuklidy se vyrábějí v cyklotronech (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) (Jana Votrubová et al., 2009, s.16)

Cyklotron je přístroj, který slouží k urychlování těžce nabitých částic, a to pomocí vysokofrekvenčního elektrického pole. Cyklotron má 3 hlavní části, a to:

- elektromagnet,

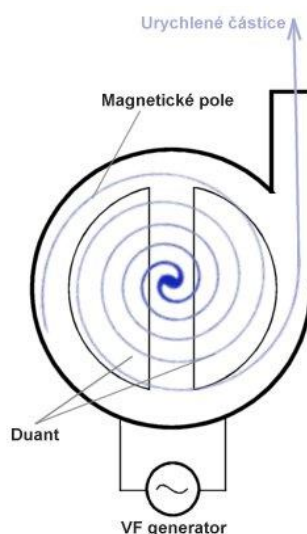
- zdroj napětí
- a urychlovací komora.

Principem cyklotronu je, že se uvnitř urychlovacích komor pohybují částice. Na komory, tzv. duanty, je připojeno střídavé elektrické napětí. Jakmile vstoupí nabitá částice do středu cyklotronu do elektrického pole mezi komory, je urychlena v prostoru mezi komorami a získá tak rychlost, se kterou vstoupí kolmo k magnetickým indukčním čárám. Urychlování tedy probíhá v mezerách mezi komorami. Magnetické pole působí na nabitou částici tak, že ji zrychluje a dráhu jejího letu zakřivuje do tvaru kruhu. S rostoucí rychlostí se zvětšuje poloměr její trajektorie. Doba pohybu částice mezi duanty je avšak pokaždé stejná, což je velkou výhodou, jelikož přiváděné napětí je stále stejné, není třeba ho zvětšovat.

Radionuklidy vytvořené v cyklotronech mají dobré chemické vlastnosti, jejich velkou nevýhodou je jejich nákladná produkce v cyklotronech. Takto vyrobené radionuklidy mají krátký poločas přeměny, proto je nutné je připravovat v krátké vzdálenosti k místu, kde se bude dané vyšetření provádět. Velkou výhodou je, že pacient neobdrží velkou radiační zátěž.

Při vyšetřování febrilií nejasného původu se nejvíce využívá radionuklid FDG, neboli fluoro-deoxy-glukóza. U tohoto radiofarmaka se využívá faktu, že se v těle pacienta syntetizuje glukóza a ta se podává pacientovi. FDG se od normální glukózy liší tím, že kyslík je nahrazen izotopem fluoru. Tato molekula se chová podobně jako molekula glukózy, takže se z velké části vychytává tam, kde je metabolismus glukózy největší.

Poločas radioaktivního rozpadu ^{18}F je 110 min.



Obrázek 1 Cyklotron

1.6 Záněty

Rozhodujícím činitelem pro vyléčení zánětlivé reakce je neutralizace a eliminace škodlivých látek (SERHAN, WARD, GILROY, 2010, s.19).

Zánět je biochemicky probíhající proces, který má vést k uzdravení organismu (FREJ David, 2015, s.18).

Obecně můžeme zánět charakterizovat jako fyziologickou reakci organismu na cizorodou látku. Hlavními známkami zánětu v těle je zarudnutí, vyšší teplota tkáně, možný je i otok a bolest. Pátým možným příznakem může být i porucha funkce postiženého orgánu. Zánět může mít mnoho charakterů. Pod pojem zánět spadají různé procesy, jak infekční, tak i aseptické, což jsou autoimunitní záněty (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.163).

Zánět je z patofyziologického hlediska charakterizován hyperemií, zmožením extracelulární tekutiny a migrací leukocytů. (URBÁNEK Jan, 2002)

Zánět se zevně projeví známými znaky- zarudnutí- rubor, zvýšená teplota- calor, otoktumor, bolest- dolor, včetně poruchy funkce- functio laesa. (KUPKA, KUBINYI, & ŠÁMAL, 2007)

Zarudnutí znamená, že prokrvení je větší, než běžně bývá. Je to způsobeno tím, jak krevními vlásečnicemi přitéká více tekutiny. Nahromaděním tekutiny vzniká otok. Zarudnutí a horkost vzniká nahromaděním tekutiny do daného místa. Prvním příznakem zánětu bývá bolest. Bolest se nepovažuje za špatný příznak, spíše naopak. Je považována za jakýsi alarm o tom, že se v těle něco děje. Postižené místo bývá citlivé na dotek a bolestivé. Bolest je bodavá, pulzující a trvá bez přerušení. Je způsobena otokem, který dráždí nervová zakončení, která přenášejí bolest do mozku. Při zánětu kloubu může dojít k poruše hybnosti (FREJ David, 2015, s.19).

Akutní zánět se projeví během 24-48 hodin a to díky pěti základním příznakům uvedeným výše. Tyto příznaky se projeví u zánětu po poranění nebo při infektu na pokožce. Při zánětu probíhajícím uvnitř těla se projeví jen některé z typických příznaků. Bolest se neobjevuje u orgánů, které v místě zánětu nemají nervová zakončení, například u jater nebo u plic. U těchto zánětů se provádí vyšetření CRP, které ukáže hladinu bílkovin v těle a podle toho se určí, zda se jedná či nejedná o zánět. Zánět má za úkol vyléčení organismu a při potlačování zánětu můžeme jeho uzdravování bránit (FREJ David, 2015, s.19-20).

Akutní zánět je léčebnou a ochrannou reakcí na život ohrožující poškození či infekce. Chronický zánět je imunitní reakcí organismu na první pohled zanedbatelné onemocnění. Může dojít k trvalým poruchám metabolismu a dokonce i k chronické nemoci. Chronický zánět od akutního se liší tím, že projevy jsou velmi malé, obtížně rozpoznatelné. Zánět trvá dlouho a má dopad na celý organismus, nemá jen místní projevy (FREJ David, 2015, s.21-22).

V současné době se k detekci zánětů využívá fakt, že záněty spotřebovávají více glukózy. Při pátrání po zánětlivém ložisku musíme pamatovat na to, že různé druhy zánětů se mohou projevovat různými způsoby a dle toho musíme vybrat správnou vyšetřovací metodu. Důležité si je pamatovat, kde se dané radiofarmakum kumuluje v těle a díky této vědomosti odlišit místo přirozené kumulace od zánětlivého ložiska (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.163).

1.7 Horečky neznámého původu

Obecně se horečky dělí do několika skupin:

- Horečka kontinuální: tady se naměřené hodnoty ranní a večerní liší nepatrně,
- Horečka remitentní: rozdíly mezi ranní a večerní teplotou jsou velké, někdy i více než 2 °C,
- Horečka intermitentní: rozdíly opět velké, ranní teplota pod 37 °C,
- Horečka periodická: trvá více jak 1 den, teploty se opakují v pravidelných intervalech.

Syndrom horečky neznámého původu (FUO-fever of unknown origin) byl definován v roce 1961. Popisuje se jako stav s horečkou vyšší než 38,3 °C. Hlavními znaky horečky neznámého původu jsou opakované vzestupy tělesné teploty (nad 38,3 °C), původ horečky není ambulantně zjištěn a ani během týdenní hospitalizace nebylo zjištěno, z jakého důvodu má pacient teplotu. Horečky neznámého původu mohou mít za vznik infekční onemocnění, autoimunitní onemocnění, nebo nádorové onemocnění (zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/horecka-neznameho-puvodu-173286).

Dělení FUO:

1. Klasické FUO: toto dělení odpovídá původní definici, žádá 3 návštěvy pacienta bez nalezení příčiny, horečka trvá 2 týdny;
2. Nosokomiální FUO: hospitalizovaný nemocný má vzestupy teploty na 38,3 °C, zde je podezření na nosokomiální infekci, infikované i.v. vstupy, plicní embolizace, virové

infekce spojené s transfúzemi, nebo horečka z podaných léků. Provádí se sono, CT břicha, značené leukocyty, vysazení léků;

3. Neutropenické FUO: teplota nad 38,3°C u pacienta, který má méně než 500 neutrofilů na mm³, bakteriální infekce, infekce katetrů, tromboflebitida;
4. HIV FUO: horečka nad 38,3°C trvá déle než 4 týdny, příčinou může být HIV infekce, toxoplasmosa, tbc, salmonelosa, non Hodgkinský lymfom, léková horečka.

2. SCINTIGRAFIE

Má bakalářská práce se týká vyšetření zánětů neznámého původu pomocí PET/CT. Toto onemocnění se dá vyšetřit i jinými způsoby kromě PET/CT. Níže uvedu ostatní vyšetření z nukleární medicíny, kterými je možno zjistit místo zánětu, a až nakonec samotné PET/CT.

2.1 Scintigrafie skeletu

Toto vyšetření prokazuje přítomnost zánětu ve skeletu. Prvním ukazatelem je hypertermie a zvýšení kostní přestavby v oblasti zánětu. Tato metoda se zdá jako nejvhodnější a nejrychlejší, ale není tomu tak. Scintigrafie skeletu patří mezi vysoce senzitivní vyšetření, avšak toto vyšetření je velmi specifické. Záleží zde na vychytávání radiofarmaka a na jeho regionálním krevním průtoku. Scintigrafie skeletu se dodnes používá nejvíce při diferenciální diagnostice osteomyelitidy a dále u zánětu měkkých tkání. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.131).

2.1.1 Indikace

Toto vyšetření se indikuje pacientům s podezřením na osteomyelitidu. Při tomto onemocnění hyperémie a zvýšená kostní přestavba nastává velmi brzy, proto je také senzitivita tohoto vyšetření velmi vysoká. Výše zmíněné příznaky nejsou jednoznačné pouze u osteomyelitidy, ale jsou společné také pro maligní léze a v hojících se frakturách. Pokud je nález negativní, lze vyšetření spolehlivě použít k vyloučení patologického procesu. Pokud však je nález pozitivní, nelze jednoznačně říci, zda se jedná o osteomyelitidu. Musíme znát přesnější anamnézu daného pacienta a dle toho vyloučit možné trauma se vzniklou frakturou nebo vzniklé maligní procesy (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.164).

2.1.2 Metodika vyšetření

U takto provedeného vyšetření není nutná větší příprava pacienta. Pacient nemusí být nalačno, ale je nutná dostatečná hydratace před a v průběhu vyšetření. Zavodnění pacienta snižuje radiační zátěž stěny močového měchýře pacienta. Pacientovi aplikujeme radiofarmakum ^{99m}Tc-difosfonát intravenózně. Aplikována dávka se pohybuje okolo 500-800 MBq a to dle váhy pacienta. U dětí se postupuje dle tabulek. Pacienta vyšetříme pomocí dvouhlavé gamakamery, kde si nasadíme kolimátor určený pro technecium a to nízkoenergetický, paralelní a s vysokým rozlišením. U onkologicky nemocných provedeme celotělové vyšetření v přední a

zadní projekci a to za 2-4 hodiny po aplikaci radiofarmaka. Pro co nejlepší možnost vyšetření se užívá kombinace SPECT a výpočetní tomografie (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.131).

2.1.3 Třífázová scintigrafie

U mnoha pacientů se provádí třífázová scintigrafie skeletu, která nám zjistí informace nejen o rozložení kostní přestavby, ale dovoluje nám posoudit prokrvení v dané oblasti. První fáze se nazývá fáze perfuzní. Jedná se o dynamickou fázi zaměřenou na podezřelou oblast, která se detekuje bezprostředně po intravenózní aplikaci radiofarmaka. Toto vyšetření sleduje první průtoky radiofarmaka před podezřelou oblast. Druhou fází je fáze krevního poolu. Provádí se statický scintigram z období třetí a čtvrté minuty od intravenózní aplikace radiofarmaka. Tato fáze nám umožňuje zobrazit rovnoměrné rozložení radiofarmaka rozptýleného v krvi, které současně přestupuje do tkání. Třetí a poslední fází je fáze pozdní. Jedná se o klasickou scintigrafii kostí v časovém odstupu 2-4 hodin od aplikace radiofarmaka. Zde se hodnotí rozložení kostní přestavby (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.164).

2.2 Scintigrafie s ^{67}Ga citrát

Před rozvojem PET/CT byl k detekci zánětů hojně užíván galium citrát. V nukleární medicíně se využívá již od 70-tých let. Jedná se o cyklotronový produkt, s poločasem rozpadu 78 hodin. Při samotné přeměně galia dochází k emisi širokého spektra fotonů gama s velkou energií, vyšší než při přeměně technecia. Proto je nutno při scintigrafii s galiem užívat kolimátory pro střední energie. (MYSLIVEČEK M. & HUŠÁK V., 2002)

2.2.1 Farmakokinetika

Po intravenózním podání radiofarmaka je v krvi navázáno 30% ^{67}Ga na transferin a 70% zůstává ve volné formě. Předpoklad pro kumulaci v zánětlivém místě je založen na difúzi radiofarmaka do extravaskulárního prostoru a to v důsledku poruchy kapilárních membrán s následnou vazbou ^{67}Ga na laktoferin uvolňovaný leukocyty. Dalším důležitým zjištěním bylo, že se ^{67}Ga navazuje na kyselé mukopolysacharidy, což je druhý významný proces u kumulace ^{67}Ga v zánětlivém ložisku. Bezprostředně po aplikaci je radiofarmakum vylučováno močí, dochází ke kumulaci ve střevě. Dalšími místy kumulace jsou slzné žlázy, nazofaryng, slinné žlázy, skelet, prsní žlázy, thymus, játra a slezina. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.165)

2.2.2 Indikace

U vyšetření, kde se užívá ^{67}Ga citrát se vychází ze skutečnosti, že prokázání zánětu není přímo vázáno na kumulaci leukocytů v zánětlivém ložisku. PET/CT má lepší zobrazovací schopnosti u prokázání zánětu než metoda s užitím galia. Najdeme však onemocnění, při kterých je toto vyšetření ještě stále aktuální.

- Atypické plicní a mediastinální záněty: u tohoto onemocnění se hodnotí aktuální stav zánětlivé aktivity.
- Chronická osteomyelitida páteře: provádí se u pacientů, kteří mají jako kontraindikaci vyšetření pomocí MRI, scintigrafii s ^{67}Ga lze doplnit i o scintigrafii skeletu.
- Lymfocytární a granulomatózní záněty: zde se vyšetření pomocí ^{67}Ga provádí pouze v případech, kdy není možno z časových důvodů udělat PET/CT s ^{18}F FDG.

To, jaké vyšetření se při daném podezření na onemocnění udělá, rozhoduje lékař. Při rozhodování o všech těchto vyšetřeních jsme limitováni vyšší radiační zátěží. Z tohoto důvodu je toto vyšetření kontraindikací pro těhotné a kojící ženy. Jako chyba u tohoto vyšetření může být zvýšené hromadění radiofarmaka v přirozených místech kumulace a v hojících se ranách a frakturách. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.165)

2.2.3 Metodika vyšetření

Pacientovi se aplikuje intravenózně ^{67}Ga a provede se celotělová scintigrafie a případně se doplní SPECT na oblast dutiny břišní a hrudní. Vyšetření se provede nejdříve za 48 hodin po aplikaci radiofarmaka.

2.3 Leukocyty značené radionuklidy

K úspěšné detekci bakteriálních zánětů se často užívá metoda značení leukocytů. Při tomto vyšetření přímo prokazujeme hromadění leukocytů v zánětlivém ložisku. Fyziologická akumulace leukocytů je ve slezině, v játrech a v krvetvorné kostní dřeni. Pro úspěšné vyšetření je důležité udržení životaschopnosti leukocytů, což vede k tomu, že tyto krvinky zpětně cestují do kostní dřene, která se tak stává orgánem přirozené akumulace. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.166)

2.3.1 Postup značení leukocytů in vitro

Pro správné označení leukocytů se musí dodržet následující body:

1. Odběr krve (60 ml u dospělé osoby) do injekčních stříkaček s ACD roztokem k zabránění srážlivosti krve. Vyšetření lze provést pouze u osob s počtem leukocytů vyšším než $2,5 \times 10^9$ leu/l.
2. Oddělení krve kvůli udržení viability pomocí centrifugy.
3. Značení leukocytů lipofilními radiofarmaky ^{99m}Tc -HMPAO nebo ^{111}In -oxinem.
4. Připravený preparát je znovu injekčně pacientovi vpraven do těla. Aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -HMPAO je okolo 700 MBq.

2.3.2 Leukocyty značené pomocí ^{99m}Tc -HMPAO

^{99m}Tc -HPAMO je lipofilní látka, která je schopna prostoupit buněčnou membránu leukocytů a uvnitř leukocytů se mění v hydrofilní látky, které je udržují uvnitř leukocytů. Místo zánětu se zobrazuje v důsledku aktivní migrace značených leukocytů. Vazba na leukocyty není plně stabilní. Dochází k částečnému uvolňování hydrofilních látek, které jsou následně vylučovány ledvinami a později i játry do žluči. V typickém případě se žlučník zobrazuje za 2-3 hodiny po aplikaci značených leukocytů. Dalšími místy fyziologické akumulace jsou slezina, játra, kostní dřeň a krevní pool. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.167)

Samotné vyšetření se musí provést do 1 hodiny po aplikaci značených leukocytů a to z důvodu, že v této době ve žluči ještě není radiofarmakum. Při pozdějším vyšetření by nám kumulace radiofarmaka ve žluči mohla zkomplikovat vyšetření. Kompletní vyšetření se provádí za 4 hodiny po aplikaci a zde je nutné doplnit SPECT nebo, je-li možno udělat SPECT/CT. Často se po 24 hodinách doplňuje scintigram a to z důvodu, aby se prokázala akumulace v ložisku a tím se nám potvrdila diagnóza zánětlivého procesu. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.167)

Indikací pro toto vyšetření značenými leukocyty je podezření na:

- Teploty neznámého původu, kde je pravděpodobná přítomnost abscesu
- Infekci ledvin
- Záněty střeva
- Hledání abscesů
- Záněty měkkých tkání
- Endokarditis

- Osteomyelitis mimo páteř
- Odlišení septického a aseptického uvolnění totálních endoprotéz hlavně u kyčlí a kolen

2.3.3 Leukocyty značené pomocí ^{111}In -oxinu

Velkou výhodou oproti užití $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO je to, že vazba ^{111}In -oxinu na leukocyty je stabilní a proto během vyšetření nedochází k exkreci do střev a nedochází k jeho uvolňování do moči. Velkou výhodou je také to, že nedochází k akumulaci v hojících se ranách. Jediným mechanismem je tedy migrace leukocytů pod vlivem chemotaktických stimulů, které rozhodují o rozložení radiofarmaka v těle. Fyziologická akumulace u ^{111}In -oxinu je pouze ve slezině, kostní dřeni a v játrech. Jedinou nevýhodou je, že ^{111}In má podobné vlastnosti jako ^{67}Ga . ^{111}In je také cyklotronový produkt s delším fyzikálním poločasem přeměny a to 67 hodin. Dochází k emisi gama záření a je nutné užít kolimátor pro střední energie. Radiační zátěž je zde vyšší než při užití $^{99\text{m}}\text{Tc}$, proto je nutné aplikovat menší množství radiofarmaka, což vede ke snížení kvality scintigrafického obrazu. Vzhledem k těmto nevýhodám se ^{111}In moc nepoužívá. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.169)

Z výše uvedených výhod a nevýhod vyplývá, že pacienti kteří jsou indikováni k tomuto vyšetření pomocí ^{111}In nebude mnoho a to z důvodu špatné dostupnosti radiofarmaka a velké radiační zátěže. Pacienti indikováni k tomuto vyšetření mají podezření na zánět v místech, ve kterých se přirozeně akumuluje ostatní radiofarmakum používané k detekci zánětů ledvin, močového měchýře a malé pánve, dále zánětů žlučníku a u chronických zánětlivých střevních onemocnění, jako je M.Crohn. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.169)

2.3.4 Kinetika značených leukocytů

Leukocyty označené radiofarmakem migrují nejen do ložisek zánětu, ale i do míst přirozené akumulace. Z toho důvodu může být u mnoha pacientů problém odlišit zánětlivé místo od místa přirozené akumulace. Řešením může být srovnání podezřelé oblasti na časném a na pozdím scintigramu, kdy pro místo zánětu je typický nárůst aktivity v místě zánětu. Jinou možností k odlišení zánětlivých ložisek od míst s přirozenou akumulací je srovnání scintigramů s užitím značených leukocytů se scintigramy po aplikaci $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -koloidu, který zobrazí pouze kostní dřev (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.170)

2.4 Značené protilátky

Radioimunoscintigrafie využívá k lokalizaci místa zánětu značených monoklonálních protilátek nebo jejich fragmentů. Při použití monoklonálních protilátek jde v zásadě o stejný postup jako při radioimunoscintigrafii nádorů.

2.4.1 Antigranulocytární monoklonální protilátky značené ^{99m}Tc , „leukocyty značené in vivo“

Při tomto vyšetření aplikujeme radiofarmakum intravenózně a k vazbě radionuklidem, který je značený pomocí antigranulocytárních protilátek, na leukocyty dochází přímo v organismu pacienta. Proto se také tato metoda značí jako značení leukocytů in vivo. Umělý přípravek se naváže nejen na cirkulující leukocyty a leukocyty které jsou uloženy v zánětlivém místě, ale také na tvořící se krevní elementy v kostní dřeni. Při tomto vyšetření dochází k výraznému zobrazení kostní dřene (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.170).

Velkou výhodou tohoto vyšetření je, že pracoviště nevyžaduje speciální laboratorní vybavení, které je potřeba k práci s krevními elementy. Naopak nevýhodou je vyšší cena radiofarmaka.

Hlavním rozdílem mezi zobrazením zánětů po aplikaci leukocytů značených in vitro a po značení in vivo je, že u vyšetření in vivo dochází k navázání protilátek i v odstupu několik hodin od aplikace díky cirkulující plazmě a může tedy dojít k průniku protilátek do oblasti s poruchou endoteliální membrány kapilár, což může vést k hromadění radiofarmaka i v zánětech bez kumulace leukocytů. Proto je nutné brát na zřetel to, že může dojít k zkreslení výsledků a to díky tomu, že se radiofarmakum vychytává i mimo oblast s hromaděním leukocytů. Těmito oblastmi mohou být hematomy, kontuze, aseptické záněty nebo rány po operaci.

Hlavní indikací k tomuto vyšetření pomocí ^{99m}Tc -antigranulocytárními MAb jsou:

- břišní zánětlivá ložiska a abscesy
- horečky neznámého původu
- osteomyelitis v periferním skeletu
- záněty vaskulárních štěpů
- endokarditis
- komplikace při chronických zánětlivých střevních onemocněních

Při vyšetření se provede celotělová scintigrafie a doplní se SPECT, nejlépe však SPECT/CT a to za 4-6 hodin od intravenózní aplikace radiofarmaka. Za 24 hodin od aplikace se

v některých případech provádí cíleně zaměřená scintigrafie. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.171)

I u tohoto vyšetření může dojít ke špatnému odlišení daného zánětu od přirozené kumulace radiofarmaka. I v tomto případě lze tedy srovnat snímek na časném a pozdním scintigramu, kdy u zánětu dochází k nárůstu aktivity radiofarmaka v patologickém ložisku. Druhou možností je srovnání snímku se snímkem po aplikaci ^{99m}Tc -koloidu, kde se zobrazí pouze kostní dřev.

2.5 PET/CT s 18F-FDG

Hlavním principem PET (pozitronová emisní tomografie) je zobrazení distribuce pozitronových radionuklidů, které využívají koincidenční detekci dvojice fotonů anihilačního gama záření, které má energii 511 keV. Tyto fotony vznikají při anihilaci pozitronu β^+ s elektronem ve tkáni. Elektrony vylétávají z místa anihilace v protilehlých směrech pod úhlem 180° . Tohoto faktu se využívá k elektronické kolimaci gama záření a tak i k následné rekonstrukci tomografických obrazů.

PET/CT je hybridní systém, který je kombinací PET skeneru společně s CT přístrojem. PET/CT poskytuje jak funkční informaci o metabolismu organismu, tak i morfologickou informaci s anatomickou lokalizací. Každý přístroj se dá použít zvlášť, ale užití PET/CT dává daleko lepší představu o uložení a velikosti ložisek než samotný přístroj PET. Vyšetření probíhá skrze oba přístroje beze změny polohy pacienta. Nejdříve laborant udělá topogram, kdy pacient leží na lůžku a to plynule projíždí přes CT gantry skeneru. Vznikne nám tímto předozadní projekce. Na topogramu si zvolíme rozsah, který nás pro vyšetření zajímá a který je potřebný pro další vyšetření pomocí CT a následně i pro PET. Pro PET/CT se nastavuje rozsah zájmu od baze lební do horní třetiny stehien. Když však hledáme zánět, nastavuje se rozsah zájmu od baze lební s rukama u těla až po nárt nohou. Pacient zajíždí nejdříve pod rentgenku CT přístroje. Pro lepší kontrast obrazu se pacientovi podává kontrastní látka. Data, která dostaneme z CT přístroje nám slouží k rekonstrukci CT obrazu, a dále k vytvoření mapy pro korekci absorpce anihilačních fotonů v těle pacienta. Absorpce anihilačních fotonů může být totiž zdrojem chyb a to z důvodu, že absorpce fotonů je podmíněna hloubkou ložiska v těle pacienta, dále hustotou jeho okolí a nakonec energií procházejícího záření.

Po vytvoření CT obrazu pacient zajíždí dále do gantry PET skeneru. Vytvoření PET dat probíhá podle určitých, předem zvolených sekvencí, které se označují jako „lůžka“, kde

délka jedné postele bývá okolo 15-20 cm. 1 lůžko je snímáno po dobu 3-5 minut. Po vyšetření 1 lůžka stůl s pacientem zajíždí hlouběji do gantry přístroje a začíná snímání dalšího přednastaveného úseku. Obvykle se snímá 5-7 lůžek a to podle výšky pacienta. Lůžka se musí zčásti překrývat kvůli poklesu citlivosti PET skeneru.

2.5.1 Detekce zánětů pomocí ^{18}F -FDG

Hlavním důvodem užití ^{18}F -FDG pro detekci zánětů je fakt, že místo zánětu se projevuje zvýšenou glykolýzou a tudíž se zde akumuluje ^{18}F -FDG.

Velkou výhodou je krátká doba, za kterou jsme schopní dostat výsledky. PET/CT má výborné prostorové rozlišení a také vysoký kontrast. Velkou limitací jsou místa, kde se ^{18}F -FDG fyziologicky kumuluje. Dále může docházet k falešně pozitivním nálezům u tumorů, hematomů a u hojících se ran.

U ^{18}F -FDG dochází k fosforylaci aktivovanými leukocyty a to v místě zánětu pomocí hexokinázy na deoxyglukózu-6-fosfát, který již není dále metabolizován a zůstává vázán v leukocytech. Pro zánět či pro místo infekce je tedy charakteristická časná kumulace ^{18}F -FDG a to již za několik minut. Za 35 minut dochází již 95% kumulaci.

Aktivita, která je pacientovi aplikována, se pohybuje okolo 370 MBq. Radiofarmakum je pacientovi vpraveno intravenózně. Scan se provádí za 45-60 minut od aplikace radiofarmaka. Pacient je snímán od baze lební po horní třetinu stehen. Pokud se hledá místo zánětu, provádí se scan od baze lební, s rukama u těla, až do nártů nohou.

2.5.2 Fyziologická distribuce FDG

Některé orgány a anatomické struktury mají vyšší metabolismus glukózy. Výrazná akumulace radiofarmaka se objevuje v šedé hmotě mozkové a v oblasti horních a dolních cest močových. Někdy může být větší akumulace v srdečním svalu nebo i v kosterním svalstvu pacienta, například po aplikaci inzulínu. Dalším místem fyziologické akumulace FDG může být oblast otorhinolaryngologická. U dětí bývá větší akumulace v thymu a v epifyzárních štěrbinách. Zvýšený metabolismus glukózy můžeme pozorovat i v gastrointestinálním traktu a to ve stěně žaludku, v pyloru, nebo ve stěně tenkého a tlustého střeva. Po větší fyzické námaze se FDG akumuluje i v kosterním svalstvu. Fyziologická akumulace je možná i u mladších tenzních jedinců, v tzv. „hnědém“ tuku. Mluvíme o krční páteři a na krku podél musculus sternocleidomastoideus, axily a na horní hrudní apertuře.

2.5.3 Indikace k vyšetření

PET/CT slouží z 90% k onkologickým vyšetřením, menší procento se zabývá diagnostikou zánětlivých procesů, kardiologií a neurologií. Mezi onkologická vyšetření na PET/CT přístroji patří:

- diagnostika maligních lézí
- hodnocení rozsahu onemocnění
- grading maligních lézí
- lokalizace primárního neznámého tumoru u neznámé metastáze
- plánování radioterapie
- hodnocení reakce nádoru na léčbu.

Mezi neonkologická vyšetření patří:

- febrilie nejasného původu
- hledání zánětu
- vyšetření viability a perfúze myokardu
- diagnostika epilepsie a demence.

U vyšetření zánětů je PET/CT indikováno až jako jedna z posledních metod a to díky vysoké radiační zátěži pacienta. Vyšetření pomocí ^{18}F -FDG je indikováno hlavně při podezření na zánět, dále u chronické osteomyelitidy, odlišení osteomyelitidy od celulitidy, u podezření na vaskulitidy velkých tepen, při podezření na mitigované infekty cévních protéz, u pacientů s AIDS nebo se sarkoidózou. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.172)

2.5.4 Kontraindikace

Vyšetření pomocí PET/CT má velkou radiační zátěž pacienta. Dochází k vyšetření, kde se využívá rentgenového záření, dále je pacientovi podávána kontrastní látka jak intravenózně, tak i per os. Proto hlavními kontraindikovanými jsou gravidní ženy. Dále pacienti, kteří trpí klaustrofobií, jelikož pacient leží na vyšetřovací stole někdy i déle než 30 minut. Dalším problémem může být nosnost vyšetřovacího stolu, která se pohybuje okolo 200 kg.

2.6 Výběr správné metody vyšetření

Lékař nehledá pacienty pro danou vyšetřovací metodu, nýbrž hledá co nejlepší metodu pro daného pacienta. Při výběru správné metody u detekce zánětů je důležité znát procesy jednotlivých zánětů. Nejdůležitějším krokem je předpoklad, zda do daného zánětu migrují

leukocyty. U floridních zánětů s akumulací leukocytů je nejvhodnější použít vyšetření se značenými leukocyty. V ostatních případech můžeme zvolit jiné metody. (Pavel Koranda a kolektiv, 2014, s.173)

U jakékoliv nemoci lékař musím dbát na volbu správné indikace k danému vyšetření. V dnešní době máme mnoho moderních a velice spolehlivých přístrojů, které jsou schopné odhalit jakékoliv onemocnění. Je však důležité brát ohled na možné ohrožení pacienta při daném výkonu. Proto musí lékař vždy zvážit, jakou metodu vyšetření vybere, aby pro pacienta byla co nejmenším ohrožením na životě, avšak co největším přínosem pro jeho zdraví a hlavně pro jeho vyléčení.

3. RADIAČNÍ OCHRANA

Z hlediska radiační zátěže organismu je nejvíce člověka zatěžující vyšetření CT. Kombinací CT s PET, kde je intravenózně aplikováno radiofarmakum a navíc je zde možno podání kontrastní látky per os. Je jasné, že toto vyšetření bude mít velký význam v radiační zátěži a následně i radiační ochraně. Je tedy nutné pamatovat na to, že pokud u pacienta lze provést jiné, méně zatěžující vyšetření, měl by lékař uvážit, co bude pro jeho diagnózu a postup v léčbě přehlednější a bezpečnější.

3.1 Zdroje ionizujícího záření

Prvotním druhem záření je záření přirozené. To se dělí do dvou základních skupin.

1. Záření kosmické: zde se uvádí dávka 0,3 mSv, toto záření tvoří hlavně rychlé protony a to až 90%, dále částice alfa;
2. Záření hornin: zde má největší význam U 235 a 238, dále radon. Je nutné brát zřetel ve starých budovách na časté větrání a před výstavbou budov na změření radonu pověřenou osobou.

Tyto zdroje se dají také nazývat jako přírodní zdroje ionizujícího záření. Ostatní zdroje jsou označovány jako umělé. Do této skupiny spadají radioaktivní zářiče a elektronické zdroje záření.

Ozáření člověka může být ze třech hlavních důvodů. Ozáření při práci, které zahrnuje ozáření všech pracovníků, k nimž došlo při práci jako důsledek práce. Další je ozáření lékařské, které se označuje jako ozáření osob, které bylo provedeno za účelem diagnostickým nebo léčebným. Dále tady můžeme zařadit ozáření lidí, kteří pomáhali pacientům při vyšetření. Posledním druhem ozáření je ozáření obyvatel a sem spadají všechna ostatní ozáření.

3.2 Cíle radiační ochrany

Hlavním cílem je zabezpečit ochranu zdraví každého jednotlivce, jeho potomků a celé lidské populace při využívání zdrojů záření ve prospěch člověka. Hlavním důvodem využívání radiace byla pomoc člověku. Dnes musíme pamatovat na to, že se člověk musí ozařovat takovou dávkou, jak je rozumně dosažitelné. V literatuře je toto tvrzení označováno jako princip ALARA. Tato zkratka v angličtině znamená „As low as reasonably achievable“. Míra

rozumné dosažitelnosti se testuje zvážením nákladů na snížení ozáření a přínosů z tohoto snížení ozáření.

3.3 Základní principy radiační ochrany

3.3.1 Klasifikace zdrojů

Zdroje ionizujícího záření se podle vzestupného ohrožení zdraví a životního prostředí klasifikují jako:

1. Nevýznamné (požární hlásič)
2. Drobné (požární hlásiče s vyšší aktivitou zdroje)
3. Jednoduché (RTG, skiaskopie, CT, radionuklidy v NM)
4. Významné (zdroje pro radioterapii)
5. Velmi významné (jaderný reaktor)

3.3.2 Kategorizace pracovišť nakládajících s ionizujícím zářením

Pracoviště, na kterých se vykonávají radiační činnosti se dělí vzestupně podle ohrožení zdraví lidí a životního prostředí ionizujícím zářením a to na pracoviště I., II., III., a IV. kategorie a to podle toho, jak velké ionizující záření se využívá, podle toho, jak velký je provoz daného pracoviště a jaké velké dávky dokáže člověk dostat, podle schopnosti zajistit radiační ochranu, podle možností způsobu kontaminace pracoviště radionuklidy, podle toho, kolik radioaktivního odpadu vznikne a jak velká bude náročnost na jeho zlikvidování a v neposlední řadě podle toho, jak velká je pravděpodobnost ke vzniku poruch a odchylek (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

1. I. Kategorie: Zde se řadí pracoviště s drobnými neschválenými zdroji.
Např.: kostní denzitometr, který není drobným zdrojem ionizujícího záření; veterinární nebo zubní rentgen; pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči; ventilační zařízení; pracoviště s kabinovým rentgenem
2. II. Kategorie: Zde se řadí pracoviště s rentgenovými zařízeními určenými k radiodiagnostice nebo k radioterapii
3. III. Kategorie: Zde spadají pracoviště s urychlovačem částic s významným zdrojem
Např.: uzavřený radionuklidový zářič

4. IV. Kategorie: Zde už jsou jaderná zařízení, úložiště radioaktivního odpadu a sklad vyhořelého paliva (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

3.3.3 Optimalizace

Optimalizace je jedním ze základních principů u radiační ochrany. Optimalizací se myslí, že se porovnávají náklady na zajištění zvýšení radiační ochrany a to s finančním ohodnocením předpokládaného snížení ozáření. Za rozumně dosažitelný stupeň radiační ochrany se považuje to, aby náklady byly nižší než přínos opatření. V opačném případě se optimalizace nestala. Tímto druhem ochrany se zabývá princip ALARA. U tohoto principu se uvažuje nad tím, aby dávka byla dostatečně nízká, abychom z daného ozáření měli co největší přínos. Proto míra ozáření a přínosů z vyšetření se porovnává s náklady na snížení ozáření.

Výběr optimální varianty pro zajištění radiační ochrany musí být uskutečněn porovnáním možností snížení plánovaných dávek fyzickým osobám nebo skupinám lidí. Při výběru vyhovující varianty zajištění radiační ochrany musí být upřednostněno omezení velikosti ozáření přímo u zdroje ionizujícího záření. Při výběru vyhovující varianty pro zajištění radiační ochrany lze provést porovnání nákladů na různá omezení radiační ochrany, hlavně přemístění fyzických osob nebo díky vybudování dostatečných bariér.

3.3.4 Limity dávek, výjimečné ozáření

Pro dosažení co největší ochrany před velkými dávkami z ozáření pracovníků a studentů se počítaly, experimentálně zjistily dávky, které se nesmí překročit. Těmto dávkám se říká limity ozáření. Dělíme je do 3 základních skupin, a to obecné limity, limity pro učně a studenty a limity pro radiační pracovníky (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

1. Obecné limity jsou limity vypočítané ze zevního a vnitřního ozáření. Hodnota je 1 mSv za kalendářní rok nebo za povolených podmínek v provozu na pracovištích III. a IV. kategorie, výjimečně hodnota 5 mSv za dobu 5 za sebou jdoucích kalendářních let. Jako ekvivalentní dávka na oční čočku se udává hodnota 15 mSv za kalendářní rok. A pro průměrnou ekvivalentní dávku na 1 cm² kůže je hodnota 50 mSv za kalendářní rok. Na obecné limity se vztahuje ozáření ze všech radiačních činností kromě profesního ozáření, dále se tyto limity nevztahují na ozáření, ke kterému došlo vědomě a dobrovolně po poučení o rizicích na výkony povolání. Také se zde nevztahuje lékařské ozáření, havarijní ozáření.
2. Limity pro učně a studenty se vztahují k osobám, které jsou ve věkovém rozmezí od 16 do 18 roku věku. Pro zevní a vnitřní ozáření jsou efektivní dávky 6 mSv za

kalendářní rok. Pro ekvivalentní dávku na oční čočku je hodnota 15 mSv za kalendářní rok. Ekvivalentní dávka na 1 cm² kůže je 150 mSv za kalendářní rok. Pro studenty a učně, kteří nedovršili věku 16 let platí limity shodné s obecnými limity pro obyvatelstvo. U studentů, kteří dovršili věku 18 let a jsou nuceni pracovat se zdroji ionizujícího záření, platí limity pro radiačního pracovníka.

3. Poslední skupinou jsou radiační pracovníci a limity pro ně určené. Tyto limity jsou použity pro omezení profesního ozáření. Součet efektivních dávek ze zevního a vnitřního ozáření se rovná 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let. Pro vnitřní a vnější ozáření to je potom na jeden kalendářní rok 20 mSv. Ekvivalentní dávka na oční čočku je 150 mSv na kalendářní rok a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce. Na 1 cm² kůže je stanovena dávka 500 mSv na kalendářní rok. Pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů rukou až po předloktí, a na nohy od chodidel nohou až po kotníky je to 500 mSv za jeden kalendářní rok (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

Jako výjimečné ozáření se považuje ozáření u pracovníků kategorie A, a to dobrovolně a po předchozím poučení o možných rizicích. Toto ozáření není povoleno osobám mladším 18 let, není povoleno učňům a studentům, těhotným a kojícím ženám. U výjimečného ozáření se nesmí překročit nejvyšší možná povolená dávka a to 500 mSv za 5 po sobě jdoucích letech. Takže lidé, kteří by tuto dávku mohli překročit, nemohou podstoupit dané ozáření (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

3.4 Základní veličiny a jednotky dozimetrie

Pro to, aby se daly vypočítat dané dávky a další hodnoty, je nutné znát základní veličiny a jednotky. V této podkapitole se budu věnovat krátkému představení základních jednotek a veličin týkající se radiační ochrany a dozimetrie. Veličiny důležité z hlediska radiační ochrany jsou veličiny, které se používají pro stanovení osobní dávky, dále veličiny, které charakterizují pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů na pracovišti, dávky charakterizující vypouštění a únik radionuklidů do okolí a v neposlední řadě veličiny, které se používají pro hodnocení ozáření z hlediska ozáření z přírodního zdroje záření.

Dozimetrie ionizujícího záření je speciální obor radiační fyziky, který se zabývá působením záření na látky ve spolupráci s druhem a vlastnostmi interakce záření s látkou. Nejčastěji studovanou látkou je živá tkáň. Měření se nejčastěji provádějí ve vodě, vzduchu, nebo na speciálních dozimetrických fantomech.

1. Absorbovaná radiační dávka je účinek záření na látku. Tato dávka je přímo úměrná koncentraci iontů, které vznikly v dané látce. Tato koncentrace je opět úměrná energii, která byla látce zářením předána. Absorbovaná dávka je energie ionizujícího záření absorbovaná v daném místě látky, kterou jsme ozařovali. Tato veličina se vztahuje k jednotce hmotnosti daného místa. Jednotkou je $1\text{J}/1\text{kg}$, používá se spíše jednotka 1 Gray [Gy]. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)
2. Dávkový příkon je dávka obdržená ozařovanou látkou v daném místě za jednotku času. Jednotkou je Gray za sekundu, ale v praxi se více používá Gray za minutu nebo mili Gray za hodinu.
3. Dávkový ekvivalent je součinem absorbované dávky v daném bodě tkáně a jakostního činitele, který vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření. Jednotkou je sievert. Dávka 1 Sievert jakéhokoliv záření má stejné biologické účinky jako dávka 1 Gray rentgenového nebo gama záření, u kterého je jakostní faktor 1. Dávkový ekvivalent je dozimetrická biofyzikální veličina, která spojuje fyzikální veličinu radiační dávka s vybraným druhem záření a velikostí jeho vlivu na živou tkáň. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)
4. Osobní dávkový ekvivalent je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce tkáně. Jednotkou je sievert. Získáme ho přepočtem dávky na dozimetru, a to pomocí jakostního faktoru Q a pomocí absorpce v tkáni podle energie záření.
5. Tkáňový váhový faktor. I přes to, že dvě různé tkáně v organismu obdrží stejnou dávku, nereagují na ozáření stejně. Jednotlivé tkáně se liší svou radiosenzitivitou vůči ionizujícímu záření. Jestliže uvažujeme nad tím, že tělo je homogenní, lze jednotlivým orgánům určit jejich dané násobky. Tyto násobky budou závislé na radiosenzitivitě orgánu. Součet bude roven jedné. Tyto násobky jsou tkáňové váhové faktory. Je to bezrozměrná veličina. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)
6. Efektivní dávka je součet součinů tkáňových váhových faktorů a ekvivalentní dávky v ozářených tkáních nebo orgánech, kde se při sčítání každá orgánová ekvivalentní dávka vynásobí svým tkáňovým váhovým faktorem. Tento výsledek nakonec ukazuje poškození konkrétního orgánu nebo tkáně k poškození celého těla, které jsou vyvolané rovnoměrně celotělovým ozářením. Jednotkou je sievert. Výhodou je, že nám tato veličina dovoluje ukázat radiační zátěž pouze jedním číslem i v případě, kdyby došlo k nerovnoměrnému ozáření. Tato veličina nám umožňuje porovnávat radiační zátěže osob z různých zdrojů. Například z rentgenových nebo radioisotopových vyšetření až po radiofarmaka v nukleární medicíně. Všechny tyto klasifikace se vztahují ke

stochastickým účinkům. Nadále tato veličina hodnotí míru zdravotního rizika spojeného z ozáření. Efektivní dávka je biofyzikální veličina, která je nepřímo měřitelná. Získáme ji z naměřené radiační dávky záření, z biologických účinků tohoto záření a z citlivosti zasažených tkání. Různé druhy záření mají různou biologickou účinnost. Rozdíl je také o jaký orgán nebo tkáň se jedná. Každý orgán nebo tkáň jsou navíc různě citlivé na ozáření. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

7. Kolektivní dávka je součet efektivních dávek všech jedinců v určité skupině. Tyto údaje nám mohou posloužit k demografickým radiohygienickým analýzám a k optimalizaci radiační ochrany. Jednotkou je sievert. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)
8. Ekvivalentní dávka je součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu nebo v tkáni pro ionizující záření.
9. Aktivita je podíl středního počtu radioaktivních přeměn v určitém množství radionuklidu za časový interval. Tato veličina se týká radionuklidů. Jednotkou je becquerel (Bq).
10. CT diagnostika. Zde se určuje veličina $CTDI_w$, což je vážený index. Je to průměrná dávka v daném řezu. $CTDI_{VOL}$ je další jednotkou u CT a je to takzvaný objemový index. Zde se bere v potaz posun stolu na rotaci a šíře kolimace. Poslední zde branou veličinou je DLP, což je veličina vhodná pro porovnání dávek u jednotlivých CT.
11. Expozice, kerma a terma jsou veličiny, které se užívají při hodnocení nepřímo ionizujícího záření na látku. Kerma je veličina, která v překladu znamená kinetická energie uvolněná z materiálu. Jednotkou je opět gray. Kerma se zavedla z toho důvodu, že definice dávky nedávala informaci o tom, co se děje v okolí látky, která se sleduje. Nedávala informaci o sekundárním nepřímo ionizujícím záření. U primárních nabitých částic není rozdíl mezi kermou a dávkou. U nepřímo ionizujících záření, jako jsou fotony, gama a neutrony, charakterizuje kerma energii, která byla předaná nabitým částicím v látce (elektrony a protony). Kerma vyjadřuje hlavně vlastnosti svazku záření. Oproti tomu dávka vyjadřuje účinek na ozářené prostředí. Expozice je poměr absolutní hodnoty elektrického náboje iontů, které byly uvolněny při interakci fotonů v dané látce. Jednotkou expozice je coulomb na kilogram. V novější literatuře se uvádí veličina terma, což v překladu znamená energie uvolněná v jednotce hmotnosti daného materiálu. Jednotkou je gray stejně jako u absorbované dávky. Pokud je u interakce záření dosaženo rovnováhy nabitých částic, není mezi termou a dávkou žádný rozdíl. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

12. Velikost dávky nebo dávkového příkonu závisí na intenzitě záření v ozařované oblasti, druhu záření a energii kvant ionizujícího záření. Dále závisí na vlastnostech interakce a absorpce daného záření v látce. Radiační dozimetrie se používá hlavně v biologii, stanovuje se radiační dávka především pro měkké tkáně nebo vodu.
(astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

3.5 Kategorizace radiačních pracovníků

Jako profesní ozáření se považuje ozáření osoby, jež nastalo v souvislosti s výkonem v zaměstnání. Radiační pracovník je každá fyzická osoba, která je vystavena profesnímu ozáření. U tohoto pojmu není důležité, jestli se jedná o zaměstnance nebo o fyzickou osobu, která vykonává činnost v jiném pracovním vztahu. Kategorizujeme tyto pracovníky do dvou základních skupin. A to do skupin A a B.

Kategorie A: do této kategorie řadíme všechny pracovníky, jež by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv za rok nebo ekvivalentní dávku vyšší než 3/10 limitu pro ozáření čočky, kůže nebo končetiny. Pro tuto kategorii pracovníků je nutno zařídit pravidelné lékařské prohlídky. Mezi pravidelné lékařské prohlídky se řadí vstupní preventivní lékařská prohlídka, periodická preventivní lékařská prohlídka, která je nejméně jednou ročně a mezi poslední lékařskou prohlídkou patří mimořádná lékařská prohlídka, která se zajišťuje v případech, kdy podle úřadů došlo k překročení limitů ozáření. Náhrady na preventivní prohlídky hradí zaměstnavatel. Dále je zaměstnavatel nucen informovat pracovníky o obdržení osobních dávkách (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

Kategorie B: do této kategorie se řadí všichni ostatní.

3.6 Pásma

Sledované pásmo se vymezuje všude tam, kde se může stát, že efektivní dávka by mohla být větší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka vyšší než 1/10 limitu pro oční čočku, kůži nebo končetiny. Vymezuje se na pracovištích I. až IV. kategorie. Sledované pásmo se ale nevymezuje tam, kde jeho rozsah nepřesáhne vymezení kontrolovaného pásma. Vymezení je jednoznačně určené a bývají stavebně oddělená. Na vchodech nebo na ohraničeních se sledované pásmo označuje upozorněním „sledované pásmo se zdroji ionizujícího záření“,

případně se značí znakem radiačního nebezpečí. Zde se zajišťuje monitorování pracoviště. Je nutné toto vymezené pracoviště nahlásit daným Úřadům (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo kde je ekvivalentní dávka vyšší než 3/10 limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetinu. Opět se toto pracoviště vymezuje jako ucelené a jednoznačně určené místo, které bývá stavebně odděleno. Je zajištěno nepovolenému vstupu. Na vchodech nebo ohraničení bývá pásmo označeno znakem radiačního nebezpečí a upozorněním „Kontrolované pásmo se zdroji ionizujícího záření, vstup nepovolaným osobám zakázán“ (SÚJB, vyhláška 422/2016 Sb.).

3.7 Program monitorování

Program monitorování je důležitý z hlediska radiační ochrany jak pracovníků, tak i pacientů a učňů. Monitorují se pracoviště, výpustě, okolí. Nejdůležitějším monitorováním se osobní monitorování. Program musí obsahovat pravidla monitorování pro běžný provoz, předvídatelné odchylky od běžného provozu na pracovišti, radiační nehodu anebo radiační havárii. Vymezují se zde monitorované veličiny, způsob, rozsah a četnost měření, způsob zpracování a zaznamenávání výsledků měření.

Na pracovištích I. až IV. kategorie, s výjimkou pracoviště I. kategorie kde se používají drobné zdroje ionizujícího záření, se monitorování provádí sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a ostatních důležitých údajů.

Osobní monitorování radiačního pracovníka je důležité pro určení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením jeho zevního a vnitřního ozáření. Monitoruje se pomocí osobního dozimetru. Je zajištěno pro radiační pracovníky kategorie A. Osobní dozimetr je umístěn na referenčním místě, které je určeno jako přední levá strana hrudníku nebo na jiném místě dle geometrie ozáření. Pokud radiační pracovník používá ochranné pomůcky, musí být dozimetr umístěn vně ochranné pomůcky.

3.7.1 Metody dozimetrického stanovení radiačních dávek

K měření ionizujícího záření se nejčastěji používají dozimetry. Dozimetry jsou jednoduché radiometry. Mezi dozimetry se řadí ionizační komora, GM detektor, scintilační detektory, filmové dozimetry, termoluminiscenční dozimetry a v neposlední řadě OSL dozimetry. Pomocí dozimetrů se dělají fyzikální měření s použitím fantomů, monitorování pracovníků a

pacientů což je dozimetre in vivo a nakonec radiační monitorování pracovního a životního prostředí. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

Detektory ionizujícího záření se dělí podle tří kritérií. Podle časového průběhu detekce, podle fyzikálně-technického principu detekce a nakonec podle komplexnosti měřené radiační informace. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

1. Podle časového průběhu detekce:

- a. Kontinuální detektory, jinak také nazývané on-line detektory. Tyto detektory poskytují průběžnou informaci o aktuální intenzitě záření nebo počtu kvant ionizujícího záření. Reakce by měla být přímo úměrná okamžité intenzitě záření. Jakmile přestane být na detektor přiváděno záření, signál na výstupu detektoru bude nulový. Tyto detektory jsou téměř vždy elektronické. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)
- b. Kumulativní detektory, neboli integrální, svůj signál shromažďují během expozice. Reakce na záření zůstává v detektoru a nový signál se k původnímu přičítá. Na konci měření dostaneme vyhodnocení, které je naměřeno za celou dobu ozáření detektoru. Tyto detektory se používají hlavně v radiační dozimetrii. (astronuklfyzika.cz/strana2.htm)

2. Podle principu detekce:

- a. Fotografické detektory jsou založeny na fotochemickém účinku záření. Do této skupiny patří filmové dozimetry, rtg filmy nebo jaderné emulze.
- b. Materiálové detektory využívají dlouhodobé změny vlastností určité látky působením ionizujícího záření.
- c. Elektronické detektory převádí část absorbované energie na elektrický proud nebo na impuls. Samotné vyhodnocení probíhá ve vyhodnocovacích aparaturách.

3. Podle komplexnosti měřené informace:

- a. Detektory záření provádějí registraci interakcí částic s detektorem. Udávají intenzitu záření, ale nedají nám informaci o druhu záření a o jeho energii.
- b. Spektrometry ionizujícího záření měří nejen intenzitu záření ale i energii. Výsledkem měření bývá energetické spektrum.

- c. Zobrazovací detektory zobrazují prostorové rozložení intenzity záření. Nejjednodušším druhem je fotografický film.
- d. Dráhové detektory částic měří a vyhodnocují dráhy pohybu částic v prostoru.

4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 Metodika přípravy vyšetření

V této praktické části jsem se zaměřila na přesný popis vyšetření. Od přípravy radiofarmaka, informování a poučení pacienta až po samostatné vyšetření.

Jako pacienta jsem si vybrala muže, který byl poslán na vyšetření PET/CT z důvodu nejasných horeček. Hledalo se místo zánětu.

4.2 Příprava pacienta k vyšetření

Pacient je odeslán svým praktickým nebo odborným lékařem na pracoviště nukleární medicíny. Zde dodá žádanku předem, a to z důvodu, aby se zjistilo, zda je dané vyšetření indikováno. U všech poslaných pacientů se v první řadě hledá jiná alternativa vyšetření. PET/CT je zde jako poslední, a to pro svou vysokou radiační zátěž.

Pacient si s sebou donese laboratorní výsledky (urea, kreatinin, glomerulární filtrace) a to kvůli podání kontrastní látky. Dále vyplní informovaný souhlas, kde je informován o všech možných rizicích ohledně daného vyšetření. Na konci vyplíše anamnestický dotazník, který následně slouží lékařům pro přesnější informace o nemocném.

Pacient musí alespoň 2 dny před vyšetřením vynechat větší svalovou zátěž, 6 hodin před vyšetřením je nutno hladovět, ale je také nutno více pít, a to pouze čistou vodu nebo neslazený čaj. Je důležité vyhnout se tekutinám s obsahem cukru, mléko se také nedoporučuje. Dotyčný se musí vyvarovat žvýkaček, bonbonů. Je doporučeno si s sebou přivést doprovod, avšak se nedoporučují těhotné ženy či děti z důvodu radiační zátěže. Vše se stvrzuje podpisem.

Dotyčný přijde na domluvený čas, zaeviduje se a čeká na vyzvání asistentem. Ten si jej poté zavolá do aplikační místnosti, kde se ho znovu přeptá, zda vše důležité dodržel. Asistent si zkontroluje údaje pacienta a RČ. Poučí pacienta, jak bude postupovat během přípravy na vyšetření a během samostatného vyšetření. Asistent pomocí glukometru změří glukózu v krvi. Hodnoty na lačno se pohybují okolo 3,9–5,6 mmol/l. Naměřenou hodnotu spolu s časem odběru zapíše do pacientovy dokumentace. Asistent zavede pacientovi modrou kanylu, kterou následně propláchne fyziologickým roztokem. Kanylu zalepí dermafoilem, a na to napíše čas, kdy byla kanyla zavedena, datum a podpis asistenta, který kanylu zavedl. Po příchodu lékaře, který s pacientem prokonzultuje ještě jednou celý průběh vyšetření, se informuje na možné alergie následně mu do kanyly naaplikuje radiofarmakum. Radiofarmakum má nachystáno ve

wolframovém krytu v tzv.PET vozíku. Jakmile je pacient naaplikován, odchází do speciálně odstíněné čekárny, kde pije danou kontrastní látku po dobu 45 minut. Pacient pije buďto jódovou KL nebo v případě alergie na jód se užívá baryová kontrastní látka. Užívanou jódovou kontrastní látkou je manitol, který je citlivější na vyšetření, avšak může vyvolávat průjmy. Baryovou kontrastní látkou je pak mikropaque. Pacient by měl být v klidu, neměl by mluvit, taktéž by neměl používat mobilní telefon, pouze by měl v klidu sedět a pomalu pít kontrastní látku. Na toaletu bude docházet dle potřeby. Záchody se nacházejí vedle čekáren, kde pacient pije KL. Asistenti s pacientem komunikují přes mikrofon a kamerou na něj dohlížejí. Po 45 minutách oznámí asistent pacientovi, aby navštívil toaletu. Poté je pacient vyzván do vyšetřovací místnosti, kde si lehne na vyšetřovací stůl pod PET kameru.



Obrázek 2 Stolek s pomůckami pro aplikaci radiofarmaka



Obrázek 3 Kontrastní látka per os



Obrázek 4 Aplikační křeslo



Obrázek 5 PET vozík s radiofarmakem

4.3 Příprava radiofarmaka

Při vyšetření zánětů se užívá radioaktivní látka ^{18}F -FDG, která má krátký poločas přeměny a to 110 minut. Tato látka je velmi drahá a připravuje se v cyklotronu, který bývá v blízkosti aplikačního centra. Farmaceut podle váhy pacienta nachystá danou aktivitu přímo do stříkačky. Na ideálního pacienta (70kg) je aktivita 370MBq. U našeho vyšetřovaného pacienta

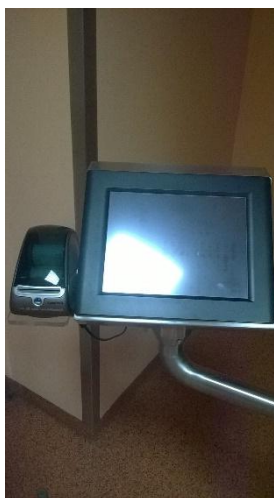
se použila aktivita 374MBq ^{18}F -FDG. Při přípravě farmaka na jinou váhu pacienta se užívají tabulky určené pro přepočet dávky na váhu. Připravené radiofarmakum ve stříkačce je dáno do wolframového krytu a nachystáno pro lékaře v PET vozíku. Pro správnou aplikaci radiofarmaka je lékaři připraven stolec s pomůckami. A to desinfekčními tampóny, rukavicemi, škrtdlem a náplastmi.

Lékař aplikuje radiofarmakum do připravené kanyly. Následně kanylu propláchneme fyziologickým roztokem, aby se zamezilo pozastavení radiofarmaka v kanyle.

Radiofarmakem je tedy fluoro-deoxy-glukóza, FDG, což je glukóza značená ^{18}F . Rychle se množící buňky spotřebují více glukózy. Pacient před tímto vyšetřením 6 hodin lační, aby byla co nejnižší hladina glykémie a minimalizovala se soutěživost mezi FDG a glukózou. Zvýšená hladina glykémie vede ke zhoršení kontrastních rozdílů mezi nádorem/zánětem a krevním pozadím.



Obrázek 6 Digestoř pro přípravu radiofarmaka



Obrázek 7 Ovládací konzole s tiskárnou digestoře

4.4 Vyšetření

Pacienta uložíme na lůžko hlavou do přístroje. Ruce si dá nad hlavu, pokud lékař nenařídí jinak. Avšak u vyšetření, kde se hledá místo zánětu, bývají ruce podél těla. Pod nohy dáme klín. Nejdříve provedeme CT topogram. Rozsah snímání při detekci zánětu je od baze lební až po nárt nohou. V jiných případech bývá od baze lební po horní třetinu stehen.

Na počítačové konzoli si zvolíme rozsah CT a dále si nastavíme, kolika úsekové PET chceme. Dle zvoleného protokolu je provedeno vyšetření s podáním JKL intravenózně a to z důvodu, abychom odlišili cévní soustavu. Dotyčnému pacientovi jsme aplikovali 80ml KL Ultravist 370. Po dokončení CT se pacient posouvá směrem do gantry, kde je mu následně uděláno PET vyšetření. Zde se tvoří axiální řezy v zorném poli 15 cm a jednotlivé sekvence, neboli úseky či postele se navzájem překrývají. Snímání jedné postele bývá obvykle okolo 2-4 minut. Vyšetřuje se 5 až 7 postelí, podle výšky pacienta a žádaného vyšetření.

Přirozená akumulace je v mozku, srdci, močovém měchýři, ledvinách a ve svalech, proto je doporučeno, aby se pacient před vyšetřením na několik dní vyvaroval větší fyzické zátěži. Dále se může zvýšená akumulace objevit v místě vpichu.

Po skončení vyšetření pacient odchází zpět do kabinky, kde se sbalí a jde do čekárny. Po vyzvání asistentem je pacient pozván na kontrolu do aplikační místnosti, kde se zkontroluje, zda pacient nemá alergickou reakci na kontrastní látku. Pokud by ji měl, zavolá lékaře a ten mu do kanyly vpíchne látku proti alergii. Alergická reakce se musí napsat do dokumentace a to z důvodu, aby se příště po užití JKL předešlo alergickým reakcím. Reakce se totiž sčítají, takže příště by byla reakce větší. Pokud alergická reakce nenastala, asistent vyndá kanylu a poučí pacienta. Pacient má během dne doporučeno více pít a to z důvodu, aby se radiofarmakum co nejdříve vypravilo z těla ven. Dále by se měl pacient ten den vyhýbat dětem a těhotným ženám a to z důvodu radiační ochrany.



Obrázek 8 PET/CT



Obrázek 9 Pumpa na KL



Obrázek 10 Ovládací konzole PET a CT

4.5 Závěr

Po skončení vyšetření jdou obrázky z PET/CT konzole do PACSU, kde se na ně podívá lékař a vyšetření popíše.

5. DISKUSE

Nukleární medicína patří v dnešní době k rychle se rozvíjejícím oborům lékařství a mezi pacienty je čím dál tím více navštěvovaným oddělením. Díky nukleární medicíně jsme schopni pacienta vyšetřit podrobněji než u jiných diagnostických metod. Jedná se o vyšetření časově náročnější. Radiační zátěž pacientů je větší než při jiných diagnostických metodách, ale čím dál více se pracovníci snaží radiační dávky snižovat na únosnou mez.

Má bakalářská práce se vztahuje k vyšetření na přístroji PET, kterým se v dnešní době nejhojněji vyšetřují onkologická onemocnění, a už méně se využívá k vyšetření zánětů. Velký krok vpřed dovolilo zavedení PET/CT přístrojů, které se řadí mezi hybridní přístroje.

V teoretické části mé bakalářské práce se zabývám popisem zánětu, FUO a scintigrafickými metodami zánětů v nukleární medicíně. Jelikož na oddělení nukleární medicíny jak pacienti, tak i zdravotníci dostávají větší radiační dávky než na jiných odděleních. Ve své práci se zmiňuji také o radiační ochraně.

V praktické části se zaměřuji na vyšetření zánětu pomocí ^{18}F -FDG. Mým záměrem bylo zjistit, jakou úlohu zaujímá radiologický asistent při tomto vyšetření. Během vypracovávání mé praktické části a i během praxe na oddělení nukleární medicíny jsem zjistila, že radiologický asistent je nedílnou součástí zdravotnického personálu. Prvním kontaktem s pacientem začínaje, provedením vyšetření a odstraněním kanyly konče. Důležité je podrobné seznámení pacienta s výkonem, profesionální provedení vyšetření a plnění radiologických standardů.

6. ZÁVĚR

U některých onemocnění lze upřednostnit jiné vyšetřovací metody než metody nukleární medicíny. Mezi nejčastěji užívané patří CT, MRI a ultrazvuk. Tyto metody se hojně využívají kvůli lepší anatomické a morfologické informaci než mají metody nukleární medicíny. Nukleární medicína má však velký přínos pro diagnostiku, ale dodnes i pro terapii.

Ve své bakalářské práci jsem se zajímala o vyšetření zánětů různými metodami nukleární medicíny. Ať už při vyšetření zánětů nebo jiných onemocnění jsem se snažila zjistit důležitost radiologických asistentů na pracovišti nukleární medicíny.

Už při praxi na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové, kde jsem vypracovávala svou praktickou část bakalářské práce, nebo na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Ostrava jsem zjistila, jak velkou zodpovědnost radiologický asistent má. Díky šanci vyzkoušet toto pracoviště ve dvou tak vzdálených nemocnicích, jsem našla menší rozdíly, co se týče práce radiologických asistentů. Ve Fakultní nemocnici Ostrava nemají oproti Fakultní nemocnici Hradec Králové pracoviště PET. Proto prvním mým překvapením bylo zjištění, že pracovníci ve FNO nemají takový odstup k pacientům jako ve FNHK. Bylo mi vysvětleno, že to je tím, jelikož FNO nemá PET pracoviště a tudíž se u nich neaplikují tak velké radiační dávky, aby pracovníci nemohli pomáhat pacientům. Ve FNHK se radiologičtí asistenti střídají ve směnách na kamerách a na PETu a ochrana, co se týče radiofarmak na PETu, zůstala i u gamakamer. Na konci své praxe na obou pracovištích jsem si ale uvědomila, že bezpečné zacházení jak s pacientem tak se sebou samým je pouze ku prospěchu obou stran. Personál těchto nemocnic mi velice pomohl s tvorbou mé bakalářské práce a vstřícně odpovídal na mé dotazy. Práce na oddělení nukleární medicíny je zajímavá a hlavně stále se rozvíjející.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Zdroje:

1. FREJ, David. Zánět: skrytý zabiják: příčiny, léčba, prevence. Praha: Eminent, 2015. ISBN 978-80-7281-492-3
2. HEŘMAN, Miroslav. *Základy radiologie*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2014. ISBN 978-80-244-2901-4
3. KORANDA, Pavel, Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6
4. KUPKA Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2
5. MYSLIVEČEK, Miroslav, Pavel KORANDA a Václav HUŠÁK. Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002. ISBN 80-244-0509-1
6. SERHAN, Charles N., Peter A. WARD a Derek W. GILROY. *Fundamentals of inflammation*. New York: Cambridge University Press, 2010, 473 s. ISBN 978-0-521-88729-8
7. KOLEKTIV AUTORŮ [ÚSTAVU NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY 1. LF UK A VFN PRAHA]. Nukleární medicína. 4. vyd. Jilemnice: Gentiana, 2002. 154 s. ISBN 80-86527-05-0
8. VOTRUBOVÁ, Jana. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, 2009, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9

Internetové zdroje:

1. ULLMANN, Vojtěch. AstroNuklFyzika: Jaderná a radiační fyzika, nukleární medicína [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
2. Horečka neznámého původu. *Zdraví euro* [<http://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicin>]. Praha, 2006 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/horecka-neznameho-puvodu-173286>
3. Sbírka zákonů: Vyhláška 422/2016 Sb. *SÚJB* [online]. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2016 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/sb0172-2016.pdf>

4. BROŽ, Martin. Schématické znázornění cyklotronu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyklotron.jpg>

8. SEZNAM ZKRATEK

ACD - acidum citricu dextrose, látka která konzervuje krev ve stříkačce

CMP – cévní mozková příhoda

CRP – C-reaktivní protein

CT – výpočetní tomografie

EKG - elektrokardiogram

FDG – fluorodeoxyglukóza

FUO - horečka neznámého původu, z angl. Fever Of Unkown Origin

HMPAO - hexamethylpropylenaminoxid

IZ – ionizující záření

KL – kontrastní látka

MDCT – výpočetní multidetektorová tomografie

MRI – magnetická rezonance

NM – nukleární medicína

PACS - Picture archiving and communication system

PET - pozitronová emisní tomografie

RTG – rentgenové vyšetření

SPECT – jednofotonová emisní tomografie

SÚJB – státní úřad pro jadernou bezpečnost

9. PŘÍLOHA

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



Tel.: 495 831 111

IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny - 6682

tel./fax: 495 834 542

Souhlas pacienta/ky – zákonného zástupce

s vyšetřením PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka ¹⁸F-FDG

a jódové kontrastní látky

Pacient/ka:

.....
příjmení

.....
jméno

.....
titul

Rodné číslo:

.....

Pojišťovna:

.....

Zákonný zástupce:

(otec, matka)

.....
příjmení

.....
jméno

.....
titul

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

.....
příjmení

.....
jméno

.....
titul

.....
pracovní zařazení

(zdravotní sestra, sanitář, ...)

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

Radiofarmakum: **¹⁸F-FDG (fludeoxyglukosa)**

Vážená paní, vážený pane,

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

Před vyšetřením prosím vyplňte krátký anamnestický dotazník.

Popis výkonu:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Souhlasím s plánovaným PET/CT vyšetřením bez podání jódové kontrastní látky

(zaškrtněte zvolenou odpověď)

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

Podpis:

Místo aplikace radiofarmaka a kontrastní látky:

kubitální žíla vpravo vlevo

předloktí vpravo vlevo

dorsum ruky vpravo vlevo

flexila vpravo vlevo

jiné

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

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

jmenovka a podpis: