

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Barbora Burešová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Hybridní PET/CT zobrazování sarkoidózy

Bakalářská práce

2022

Barbora Burešová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Barbora Burešová**
Osobní číslo: **Z19036**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Hybridní PET/CT zobrazení sarkoidózy**
Téma práce anglicky: **Hybrid PET/CT imaging of sarcoidosis**
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

- JUDSON, Marc A., ed. *Pulmonary Sarcoidosis: A Guide for the Practicing Clinician*. New York: Humana Press, 2014. ISBN 978-1-4614-8927-6.
- KOLEK, Vítězslav. *Sarkoidóza: nemoc mnoha tváří*. Praha: Maxdorf Jessenius, 2019. ISBN 978-80-7345-628-3.
- KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.
- MITCHELL, Donald, Athol WELLS, Stephen SPIRO a David MOLLER. *Sarcoidosis*. 1. Londýn: CRC Press, 2012. ISBN 978-03-675-7676-9.
- VOTRUBOVÁ, Jana. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-619-9.

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

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. dubna 2022**

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

L.S.

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

V Pardubicích dne 14. března 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

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

V Pardubicích dne 27. 04. 2022

Barbora Burešová v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky k vylepšení práce. Všechny jeho poznatky mi pomohly práci zkompletovat. Dále bych chtěla poděkovat Bc. Simoně Uhrinové z oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Hradce Králové a celému kolektivu za rady a umožnění fotodokumentace a informací do praktické části mé bakalářské práce.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

ANOTACE

Popis hybridní metody pozitronové emisní tomografie/výpočetní tomografie a její využití v souvislosti s diagnostikou nemoci sarkoidóza. Základní informace o této nemoci. Pravidla radiační ochrany pracovníků na oddělení nukleární medicíny, kde se přístroje PET nejčastěji nachází.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pozitronová emisní tomografie, výpočetní tomografie, nukleární medicína, sarkoidóza, radiační ochrana

TITLE

Hybrid PET/CT imaging of sarcoidosis

ANNOTATION

Description of the hybrid positron emission tomography/computed tomography methods and their use in the diagnosis of sarcoidosis. Basic information about this disease. Radiation protection rules for workers in nuclear medicine departments where PET machines are most often found.

KEYWORDS

Positron emission tomography, computed tomography, nuclear medicine, sarcoidosis, radiation protection

OBSAH

Úvod.....	13
1 Cíle práce	14
Teoretická část	15
2 Pozitronová emisní tomografie	15
2.1 Přeměna β a pozitronové zářiče	15
2.2 Princip detekce záření	16
2.3 Artefakty	17
2.4 Hybridní systém PET/CT	19
3 Výpočetní tomografie CT	20
4 Radiofarmaka používané pro PET/CT	22
4.1 Produkce radionuklidů ozařováním na cyklotronech.....	22
4.2 ^{18}F -FDG	22
4.2.1 Fyziologická akumulace F^{18} -FDG	23
5 Nemoc sarkoidóza.....	24
5.1 Historie nemoci	24
5.1.1 The Royal Northern Hospital's Sarcoidosis Clinic, Londýn	25
5.2 Současná fáze nemoci	25
5.3 Obecná charakteristika nemoci	26
5.4 Diagnóza sarkoidózy	27
5.5 Faktory výskytu sarkoidózy	30
6 Vyšetřovací metody diagnózy sarkoidózy	32
6.1 Využití PET/CT pro pacienty se sarkoidózou.....	34
7 Radiační ochrana na oddělení nukleární medicíny	38
7.1 Principy a cíle radiační ochrany	38
7.2 Deterministické účinky	39
7.3 Stochastické účinky.....	39

7.4	Diagnostické referenční úrovně	40
7.5	Radiační ochrana na oddělení nukleární medicíny	40
7.6	Zásady ochrany osob při manipulaci s radiofarmaky	41
8	Praktická část	42
8.1	Objednání pacienta	42
8.2	Příprava pacienta před vyšetřením	42
8.3	Den vyšetření pacienta	43
9	Diskuze	50
10	Závěr	53
11	Použitá literatura	54
11.1	Odborné články	55
12	Zdroje obrázků	57
13	Přílohy	58

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Artefakty při PET/CT (Agrawal, 2021, s. 9)	18
Obrázek 2 - Artefakt utvrzení svazku záření způsobený zubním implantátem (Agrawal, 2021, s. 10).....	18
Obrázek 3 - Fyziologická akumulace radiofarmaka ^{18}F -FDG u muže 42 let (obr. a) a u ženy 36 let (obr. b), (Calabria, 2020, str. 4)	23
Obrázek 4 - Příznaky sarkoidózy (National Heart, Lung and Blood Institute, 2021)	29
Obrázek 5 - Postup při diagnostice sarkoidózy (Judson, 2014, s. 2)	32
Obrázek 6 - stadium I a II (Žurková, 2020, s. 242)	32
Obrázek 7 - stadium III a IV (Žurková, 2020, s. 243)	33
Obrázek 8 - Aktivita zánětlivých procesů v nodulách, plicích a v lymfatických uzlinách mediastina při vyšetření PET/CT (Koranda, 2019, s. 192).....	35
Obrázek 9 - Kartotéka PET/CT (Zdroj: autor).....	42
Obrázek 10 - Křeslo v aplikační místnosti (Zdroj: autor).....	43
Obrázek 11 - Čekárna před PET/CT vyšetřovnou (Zdroj: autor)	43
Obrázek 12 – Kontrastní látka Manitol (Zdroj: autor).....	44
Obrázek 13 – Kontrastní látka přichystané pro pacienta před vchodem do kabinky (Zdroj: autor)	44
Obrázek 14 - Glukometr (Zdroj: autor)	44
Obrázek 15 - Nachystaný stůl s pomůckami v aplikační místnosti (Zdroj: autor).....	45
Obrázek 16 - Pomůcky pro zavedení periferního žilního vstupu (Zdroj: autor).....	45
Obrázek 17 – Vyšetřovna s PET/CT přístrojem (Zdroj: autor)	46
Obrázek 18 - Kryt na radiofarmakum F^{18} -FDG připraveno ve stříkačce farmaceutem přímo pro daného pacienta (Zdroj: autor).....	46
Obrázek 19 - Obraz z kamery, co monitoruje kabinky (Zdroj: autor)	46
Obrázek 20 - Gantry přístroje PET/CT (Zdroj: autor).....	47
Obrázek 21 - Ovládací panel přístroje PET/CT (Zdroj: autor).....	47
Obrázek 22 - Tlakový injektor na JKL a fyziologický roztok (Zdroj: autor).....	48
Obrázek 23 - Monitory v ovládací místnosti (Zdroj: autor)	48
Obrázek 24 - Monitor k ovládní pumpy na kontrastní látku (Zdroj: autor).....	48

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT.....	58
Příloha B - Informovaný souhlas pacienta s vyšetřením PET/CT	59
Příloha C - Žádanka na PET/CT vyšetření	60
Příloha D - Příprava pacienta k vyšetření PET/CT s F ¹⁸ -FDG	61

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ALARA	As low as reasonable achievable
BHL	Bilaterální hilová lymfadenopatie
BGO	Bismut-germanium
CBD	Chronická beryliová nemoc
CT	Výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
DNA	Kyselina deoxyribonukleová
DRŮ	Diagnostická referenční úroveň
F ¹⁸	18 Fluor
FDG	Fluorodeoxyglukóza
FFA	Free Fatty Acids
⁶⁷ Ga	67 Galium
Ga	Galium
GLUT-1	Glucose transporter
GSO	Gadolinium
HIT	Heparinem indukovaná trombocytopenie
HP	Hypersenzitivní pneumonitida
IV	Intravenózně
JKL	Jodová kontrastní látka
keV	Kiloelektonvolt
kg	Kilogram
LSO	Lutecium
mm	milimetr

mmol/l	Milimol na liter
Na(I)TI	Thaliem aktivovaný jodid sodný
PET	Pozitronová emisní tomografie
RTG	Rentgen
SPECT	Single photon emission computed tomography
USA	United states of America
WASOG	World Association of Sarcoidosis and other Granulomatous Disorders
3D	Trojrozměrný

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zaměřuje na vyšetření na hybridním přístroji PET/CT u pacientů s nemocí sarkoidóza. V České republice je uváděna incidence tohoto onemocnění 8,5/100 000 a prevalence přes 70/100 000 obyvatel. Z tohoto plyne, že se nejedná o úplně časté onemocnění, spíše výjimečné. Ovšem už i jeho diagnóza je velmi dlouhý proces, kdy musí lékař vyloučit spoustu ostatních jiných diagnóz, než vůbec může o sarkoidóze uvažovat.

Sarkoidóza je multisystémové granulomatózní onemocnění, u kterého nám je jeho etiologie neznámá. Je charakterizováno granulomatózním zánětem v postižených tkáních, nitrohrudním postižením s bilaterální hilovou lymfadenopatií anebo plicními infiltráty.

Vyšetření PET/CT probíhá na odděleních nukleární medicíny.

Jedná se o moderní diagnostickou metodu vyšetřování převážně onkologických pacientů anebo také pacientů s příznaky zánětlivého onemocnění, jako je právě sarkoidóza.

Metoda pozitronové emisní tomografie nám po podání radiofarmaka intravenózně umožňuje sledovat fyziologické a patologické děje v lidském těle. K anatomické přesnosti se k přístroji PET přidává přístroj výpočetní tomografie CT. Tímto nám vzniká hybridní přístroj PET/CT, který dokáže obrázky z obou vyšetření sjednotit dohromady, aby vznikl detailní obraz.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je seznámit čtenáře s poměrně neobvyklou a záhadnou nemocí sarkoidóza a také s detailním postupem při vyšetření na přístroji PET/CT na oddělení nukleární medicíny.

V teoretické části je mým cílem vysvětlit fungování přístroje PET/CT a také objasnit historii, příznaky a diagnózu sarkoidózy. Dále se věnuji zásadám radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny.

V praktické části se zabírám detailním postupem při vyšetření PET/CT od pacientova objednání a příchodu na oddělení až po jeho odchod a následné doporučení, jak by se měl chovat v následujících hodinách až dnech.

TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části této práce bych se chtěla věnovat, jak vlastně hybridní vyšetřovací metoda PET/CT funguje, popsat blíže nemoc sarkoidóza a přiblížit anatomicky místa a orgány které postihuje. Také bych chtěla zmínit jaké opatření se v rámci radiační ochrany používají na odděleních nukleární medicíny, kde se PET nachází.

2 POZITRONOVÁ EMISNÍ TOMOGRAFIE

Pozitronová emisní tomografie využívá pozitronové zářiče. Jedná se o radionuklid, který emituje kladně nabitě částice pozitrony. (Seidl, 2012)

Pozitronový tomograf je tvořen soustavou mnoha drobných detektorů (až desítky tisíc) kruhovitě uspořádaných do prstenců obklopujících pacienta. Během vyšetření jsou detektory nepohyblivé, tudíž se kolem pacienta neotáčejí. Vyšetřovací metoda je založena na koincidenční detekci anihilačních fotonů s energií 511 keV. (Koranda, 2017)

Při β^+ rozpadu radioaktivního prvku vznikne pozitron, který se srazí s elektronem a okamžitě spolu anihilují. Při tomto procesu vzniknou dva fotony o totožné energii a odletí z místa anihilace pod úhlem 180° . Tyto fotony jsou poté detekovány detektory a následně vzniká obraz. (Seidl, 2012)

2.1 Přeměna β a pozitronové zářiče

Máme dva druhy β přeměny. Prvním druhem je přeměna β^- , při které dochází k emisi elektronů z atomového jádra. (Koranda, 2017)

Během přeměny beta mínus se v jádře transformuje neutron na proton a elektron. Díky tomuto je umožněna elektrická neutralita a jádro se změní podle vzorce ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}X'' + {}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}$. (Beneš, 2015)

Mateřské jádro vysílá záporně nabitý elektron a elektronové antineutrino. **Neutrino** a **antineutrino** zapadají do skupiny elementárních částic, konkrétně do skupiny leptonů. Nový vytvořený dceřiný prvek bude mít o jedno číslo vyšší atomové číslo než prvek původní. (Beneš, 2015)

Na rozdíl od přeměny β^- se při přeměně β^+ emitují pozitrony z atomového jádra. (Koranda, 2017)

Při přeměně beta plus se v nestabilním jádře pozitronového zářiče přemění proton na neutron. Tento děj je doprovázen vyzářením kladného náboje ve formě **pozitronu**. Je to forma antihmoty, jejíž vlastnost je, že nemůže existovat permanentně v hmotném prostředí. Délka jeho dráhy závisí na tom, jakou má energii. K **anihilaci** dochází na konci dráhy pozitronu a jedná se o srážku s elektronem okolní hmoty. Emitují se dvě kvanta záření gama o energii 511 keV. (Votrubová, 2009)

K přeměně beta plus dochází podle schématu: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}X'' + {}^0_1e + {}^0_0\nu$

Jádro pozitronového zářiče je nestabilní a dochází v něm k přeměně protonu na neutron. Tento děj je provázen vyzářením kladného náboje ve formě pozitronu. Pozitron je částice podobná svými vlastnostmi elektronu kromě toho, že oproti elektronu se záporným nábojem, má pozitron náboj kladný. (Votrubová, 2009)

Dalším druhem je elektronový záchyt, kdy je děj doprovázen emisí charakteristického rentgenového záření z elektronového obalu. (Koranda, 2017)

2.2 Princip detekce záření

Z toho, co jsme se zatím dozvěděli, je zřejmé, že detekční systémy PET nejsou založeny na detekci pozitronů, ale na detekci kvant anihilačního záření.

SPECT (= jednofotonová emisní tomografie) na rozdíl od PET využívá klasickou scintilační kameru vybavenou vhodným kolimátorem, která snímá jen jediný foton. Účinnost tohoto systému s NaI(Tl) scintilačním krystalem je poměrně nízká, protože tento krystal absorbuje jen malé množství fotonů s energií 511 keV. Systém PET, avšak kolimátory nevyužívá a také snímá oproti SPECT ne jeden, ale dvojici fotonů. Je zde důležitý fakt, že oba fotony od sebe po anihilaci odletí pod úhlem 180° po přímkách. (Votrubová, 2009)

Fotony jsou poté zachytávány na detektorech ovšem jen v případě, pokud dopadnou do protilehlých detektorů současně. To znamená, že jsou detektory zapojeny v koincidenčním obvodu. Tímto detekováním se získá informace o poloze dopadu fotonů v detektoru, ale i o směru jejich příletu. Proto není nutné u PET používat olověné kolimátory jako při planární scintigrafii nebo SPECT. Vyřazení olověných kolimátorů a nástup elektronické kolimace umožňuje podstatně vyšší detekční citlivost PET oproti SPECT. Z údajů získaných detekcí velkého počtu dvojic anihilačních fotonů se pomocí počítače matematicky rekonstruuje trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka. (Koranda, 2017)

Prostorové rozlišení PET systému je definováno faktory, z nichž jsou dva ovlivňovány fyzikálními vlastnostmi pozitronového záření a další konstrukcí přístroje. Prvním faktorem je dosah pozitronu ve tkáni před jeho anihilací s elektronem a odchylka směru emise fotonů anihilačního záření od 180°, která může být až $\pm 0,25^\circ$. Zmíněné jevy se na rozlišovací schopnosti podílí menším podílem (1-2 mm). K nepřesnému určení místa, kde nastala emise pozitronu, více dopomáhá velikost jednotlivého detektoru v prstencovém souboru a hloubka interakce fotonů s detekční látkou. V klinické praxi se jedná o prostorové rozlišení PET asi na úrovni cca 4 mm. (Koranda, 2017)

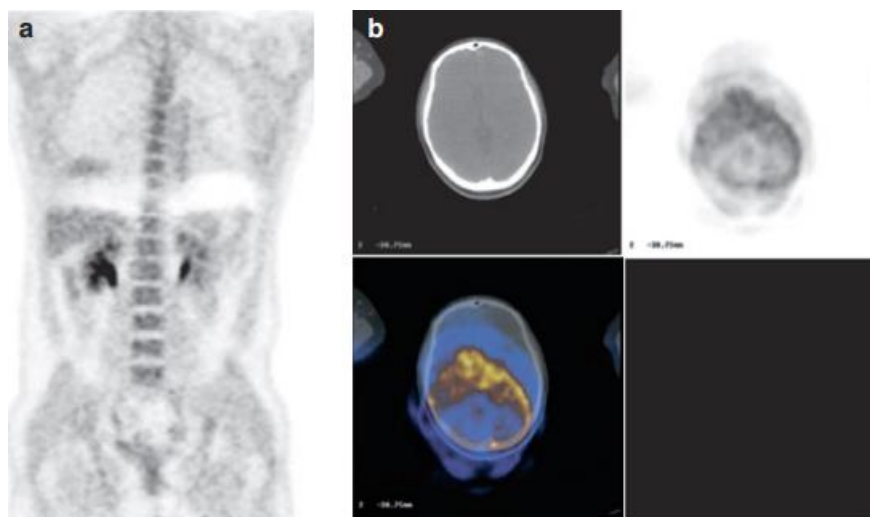
Materiály, ze kterých byly detektory vyrobené se měnily v průběhu času. Důležitá vlastnost materiálu je zde vyšší hustota a vyšší atomové číslo. Na počátku byly používané detektory BGO (bizmut-germanát), poté GSO a LSO (gadolinium, lutecium). (Seidl, 2012)

Skener se skládá z několika prstenců malých krystalových scintilačních detektorů. Každý jednotlivý detektor má velikost několika mm a v moderních skenerech je vyroben ze scintilačního detektoru na bázi lutecia. (Agrawal, 2021)

2.3 Artefakty

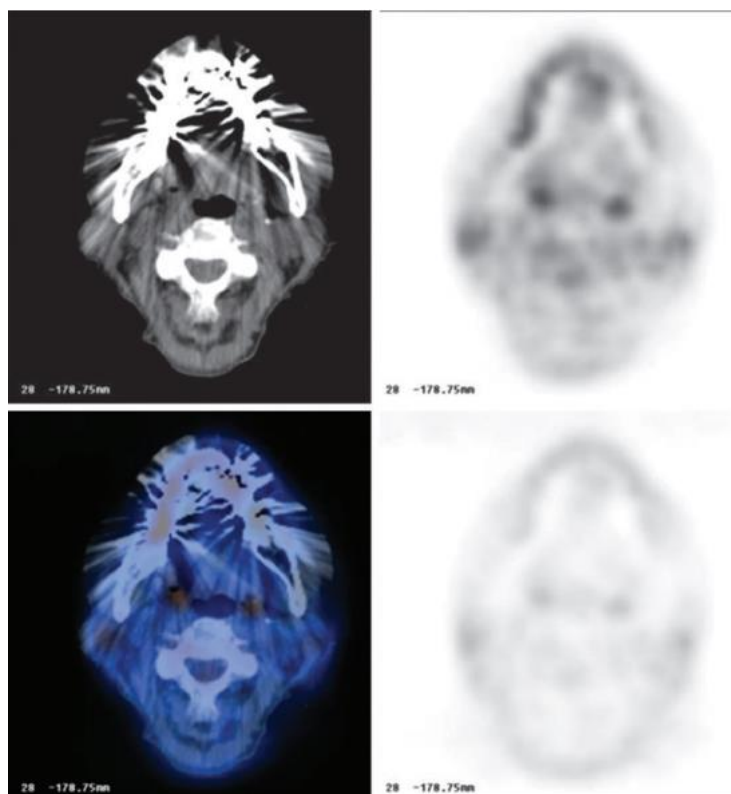
Při zobrazování PET se může vyskytnout několik artefaktů, navzdory tomu, že dodržíme všechna opatření. Jedním z nejobtížněji kontrolovatelných artefaktů jsou respirační artefakty. Ty se mohou vyskytnout, pokud se pacient před nebo během CT vyšetření výrazně nadechne. Nejjednodušším způsobem, jak těmto artefaktům předejít, je zajistit, aby byl pacient před zobrazením uvolněný. Před vyšetřením ho požádáme, aby se zejména během CT vyšetření zhluboka nenadechoval. (Agrawal, 2021)

Dalšími artefakty souvisejícími s pohybem jsou standardní pohyby pacienta, jako například na obrázku 1b. Relativně časté při zobrazování hlavy a krku. Následný nesoulad CT a PET může vést k nesprávné korekci atenuace a k obtížím při lokalizaci prvků, tudíž ve finále máme špatnou kvalitu zobrazených výsledků. Pacientovi vysvětlíme, aby se uvolnil. Pomůžeme mu pochopit, proč je nutné, aby zůstal v klidu a také využijeme pomůcky vhodné k imobilizaci pacienta, které celý proces usnadní pro pracovníka i pacienta. (Agrawal, 2021)



Obrázek 1 - Artefakty při PET/CT (Agrawal, 2021, s. 9)

Artefaktem, který nelze snadno kontrolovat, je utvrzení CT rentgenového paprsku kovovou protézou, typicky v kyčelním kloubu, nebo v případě, že má pacient kovové zubní náhrady (obr. 2). Mnoho moderních systémů má algoritmy, které mohou pomoci minimalizovat tyto účinky. (Agrawal, 2021)



Obrázek 2 - Artefakt utvrzení svazku záření způsobený zubním implantátem (Agrawal, 2021, s. 10)

2.4 Hybridní systém PET/CT

Souběžně se systémy SPECT/CT byl vyvinut systém PET/CT, v němž se funkční PET snímky spojují s anatomickými CT snímky, aby bylo možné přesněji diagnostikovat lidská onemocnění. V jednotce PET/CT jsou oba skenery namontovány na společném portálu, přičemž jednotka CT je vpředu a jednotka PET vzadu, připojená k přístroji. Obvykle se jedná o opačné uspořádání než v případě SPECT/CT, kde je SPECT kamera umístěna vpředu a CT jednotka vzadu. Oba přístroje používají stejný skenovací stůl. (Saha, 2013)

Obvykle se nejprve provede CT vyšetření pacienta na skenovacím stole a v zobrazovacím poli CT. Stůl s pacientem v té stejné poloze se přesune do pole určené pro PET skeny a provede se zobrazení. Radiofarmakum ^{18}F -FDG se podává 60-90 minut před začátkem skenování a nízká intenzita fotonů s energií 511 keV neruší CT skenování, díky vysoké intenzitě CT rentgenového svazku záření. Fúze obou sad snímků se provádí pomocí softwaru. (Saha, 2013)

3 VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE CT

Úplné základy výpočetní tomografie položil už v roce 1895 W.C. Röntgen objevem paprsků X, které se dodnes používají ke klasickým rentgenovým snímkům. RTG snímky však mají určité nedostatky. Hlavní z těchto nedostatků je, že orgány jsou zobrazeny sumárně, tudíž se překrývají. Proto nejsme schopni bez pochyb poznat, kterými orgány RTG paprsek prošel.

Na tento problém se postupně začalo objevovat řešení s postupným zavedením počítačů do lékařské diagnostiky koncem 60. let. Objevitelem výpočetní tomografie se stal Brit Godfrey Newbold Hounsfield. Ovšem nezávisle na panu Hounsfieldovi díky provedení stejného zkoumání a následného objevu je připisován kredit za objev výpočetní tomografie také Američanovi Allanovi McLeod Cormackovi. Oba za jejich veliký přínos do medicíny a diagnostiky získali Nobelovu cenu. Prvním CT přístrojům trvalo zobrazit jednu vrstvu téměř 20 minut, takže výpočetní tomografie před sebou měla ještě dlouhou vývojovou cestu. Dnes současné spirální CT přístroje zvládnou celé vyšetření během pár minut. (Seidl, 2012)

Princip výpočetní tomografie se zakládá na měření absorpce svazku rentgenového záření v tenkém řezu vybrané vyšetřované oblasti těla. Přístroj CT je složen ze systému rotující rentgenky a sektoru detektorů podél obvodu kruhu CT přístroje neboli **gantry**. (Peterová, 2010)

Přístroje výpočetní tomografie dělíme podle principu, na němž jsou konstruovány, na vějířové a kruhové. Rozdíl mezi nimi je takový, že u kruhového CT rotuje pouze rentgenka a detektory jsou rozmístěny do kruhu po celém obvodu přístroje a u vějířového je to tak, že se otáčí i rentgenka i detektory. (Seidl, 2012)

Konvekční (sekvenční) CT (též inkrementové CT)

Prováděné řezy se plánují podle **topogramu**. Řezy jsou transverzální, vrstvy na sebe navazují anebo je mezi nimi mezera. Trojrozměrné rekonstrukce nejsou moc kvalitní. (Peterová, 2010)

Byla používána až do počátku devadesátých let. Je zde nutné, aby se soustava otočila o celé jedno otočení kolem pacienta a až potom se stůl s pacientem posunul o jeden řez dále a zase bylo nutné, aby udělala soustavu celou otočku. Proto nevýhoda této metody je, že je poměrně časově náročná. V současné době se již s tímto přístrojem na žádném pracovišti v ČR pravděpodobně nesetkáme. (Seidl, 2012)

Helikální (spirální) CT

Během krátkého času lze získat velký objem dat. Z těchto dat pomocí rekonstrukcí a zvolením vhodných parametrů můžeme vytvořit tolik obrazů, kolik potřebujeme. Průměrná délka vyšetření je cca. 5-10 minut. Když helikální CT porovnáme s konvenčním CT tak výrazně zkrácena délka vyšetření a je možné snímání velkého počtu vrstev s možností následných rekonstrukcí. Také redukuje pohybové artefakty. Oproti konvenčnímu CT vyšetření ale helikální CT vyžaduje vyšší dávku záření. (Peterová, 2010)

Jak jsem již zmínila, RTG snímek, jak ho známe, nám umožňuje planární – dvojrozměrnou projekci. Ovšem skutečná tkáň je obraz trojrozměrný, tudíž planární obraz sám o sobě nemusí stačit a zachycuje pouze „část“ reality. Při CT vyšetření je oblast zájmu, kterou vyšetřujeme, rozdělena na velký počet tenkých vrstev neboli řezů. Ty si potom můžeme jednotlivě prohlédnout po tenkých vrstvách. Funguje to, jako kdybychom pacienta „rozřezali“ na tenké plátky. Systém detektorů a rentgenka jsou upevněny na kruhovém prstenci, který nazýváme **gantry**, kde pomocí elektromotorku, je umožněna jejich rotace okolo pacienta na lehátku. Následným lineárním posunem pacienta na lehátku směrem do gantry vytvoříme řadu obrázků příčných řezů, které nám potom dají trojrozměrný obraz vyšetřované oblasti. (Seidl, 2012)

Kromě trojrozměrného prostorového zobrazení má CT výhodu oproti RTG snímkům v podstatně vyšším kontrastu, takže lékař je schopen rozeznat i nepatrné rozdíly v zeslabení RTG záření, pronikající pacientem a vyšetřovanou tkání. K lepší kvalitě obrazu napomáhají dále i metody počítačové rekonstrukce, filtrace obrazu a možnosti flexibilního nastavení optimální modulace obrazu (jas, kontrast). Software pro CT v počítačích má také další funkce a možnosti pro konstrukční úpravy obrazů, vytváření 3D rekonstrukce určitých struktur, a také rekonstrukce řezů i v jiných rovinách než transverzální, ve které byl pacient snímán. (Seidl, 2012)

4 RADIOFARMAKA POUŽÍVANÉ PRO PET/CT

Fluor 18 (^{18}F) je jedním z nejčastěji používaných radionuklidů emitujících pozitrony. Jeho produkce je zajištěna díky cyklotronu a jeho poločas rozpadu má hodnotu 110 minut. Nejčastěji užívaný nosič je 2-fluoro-2-deoxyglukóza neboli FDG. (Agrawal, 2021)

4.1 Produkce radionuklidů ozařováním na cyklotronech

Radionuklidy s nízkou molekulární hmotností jsou produkovány ozařováním v cyklotronech. Kladně nabitě částice se v cyklotronu urychlují elektrickým polem. Magnetické pole je orientováno kolmo na urychlující elektrické pole a využíváme ho k tomu, že stáčí dráhu urychlované částice kruhově po spirále s rostoucím poloměrem, který roste a roste, až do té chvíle, kdy částice narazí na terč specifického složení. Pomocí jaderných reakcí na terči vznikají požadované radionuklidy. Až ozařování skončí, terč je rozpuštěn v kyselině, nebo alkalickém rozpouštědle. Radionuklidy poté oddělíme různými chemickými metodami (kapalinovou extrakcí, srážením, iontovou výměnou, destilací, chromatografií atd.) (Kubynyi, 2018)

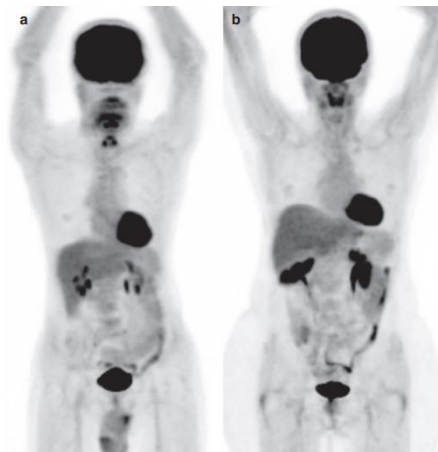
4.2 ^{18}F -FDG

^{18}F -FDG hraje velký význam při lokalizaci, charakterizaci, stanovení stadia a monitorování léčby u onkologických pacientů. Zvýšená akumulace FDG ale není specifická pro nádorové buňky. FDG se hromadí v buňkách, kde dochází k vysokému využití glukózy. Obecně je zvýšené vychytávání glukózy charakteristické pro většinu nádorových onemocnění a je částečně zprostředkováno nadměrnou expresí glukózového transportéru GLUT-1 a zvýšenou aktivitou hexokinázy. Výsledkem je zvýšená akumulace FDG v nádorových buňkách, která je vyšší než v normální tkáni. (Agrawal, 2021)

Aktivní zánětlivé procesy mohou také vést ke zvýšenému vychytávání FDG v důsledku zvýšené spotřebě glukózy aktivovanými granulocyty a mononukleárními buňkami. Vylučování FDG z krevního oběhu probíhá přes močový trakt, vylučuje se glomerulární filtrací. (Agrawal, 2021)

4.2.1 Fyziologická akumulace ^{18}F -FDG

Fyziologická distribuce ^{18}F -FDG se týká orgánů nebo tkání s vysokou mírou metabolismu glukózy. Myokard může normálně vykazovat vysoké vychytávání ^{18}F -FDG s určitou variabilitou, protože glukóza není primárním metabolickým substrátem myokardu. Vzhledem



Obrázek 3 - Fyziologická akumulace radiofarmaka ^{18}F -FDG u muže 42 let (obr. a) a u ženy 36 let (obr. b), (Calabria, 2020, str. 4)

k vysoké afinitě retikuloendotelových buněk, sleziny a kostní dřeně se obvykle vyznačují mírným vychytáváním. (Calabria, 2020)

Játra obvykle vykazují vysoký gradient vychytávání, zatímco ledviny, močovody a močový měchýř jsou obvykle vizualizovány při zobrazování PET, a to v důsledku vylučování stopové látky ledvinami. Určitý stupeň cévní aktivity lze pozorovat také, zejména při časném zobrazování, v mediastinálních cévních strukturách nebo v ilických tepnách. (Calabria, 2020)

Dalšími místy s mírným vychytáváním jsou slinné a slzné žlázy, slinivka břišní, žaludek a díky peristaltické aktivitě střevní kličky. Mezi některé fyziopatologické rysy biodistribuce ^{18}F -FDG je třeba především zvážit možnost difúzního homogenního vychytávání v kostní dřeni, které obvykle odráží hyperplastickou kostní dřeň, kterou lze dokumentovat u pacientů podstupujících chemoterapii. (Calabria, 2020)

5 NEMOC SARKOIDÓZA

5.1 Historie nemoci

Nemoc sarkoidóza byla ze začátku považována za formu tuberkulózy. Samostatnou nemocí se stala v 80. letech s postupným vývojem moderní medicíny. Od této doby je sarkoidóza popisována jako systémové granulomatózní onemocnění neznámé etiologie s akumulací imunokompetentních buněk (T lymfocytů a makrofágů) v místě, kde je aktivní zánět. Tato nemoc může zasáhnout v podstatě jakýkoliv orgán, ale převládajícím orgánem výskytu jsou plíce. (Kolek, 2019)

Postupy poznávání a získávání informací o sarkoidóze sahají až do konce 19. století. O první zmínce příznaků sarkoidózy můžeme uvažovat, když se objevují prvotní zápisy lékaře Hutchinsona. První pacient měl kožní léze na rukou, revmatismus a nefrolitiázu. Tento pacient byl vyšetřen v roce 1869. Do roku 1900 byly publikovány další dva případy o pacientech s podobnými příznaky. Až do roku 1909 mnoho lékařů popsalo další takové příznaky, kdy je lékaři nepřihradili k sarkoidóze, ale např. Besnier v roce 1889 zaznamenal kožní afekce a pojmenoval je lupus pernio de la face: synovites fongueuses. (Kolek, 2019)

První přesný popis nemoci sarkoidóza je přiznán Boeckovi v roce 1897. Z počátku byly příznaky popsány jako mnohočetný benigní kožní sarkoid. Na začátku 20. století byly od různých lékařů byly popsány jednotlivé příznaky nemoci na jiných orgánech, např. Osler v roce 1898 zmiňoval postižení slzných žláz a štítné žlázy, Kienbock roku 1902, Kreibich 1904 a Jüngling kostní změny, Darier a Rousy v roce 1906 podkožní uzly, Heerford uvedl příznaky uveitidy, což je syndrom uveoparotidéální horečky, v roce 1909. (Kolek, 2019)

Důležité je také poznamenat, že jeden z nevíce četných příznaků sarkoidózy nodózní erytém, byl charakterizován Willanem už v roce 1808, ale bez jakékoliv návaznosti k nemoci sarkoidóza. (Kolek, 2019)

Sven Löfgren (1910-1978) se narodil ve Stockholmu. Během jeho lékařského vzdělání se dostal pod křídla k učení Westergreena a Schaumanna. Byl to Löfgren, kdo získal tkáňové biopsie a propojil nodózní erytém, kožní projev původně popsany Robertem Willanem, a bilaterální hilární adenopatii jako projev akutní sarkoidózy. (Mitchell, 2012)

Kombinace nodózního erytému a hilové adenopatie je nyní známý jako **Löfgrenův syndrom**. Také popsal, že další přidružené nemoc je hyperkalcémie. Logfgren tvrdil, že sarkoidóza je

odlišná a nesouvisí s tuberkulózou. Tímto tvrzením vytáhl sarkoidózu ze stínu tuberkulózy a vynesl ji do centra pozornosti jako běžnou diagnózu s dobrou prognózou. (Mitchell, 2012)

Schaumann byl ten, který otestoval myšlenku, že se jedná o systémové onemocnění. Za toto odhalení obdržel Zambacovu cenu v roce 1914. Samotné pojmenování nemoci sarkoidózy pochází od Huntera, kdy nemoc pojmenoval v roce 1936. (Kolek, 2019)

V roce 1942 Peter Kerley ve Velké Británii zaznamenal v oboru radiologie propojení nodózního erytému a bilaterální hilové adenopatie u sarkoidózy. (Mitchel, 2012)

V roce 1958 vyvinul profesor Wurm radiologický staging plicní sarkoidózy založené na RTG snímcích plic a hrudníku. Systém byl přijat a volně používán klinickými výzkumy po celém světě až do objevu se počítačové výpočetní tomografie (CT), která odhalila omezení a limitace prostého RTG snímku plic a hrudníku. CT dokáže detekovat mediastinální a hilové lymfatické uzliny, které nejsou vidět na RTG snímku. CT s vysokým rozlišením je užitečné, když je přítomno onemocnění plicního parenchymu. (Mitchell, 2012)

5.1.1 The Royal Northern Hospital's Sarcoidosis Clinic, Londýn

Podněcován studiemí Boeckea a Schaumanna a spousty ostatních na evropském kontinentu, mnoho Britských lékařů začalo zkoumat a studovat nemoc ze všech možných úhlů. Nikdo nebyl vlivnější a znalejší než profesor John Guyet Scadding, který byl podněcován, aby zkoumal sarkoidózu, Isidorem Snapperem, profesorem Klinické medicíny na Amsterdamské univerzitě. (Mitchel, 2012)

Scadding upevnil jeho rozsáhlé osobní zkušenosti s nemocí nashromážděné v nemocnicích Hammersmith a Brompton Chest hospital, nyní Royal Brompton, v široce uznávané knize Sarkoidóza, poprvé vydané v roce 1967. (Mitchell, 2012)

V Hammersmith Hospital v Londýně spolupracoval Scadding se Sheilou Sherlock (později Dame Sheila) na studii aspirační jaterní biopsie u sarkoidózy. Test se stal nejcennějším nástrojem pro diagnostiku sarkoidózy a zůstal tak po celá desetiletí, než byl nahrazen bronchoskopií. (Mitchell, 2012)

5.2 Současná fáze nemoci

Za start této fáze můžeme považovat dobu, kdy se na nemoc začalo dívat jako na kompartmentalizovanou imunitní reakci. Tento pohled na nemoc vysvětlil hyperreaktivitu imunitních buněk v místě zánětu a také jejich nedostatek v krevní periferii. (Kolek, 2019)

Od 50. let minulého století se pravidelně konají mezinárodní akce, kde se sdělují nové poznatky a výzkumy týkající se sarkoidózy. Za založení těchto akcí má zásluhy především David Geraint James. Jeho společníkem byl Giafranco Rizzato, kdy tito dva muži byli důležitými osobnostmi WASOG (World Association of Sarcoidosis and Other Granulomatous Disorders), které bylo založeno v Miláně roku 1987. Aktuálním předsedou je Dan Culver. (Kolek, 2019)

5.3 Obecná charakteristika nemoci

Sarkoidóza je systémové onemocnění neznámé příčiny charakterizované granulomatózním zánětem. V patogenezi sarkoidózy hrají významnou roli jak genetické predispozice, tak faktory prostředí. To se odráží ve skutečnosti, že sarkoidóza se vyskytuje nejčastěji v těch orgánech, kde je vnitřní biologické prostředí v úzkém kontaktu s vnějším prostředím: kůže, oči a dýchací cesty. (Wuyts, 2019)

V průběhu nemoci nastávají značné imunologické odchylky. Jejich mechanismy jsou zatím nejasné, ale jejich patogenetický význam je významný. Z imunologického hlediska můžeme sarkoidózu popsat jako abnormální imunitní reakci na nepoznanou lidskému tělu škodlivou látku antigenní povahy. (Kolek, 2019)

Výskyt sarkoidózy je před dosažením dospělosti poměrně vzácný. Onemocnění se obvykle projevuje před dosažením 40 let, nejvíce u věkové kategorie 20 až 29 let. Druhý častý výskyt je po 50. roce života zejména u ženského pohlaví. Celkově je onemocnění o něco častější spíše u žen než mužů. (Judson, 2014)

Epidemiologická zjištění naznačují, že se zvýšeným výskytem sarkoidózy jsou spojeny specifická povolání, jako jsou profese spojené se zemědělstvím v širším okruhu (např. chov drůbeže, pěstování bavlny, gumárenské továrny, výroba pesticidů). (Wuyts, 2019)

Další také povolání, kde může dojít k expozici bioaerosolům, např. v profesním prostředí s plísněmi, vlhkostí a vodou (např. hasiči). (Wuyts, 2019)

Stejná pozorování byla zaznamenána u pracovníků ve stavebnictví (zejména pokud jde o demolice), v leteckém a kosmickém průmyslu, v keramickém průmyslu a v automobilovém průmyslu. Tyto souvislosti jsou do jisté míry potvrzeny důkazy, že granulomatózní plicní onemocnění může souviset s expozicí kovovým látkám (např. zirkoniu, hliníku, chromu, kobaltu), stejně jako oxidu křemičitému a anorganickému prachu. (Wuyts, 2019)

Až na vzácné výjimky jsou klinicko-radiologické nálezy bez histologického průkazu granulomatózního zánětu **nedostatečné** pro konečné stanovení diagnózy sarkoidózy.

Histologický důkaz granulomatózního zánětu je také nedostatečný a neadekvátní pro diagnózu sarkoidózy, protože je třeba vyloučit alternativní příčiny granulomatózního zánětu. (Judson, 2014)

Je rozumné udržet jakýsi jistý zdravý stupeň skepticismu, že byla přehlédnuta alternativní diagnóza. Skutečnost, že onemocnění můžeme nazývat „multisystémové“ znamená, že musí existovat důkazy o granulomatózním zánětu v alespoň dvou orgánech pro bezpečnou diagnózu sarkoidózy. (Judson, 2014)

Jelikož je sarkoidózu poměrně těžké diagnostikovat, tak by pacienti měli být dotazováni na možné expozice, které mohou způsobit onemocnění, které mohou sarkoidózu napodobovat. Konkrétně by měla být zjištěna anamnéza aktivní tuberkulózy, latentní tuberkulózní infekce a expozice tuberkulóze. Pacienti by měli být dotázáni na dobu strávenou v oblastech, kde se endemicky vyskytují určité plísňe, jako je údolí řeky Ohio, kde je běžná histoplazmóza a měla by být prozkoumána možnost expozice berylliu, protože chronická beryliová nemoc (CBD) může rentgenologicky a histologicky napodobovat sarkoidózu. (Judson, 2014)

CBD byla až ve 40 % případů chybně diagnostikována jako sarkoidóza. Vzhledem k tomu, že většina pacientů si není vědoma možné expozice berylliu, je důležité se ptát na pracovní odvětví, kde je expozice berylliu pravděpodobná, včetně leteckého průmyslu, jaderných zbraní, elektroniky, šperků, sportovního zboží, keramiky a zubního lékařství. Navíc i minimální expozice berylliu může vést k závažnému onemocnění. (Judson, 2014)

Hypersenzitivní pneumonitida (HP) je granulomatózní plicní onemocnění vznikající v důsledku expozice bioaerosolům, které může napodobovat sarkoidózu. (Judson, 2014)

5.4 Diagnóza sarkoidózy

Škála syndromů a symptomů sarkoidózy je velice rozsáhlá a proniká do nejrůznějších lékařských oborů. Změny na plicích bývají u této nemoci nejčastější, pacienti jsou obvykle léčeni pneumonology nebo jsou často pneumonologové konzultováni ohledně postupu léčby. Mezi nejčastější projevy sarkoidózy patří **Loffrenův syndrom**, poškození plicního intersticia, zvětšení uzlin a kožní a oční změny. (Kolek, 2019)

Epidemiologické průzkumy ukázaly, že téměř polovina případů sarkoidózy se vyskytuje u asymptomatických pacientů, u nichž byl granulomatózní zánět zjištěn náhodně. Tyto případy jsou často založeny na zjištění zvětšených hilových/mediastinálních lymfatických uzlin při vyšetření zdravotního problému, který s nimi nesouvisí. Mezi nejčastěji postižené orgánové

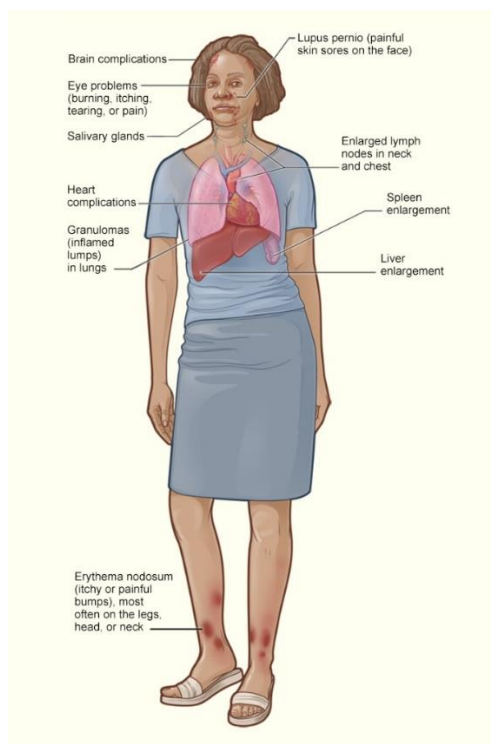
systemy patří dýchací cesty (95 % případů), kůže (16 %), lymfatické uzliny (15 %), oko (12 %), játra (11 %) nebo kombinace více lokalizací. U symptomatických pacientů jsou u plicní sarkoidózy běžné kašel, dušnost, nepříjemné pocity na hrudi a horečka. (Wuyts, 2019)

Charakteristickým znakem u sarkoidózy jsou zánětlivé změny v parenchymu postižených orgánů, jež se seskupují do nenekrotizujících neboli nekaseifikujících epitelooidních granulomů tzv. **sarkoidního druhu**. Granulomy se nejčastěji nacházejí perilymfaticky, zasahují někdy i do malých a větších bronchů. (Kolek, 2019)

Granulomy jsou složeny z agregace makrofágů, kdy se část z nich přemění do podoby epitelooidních buněk. Makrofagické centrum je obestoupeno lemem mononukleárních leukocytů, hlavně lymfocytů a plasmocytů. V podstatě se jedná o příčiny infekční, chemické, imunologické nebo nádorové. V řadě onemocnění, kdy se objevují granulomy z dosud nepoznaných důvodů, sarkoidóza v tomto seznamu určitě není osamocena. (Kolek, 2019)

Postižení mediastinálních lymfatických uzlin je významným a pravděpodobně brzkým rysem sarkoidózy. Folikulární architektura lymfatických uzlin je často zcela zastíněna četnými nenekrotizujícími granulomy. I v plicích lze pozorovat mnoho takových granulomů. Obvykle se vyskytují roztroušeně v jinak nevýrazné plicní tkáni, obvykle jsou omezeny na intersticia a jen zřídka zasahují vzduchové prostory. Mohou být tak početné, že se stávají srostlými, a vzácně se mohou vyskytovat velké masy sarkoidní tkáně, tzv. nodulární tkáně, nebo může nastat konglomerátní forma sarkoidózy. (Mitchell, 2012)

Diagnóza sarkoidózy je částečně založena na vyloučení alternativních granulomatózních procesů, přičemž neexistuje žádný vysoce specifický diagnostický test. Takovýto vylučovací diagnostický proces je potenciálně chybný a ve vědomí je potřeba myslet na to, že diagnózu bude třeba nutně přehodnotit. (Wuyts, 2019)



Obrázek 4 - Příznaky sarkoidózy (National Heart, Lung and Blood Institute, 2021)

Pokud se objeví atypické znaky, jako jsou klinické znaky naznačující infekci nebo důkaz expozice prostředí, diagnózou je neoplazie. Kromě toho je značná část pacientů diagnostikována s plicní sarkoidózou na základě radiologických abnormalit bez jakýchkoli klinických příznaků onemocnění, což může vést k přehnaně špatné diagnóze. (Wuyts, 2019)

Pokud jsou nekaseifikující granulomy zjištěny v jedné lokalitě bez klasických klinických příznaků sarkoidózy, je třeba vyloučit potenciální diferenciální diagnózy (např. mykobakteriální nebo plísňovou infekci, hypersenzitivní pneumonitidu, běžnou variabilní imunodeficienci, lymfoproliferativní poruchu, pneumokoniózu). V každém případě je třeba pečlivě zvážit nutnost histopatologického potvrzení diagnózy. U jasně definovaných klinických syndromů (např. Heerfordtův a Löfgrenův syndrom) není histopatologické potvrzení nutné. (Wuyts, 2019)

To platí i pro mnoho asymptomatických pacientů se zvětšenými bilaterálními hilovými/mediastinálními lymfatickými uzlinami. Tyto příznaky byly pravděpodobně náhodně zjištěny při rentgenovém vyšetření hrudníku a není u nich nutná léčba: v takových případech je vyhnout se invazivnímu diagnostickému postupu s potenciálním rizikem zcela oprávněné, i když je nutné pečlivé sledování. (Wuyts, 2019)

U ostatních pacientů s klinickými a CT příznaky vysoce nasvědčujícími sarkoidóze by měla být předpokládána diagnostická hodnota histopatologie vyvážena diagnostickou přesností před testem, potenciálními terapeutickými důsledky, procedurálními riziky a preferencí pacienta. Pokud lze s vysokou jistotou stanovit předběžnou klinickou diagnózu sarkoidózy, mělo by být přání informovaného pacienta upustit od diagnostického postupu zohledněno a podpořeno. Pak je však povinností poskytovatelů zdravotní péče zavést pečlivé sledování s přehodnocením potřeby histologického vyšetření, kdykoli je průběh onemocnění atypický. (Wuyts, 2019)

5.5 Faktory výskytu sarkoidózy

Faktorů, které ovlivňují výskyt sarkoidózy, je ovšem mnohem více, uvedu jen pár z nich.

Klima

Sarkoidóza má tendenci se vyskytovat v mírných a chladnějších klimatických podmínkách. Tato skutečnost vzešla z faktu, že v severní části Itálie a Japonska se nemoc vyskytovala čteněji než v jižních oblastech těchto zemí. Výskyt sarkoidózy je minimální v tropických a arktických oblastech. (Kolek, 2019)

Pohlaví

Ve výsledku převážné části vědeckých studií se prokázalo, že sarkoidóza postihuje nejčastěji ženy. Některé studie uvádějí dokonce poměr 2:1 ke mužskému pohlaví. Ve výzkumu ACCESS prováděném v USA byly u žen vyzorovány více často oční a neurologické potíže, pocit únavy a nodózní erytém. (Kolek, 2019)

Roční období

Přítomnost nodózního erytému bývá specifická pro jaro a začátek léta. Ve studii ze Španělska byly případy nodózního erytému v dubnu až červnu až čtyřikrát větší než v ostatních měsících. (Kolek, 2019)

Socioekonomické vlivy

Nějaké studie popisují čtenější výskyt případů sarkoidózy u obyvatel venkova a zemědělců. Obdobné informace se objevily ze studie Hosoda a spol., kdy zaznamenali spojitost se sarkoidózou s písečnými nebo jílovými půdami, borovicovými lesy, ale i při topení dřevem v kamnech nebo krbech. Ve vztahu k povolání a zvýšeným rizikem sarkoidózy se často zmiňují profese ve zdravotnictví, a především během profesního působení v požárnických a záchranářských sborech. (Kolek, 2019)

Kouření

Turecko je země s vysokým zastoupením kuřáků. Paradoxně kuřáci tvoří jen 26,6 % nemocných se sarkoidózou. Ve všech skupinách nemocných se sarkoidózou kuřáci tvoří vždy jen malé procento. Tento prapodivný fakt není nikde vysvětlen, ale je podložený fakt, že kouření (nikotin v něm) má imunomodulační vlastnosti a tlumí sekreci IL-1 alveoárními makrofágy. Je uvedeno, že sarkoidóza u kuřáků má lehčí průběh, není dokázáno, že má sarkoidóza vliv na vývoj sarkoidózy. (Kolek, 2019)

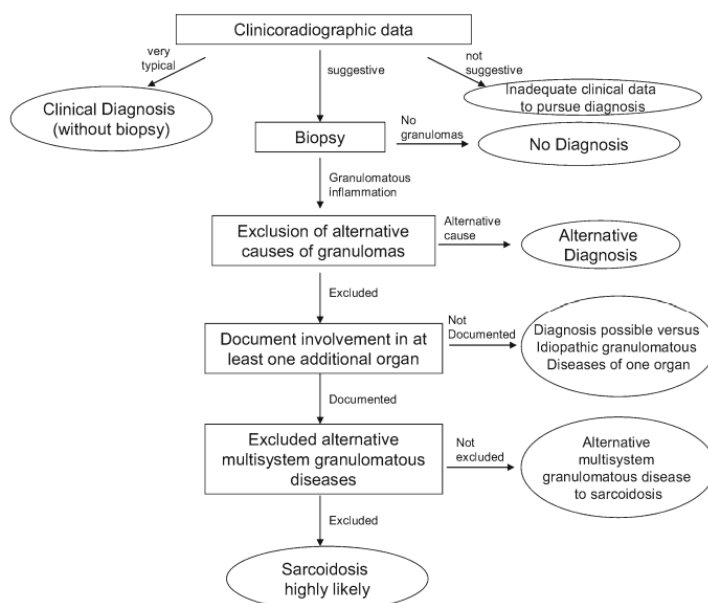
Obezita

Především u žen, může být obezita jedním z rizikových faktorů výskytu sarkoidózy. Dvě obsáhlé americké studie, Cozier z roku 2015 a Dumas z roku 2016, amerických žen, jenž se účastnilo 59 000 Afroameričanek a 116 430 bělošek, obezita a nadváha byly propojeny s vyšším rizikem výskytu sarkoidózy. U žen tmavé pleti to bylo zvýšené riziko o 40 procent a u žen bílé pleti o překvapivě až o 70 procent. (Kolek, 2019)

6 VYŠETŘOVACÍ METODY DIAGNÓZY SARKOIDÓZY

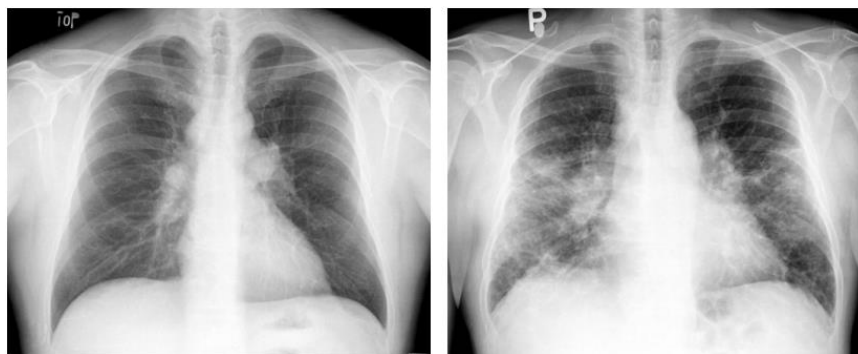
Vzhledem k tomu, že nemoc sarkoidóza je poměrně mnohotvárné onemocnění a jeho příznaky jsou nespecifické je průměrná délka od prvních příznaků po stanovení diagnózy asi tři měsíce. Jsou nutné tři až šest návštěv zdravotních zařízení.

Pořád se hledají nové postupy, jak diagnostikovat sarkoidózu, jasně a prokazatelně, bez zdoluhavých procesů. Bohužel zatím žádný jednoznačný biomarker, co by prokazoval diagnózu neexistuje. Někdy je možnost provedení biopsie. Není nutná, ale obecně je doporučována. Pro správnou diagnózu sarkoidózy je nutný průkaz multisystémové nemoci, to znamená důkaz, že minimálně ve dvou orgánech je přítomen granulomatózní zánět. (Kolek, 2019)



Obrázek 5 - Postup při diagnostice sarkoidózy (Judson, 2014, s. 2)

Vhodným základním vyšetřením pro stanovení diagnózy a také pro určení stádia onemocnění je skiagram hrudníku. Můžeme na něm rozlišit pět stádií sarkoidózy. (Žurková, 2020)



Obrázek 6 - stadium I a II (Žurková, 2020, s. 242)

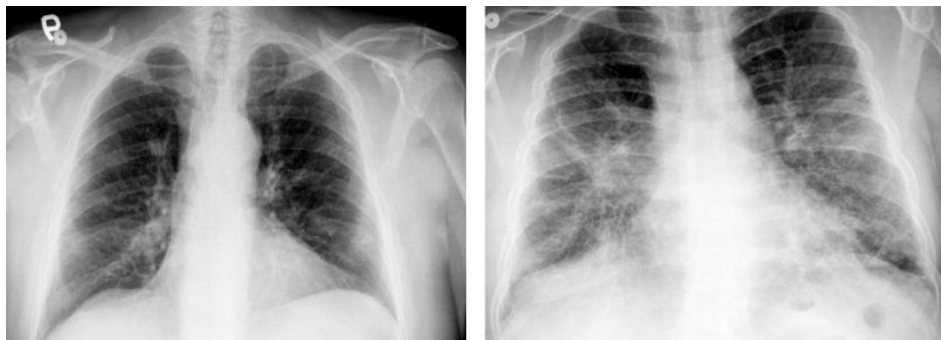
Na obrázku č. 3 můžeme vidět první dvě stádia sarkoidózy. Existuje i stádium 0, kdy je nález normální a pacient nemá žádné viditelné obtíže. Je ovšem ale možné, že pacient by mohl mít mimoplicní formu sarkoidózy.

Stadium I

Bilaterální hilová lymfadenopatie (BHL) se projevuje v symetrickém polycyklickém zvětšení hilových uzlin (obr. 3 vlevo). Během transformace do chronické formy se mohou objevovat kalcifikace umístěné ve stínu uzlin.

Stadium II

Na obrázku 3 vpravo můžeme vidět sarkoidózu ve druhém stadiu. BHL stále přetrvává a připojuje se i postižení plicního parenchymu. Nejčastěji jsou to retikulonodulace převážně perihilózně ve středních a horních plicních polích. Občas je možné sledovat přechod z prvního do druhého stadia. Zvětšené lymfatické uzliny se zmenšují a zvyrazňují se změny v parenchymu plic. (Žurková, 2020)



Obrázek 7 - stadium III a IV (Žurková, 2020, s. 243)

Stadium III

Změny jsou zde viditelné pouze v plicním parenchymu, bez zvětšení nitrohručních uzlin (obr. 4 vlevo).

Stadium IV

Změny, které můžeme vidět v plicním parenchymu na obr. 4 vpravo se podobají a mají charakter plicní fibrózy. Mediastinum je rozšířené, vytváří se buly. Dochází k defiguraci cév, bronchiectazii a splývavým zastíněním. Stadium IV je někdy spojeno s dušností, kašlem. K nim se mohou přidat plicní infekce, hemoptýza a rozvoj respirační insuficience s plicní hypertenzí. (Žurková, 2020; Kolek, 2019)

Výjimečným a vzácným obrazem je voštinovitá plíce. Je možný výskyt velkých až tumoriformních uzlů, atelektázy, migrujících infiltrátů nebo dutinových útvarů. Méně často bývá zasažena i pohrudnice, kde se tvoří výpotky. (Žurková, 2020)

Útěk do plic

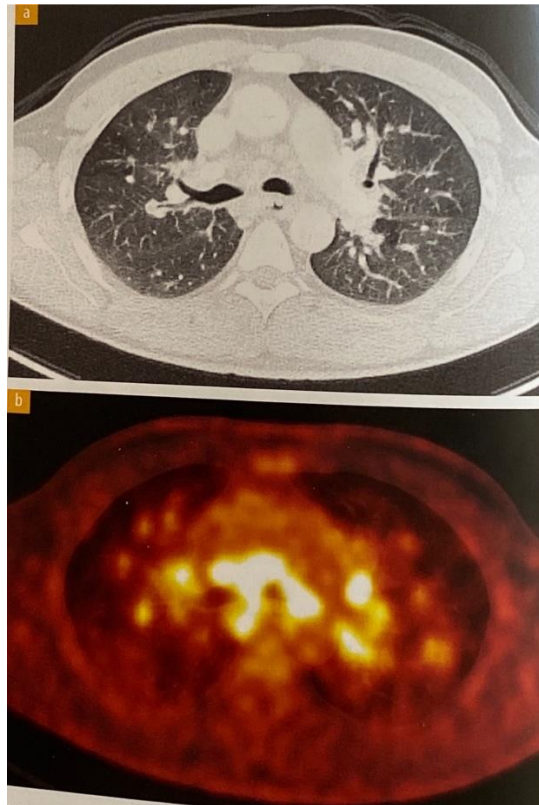
Jedním z jednoznačně diagnostických jevů je tzv. útěk do plic. Nastává, když na RTG snímku hrudníku vidíme symetrické zmenšování původně zvětšených uzlin s postupným narůstáním parenchymatózních změn. Plicní hily se potom mohou jevit jako neostře ohraničené, mlhovitého vzhledu s rozvlákněným směrem do okolí.

Vyšetření hrudníku pomocí výpočetní tomografie je vysoce citlivá technika pro rozeznání jemných parenchymových abnormalit, které nejsou viditelné na RTG snímku hrudníku. Také lépe odhalí jinak skryté zvětšení mediastinálních lymfatických uzlin. Optimální zobrazení plicního parenchymu dosáhneme při vysokém rozlišení a CT řezech o velikosti 1-1.5 mm. (Mitchel, 2012)

6.1 Využití PET/CT pro pacienty se sarkoidózou

Pozitronová emisní tomografie (PET) hraje stále důležitější roli v diagnostice a určování stadia mnoha onemocnění. Tkáň postižená sarkoidem vykazuje zvýšené vychytávání fluorodeoxyglukózy (FDG), které lze hodnotit vizuálně i kvantitativně. Postižené lymfatické uzliny mohou vykazovat zvýšené vychytávání, i když nejsou zvětšené na snímcích vyšetření CT. Uzliny a tkáň, které vykazují zvýšenou aktivitu FDG, pak lze cíleně odebrat. (Mitchel, 2019)

Jelikož PET/CT vyšetření je v dnešní době velmi dobře dostupné v ČR PET/CT s F^{18} -FDG postupně nahrazuje vyšetření s ^{67}Ga -citrátem. Typickým projevem sarkoidózy je lymfocytární alveolitida a také případný rozvoj fibrózních změn. Ten je spojen s aktivací fibroblastů. Při těchto aktivních procesech se aktivují glukózové transportéry, čehož právě využíváme při vyšetření PET/CT. (Koranda, 2019)



Obrázek 8 - Aktivita zánětlivých procesů v nodulách, plicích a v lymfatických uzlinách mediastina při vyšetření PET/CT (Koranda, 2019, s. 192)

Sarkoidóza plic a mediastinálních uzlin

Častými lokalizacemi u sarkoidózy jsou hilové a mediastinální lymfatické uzliny a také plicní parenchym. Díky PET/CT vyšetření s F^{18} -FDG můžeme vyhodnotit, jestli je zánětlivý proces v lymfatických uzlinách mediastina a plicních hilů aktivní a taky zda je aktivním zánětlivým procesem postižen i plicní parenchym. PET/CT vyšetření můžeme také využít u pacientů se sarkoidózou ve IV stadiu s fibrózními plicními změnami. (Kolek, 2019)

Vyšetření s F^{18} -FDG se provádí hlavně pro posouzení mimoplicních lézí a k vyhodnocení postupu sarkoidózy, ne k stanovení diagnózy. Negativem F^{18} -FDG je, že nerozeznáme sarkoidózou postižené uzliny od maligního procesu. (Kolek, 2019)

Mimoplicní sarkoidóza

Díky tomu, že PET/CT vyšetření s F^{18} -FDG běžně vyšetřujeme celotělově, zobrazíme i mimoplicní lokalizace aktivní sarkoidózy. Nejvíce efektivní je tato metoda při odhalování postižení srdce, jater a sleziny, retroperitoneálních uzlin, kostí a kostní dřeně. (Kolek, 2019)

Hlavními indikacemi pro vyšetření PET/CT jsou:

- a) pokud jsou na RTG snímku plic známky plicní fibrózy, je nutné udělat PET/CT vyšetření a zánětlivou aktivitu posoudit
- b) hodnocení zánětlivé aktivity u pacientů s chronickou sarkoidózou a přetrvávajícími symptomy při negativitě sérologických markerů
- c) hledání mimohrudních lokalizací aktivních procesů sarkoidózy
- d) specifikace místa aktivního procesu pro biopsii
- e) u pacientů s implantovanými pacemakery, je nutné cílené posouzení sarkoidózy srdce

Specifická příprava pacienta k PET/CT vyšetření s F¹⁸-FDG u pacientů se sarkoidózou

Když je indikováno PET/CT s F¹⁸-FDG u onkologických pacientů, fyziologická akumulace radiofarmaka zahrnuje v různé míře i myokard. Kdyby neexistovala speciální příprava pro pacienty se sarkoidózou, nebylo by možné odlišit fyziologickou akumulaci od případného ložiska aktivní sarkoidózy v myokardu. Proto je nutné klasickou přípravu na vyšetření PET/CT rozšířit. (Kolek, 2019)

Nejdůležitější krok v specifické přípravě je dodržení diety bohaté na tuky s co největším omezením cukrů a škrobů. Je to nutné protože, cílem této diety je, aby volné mastné kyseliny nahradily glukózu, jako zdroj energie pro myokard. Tímto krokem redukuje fyziologickou akumulaci radiofarmaka F¹⁸-FDG v myokardu. Ideální doba dodržení této diety je 3 dny před vyšetřením, avšak minimální doba je 24 hodin. Po dobu 12 hodin před vyšetřením je nutné lačnit. (Kolek, 2019)

V neposlední řadě se provádí i podání nefrakcionovaného heparinu, který aktivuje sérovou lipoproteinovou lipázu ke zvýšení FFA (Free Fatty Acids neboli volné mastné kyseliny). Toto zvýšení nám opět pomůže k tomu, aby se v myokardu potlačilo vychytávání glukózy. Protokol podání injekce heparinu 15 minut před podáním radiofarmaka F¹⁸-FDG je 50 IU/kg. (Toyama, 2020)

Heparin je však kontraindikován u pacientů se sklonem ke krvácení. Je potřeba dbát na prevenci výskytu heparinem indukované trombocytopenie (HIT). Incidence HIT se uvádí v rozmezí od 0,5 % do 5 %. (Toyama, 2020)

I při vyšetření PET/CT s F^{18} -FDG u pacientů se sarkoidózou je nutné dodržet obecné pokyny pro přípravu na toto vyšetření. Pacienti by se měli vyhnout konzumaci jídla a slazených nápojů minimálně 6 hodin před vyšetřením (tj. před aplikací F^{18} -FDG). Pro pacienty to znamená, že když vyšetření má naplánováno na ranní hodiny, nejlépe od půlnoci a večer si dá jen lehkou s malým množstvím sacharidů. Pokud má pacient daný čas vyšetření spíše v odpoledních hodinách, je povolena lehčí snídaně, ale je nutné dodržet těch 6 hodin před vyšetřením lačnění. Svoje léky si může pacient vzít podle předpisu. (Kolek, 2019)

Pacienti by měli být dostatečně hydratováni, aby se snížila koncentrace FDG v moči. To pomůže ke snížení dávky záření a ke zmenšení možnosti výskytu artefaktů. Pití čisté vody je povolené a doporučeno je vypít 1 litr vody během 2 hodin před vyšetřením. Do tohoto 1 litru je nutné započítat i perorálně podávanou kontrastní látku. (Kolek, 2019; Toyama, 2020)

Také je doporučeno, aby se pacient vyhýbal v období nejméně 2 dny před vyšetřením, a to z toho důvodu, aby se FDG neakumulovalo ve svalech. (Kolek, 2019)

Celá tato složitá a přísná příprava pacientů vede k tomu, aby pacienti měli nízkou hladinu glykémie. Také je důležitá nízká hladina inzulínu, protože zvýšená hladina inzulínu vede k nechtěné akumulaci glukózy v netumorózních tkáních. Vyšetření PET/CT s F^{18} -FDG je nelze provést, když má pacient hladinu glukózy vyšší než 11-13 mmol/l. Glykémie se pacientům měří těsně před podáním radiofarmaka F^{18} -FDG na aplikační místnosti. (Kolek, 2019)

7 RADIAČNÍ OCHRANA NA ODDĚLENÍ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

7.1 Principy a cíle radiační ochrany

Základním cílem radiační ochrany je vyloučit deterministické účinky a snížit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na společensky přijatelnou míru.

Princip zdůvodnění

Je důležité, aby byly důsledně zváženy benefity pro ozářeného pacienta nebo společnost při použití jakékoliv metody spojené s ozářením pacienta nebo ionizujícím zářením. Je nutné, aby benefity vyvážily újmy způsobené ozářením. Takže když vezmeme konkrétní příklad, například radiodiagnostický výkon s použitím ionizujícího záření na pacienta, které způsobuje určitou újmu a je škodlivé, mělo by z tohoto výkonu vzejít pro pacienta pozitivní benefit, např. zlepšení stavu nemoci (při intervenčních výkonech) nebo diagnostika pacientova stavu. Před provedením samotného vyšetření by se mělo zvážit, zda nelze náhodou získat požadovanou diagnostickou informaci bez použití ionizujícího záření, např. využít ultrazvuk nebo magnetickou rezonanci. Pokud nelze využít ani jednu tuto metodu, je nutné, aby lékař, co indikuje vyšetření stanovil indikaci, proč je nutné použít vyšetření s ionizujícím zářením. (Súkupová, 2018)

Princip optimalizace

Jeho cílem je zajištění toho, aby velikost individuálních dávek, počet jednotlivců vystavených ozáření a pravděpodobnost ozáření byly na co nejnižší úrovni. Je ale nutné vzít v potaz hospodářské a sociální faktory. Řídíme se podle principu ALARA, který je zkratkou pro „As Low As Reasonably Achievable“. Tento princip nám říká, že dávka má být tak nízká, jak je to rozumně dosažitelné s ohledem na sociální a hospodářské faktory. Částí principu optimalizace je i zavedení, používání a pravidelná kontrola diagnostických referenčních úrovní (DRÚ). Diagnostické referenční úrovně nám určují úrovně dávek v lékařských radiodiagnostických nebo intervenčních výkonech pro skupiny standartních pacientů pro obecně definované typy přístrojů. Pokud jsou DRÚ často překračovány je důležité prošetřit příčinu, protože pacienti jsou vystaveni nepřiměřeně vysoké radiační zátěži. (Súkupová, 2018)

Princip limitování dávek

Lékařské ozáření nepodléhá limitům, tudíž nejsou stanoveny dávkové limity pro ozáření pacientů. Zavedení limitů pro lékařské ozáření by totiž značně omezovalo možný zdravotní přínos pro konkrétního pacienta. Pracovníci v lékařství už mají limity pro ozáření, stejně jako radiační pracovníci. Limity jsou uplatňovány pro obecnou populaci, pro studenty a pro pracovníky se zářením. (Súkupová, 2018)

Princip bezpečnosti zdrojů

Tento princip nám říká, že je nutné, aby všechny zdroje ionizujícího záření byly pravidelně kontrolovány, hlavně kvůli ověření stability a spolehlivosti daného zdroje. **Přejímací zkouška** je provedena před prvním použitím RTG systému, pomocí **zkoušek dlouhodobé stability** a **zkoušek provozní stálosti** se pravidelně kontrolují parametry přístrojů. (Súkupová, 2018)

7.2 Deterministické účinky

Deterministické účinky mají svoji tzv. **prahovou dávku**. Právě překročení této dávky je podmínka toho, že se deterministické účinky projeví. Čím větší obdržená dávka je, tím závažnější jsou následné účinky. Mezi deterministické účinky můžeme zařadit poškození kůže, kataraktu, neplodnost, akutní radiační syndrom a poškození plodu u gravidních žen. Ovšem deterministické účinky nemají tak četný výskyt v běžné RTG diagnostice, vyskytnout se mohou u pacientů např. po komplikovaných intervenčních výkonech nebo u lékařů provádějících dlouhodobě intervenční výkony. (Súkupová, 2018)

7.3 Stochastické účinky

Stochastické účinky mají za následek poškození buňky DNA. Při interakci DNA s ionizujícím zářením vznikají zlomy DNA, jednoduché zlomy nebo dvojnásobné zlomy, poškození bází, cross-linky na DNA, lokální denaturace DNA a jiné, někdy také mohou nastat kombinace těchto poškození. Stochastické účinky nemají žádnou prahovou dávku, jsou charakterizovány náhodným charakterem. To znamená, že nelze říct u kterého jedince ze skupiny ze stochastické účinky projeví, můžeme pouze určit pravděpodobnost. Pravděpodobnost stochastických účinků narůstá lineárně s rostoucí dávkou, ovšem závažnost poškození není závislá na velikosti dávky. Výskyt těchto stochastických účinků nelze zamezit zavedením limitů, ovšem můžeme jejich výskyt omezit na minimální pravděpodobnost při dodržování pravidel radiační ochrany a dávky na tak nízkých úrovních, jak je to možné. (Súkupová, 2018)

Mezi nejčastější stochastické účinky můžeme zařadit onkogenní účinky (leukémie nebo tumory) a genetické změny, ty vznikají na základě změny DNA, které mohou vést někdy až k mutaci nebo maligní transformaci. **Dobou latence** nazýváme periodu mezi ozářením a manifestací stochastických účinků. U leukémie je doba latence 5-10 let, u tumorů je to až 15-25 let. (Súkupová, 2018)

7.4 Diagnostické referenční úrovně

Jsou to úrovně dávek nebo úrovně aplikované aktivity používané při diagnostických výkonech při použití lékařského ozáření. Jsou nastavené a spočítané na dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg. Počítá se s tím, že jsou použity standardní postupy a správná praxe.

Rozeznáme dva druhy, místní a národní DRÚ. **Místní DRÚ** se stanovují jako průměrná hodnota z typických dávek z jednotlivých přístrojů anebo vyšetřoven. **Národní DRÚ** se určuje jako třetí kvartil místních DRÚ.

Tyto diagnostické referenční úrovně využíváme pro management dávek na národní úrovni a taky pro jejich optimalizaci. (Súkupová, 2018)

7.5 Radiační ochrana na oddělení nukleární medicíny

V nukleární medicíně se radiofarmaka podávají pacientům buď za účelem získání diagnostických snímků nebo se záměrem léčit pomocí záření emitovaného radiofarmakem. Nejběžnějším podáním radiofarmaka je IV neboli intravenózně, do žíly. Radiofarmakum může být také podáno per os, takže spolknuto nebo vypito. Alternativně může pacient vdechovat radioaktivní plyn nebo aerosol. (Mattsson, 2013)

V diagnostické i terapeutické nukleární medicíně se pacient stává zdrojem záření nejen pro sebe, ale také pro personál, ošetřující personál a širokou veřejnost, a zůstává jím až do doby, než se radioaktivní materiál rozpadne nebo vyloučí z těla. Personál pracující na oddělení nukleární medicíny musí mít dobré znalosti o radiační ochraně, protože ta je zásadní pro bezpečnost pacientů i pro bezpečnost personálu. (Mattsson, 2013)

Pro personál je hlavním zdrojem ozáření manipulace s radioaktivním materiálem při jeho přípravě a podávání pacientům, nutnost polohovat pacienty pro zobrazování, a ošetřování pacientů, kterým byly podány radioaktivní sloučeniny. Zásadní roli v radiační ochraně si zachovává odborná příprava. (Mattsson, 2013)

7.6 Zásady ochrany osob při manipulaci s radiofarmaky

Radionuklidy, které jsou obsaženy v radiofarmakách mohou emitovat pronikavé fotonové záření, jako např. záření gama, anihilační záření brzdné záření anebo záření, které má pronikavou schopnost omezenou. U případu zmíněného jako první musíme dávat pozor hlavně na **zajištění ochrany osob před vnějším zářením**. V druhém případě si musíme dávat pozor na **ochranu kůže a oční čočky**, popř. **vnitřní kontaminaci**. Je důležité dodržet postupy radiační ochrany, které zahrnují **ochranu vzdáleností, časem a stíněním**. Ke stínění můžeme využít pomůcky vyrobené z olova a wolframu. Radionuklidy i připravená radiofarmaka jsou uloženy v olověných krytech, aby se stínilo záření z nich. (Kubynyi, 2018)

8 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části této bakalářské práce bych se chtěla věnovat konkrétnímu popisu, jak probíhá vyšetření PET/CT krok za krokem. Od objednání pacienta, přes poučení a informované souhlasy, přípravu pacienta, vyšetření samotné a režim po vyšetření.

8.1 Objednání pacienta

Objednávání pacientů na vyšetření PET/CT je velmi důležitá součást celého procesu. Jelikož radiofarmakum využitě při vyšetření F^{18} -FDG má poločas rozpadu pouze 110 minut, je důležité, aby objednávání pacienta proběhlo na jasně předem daný čas. Když lékař pacientovi indikuje vyšetření, pacient se přijde objednat do PET/CT kartotéky (viz. obrázek 9). Dostane volný termín a čas



Obrázek 9 - Kartotéka PET/CT
(Zdroj: autor)

vyšetření, které je nutné dodržet. Obdrží také papíry, které ho informují o tom, jak probíhá samotné vyšetření, co pacienta čeká a jak má být na vyšetření připraven.

8.2 Příprava pacienta před vyšetřením

V informační brožuře, co pacient obdrží, má všechny potřebné informace, aby se na vyšetření PET/CT připravil, tak jak personál oddělení nukleární medicíny potřebuje, aby vyšetření proběhlo v pořádku.

V den vyšetření je nutné, aby pacient sebou přinesl vyplněný anamnestický dotazník a souhlas pacienta s vyšetřením, laboratorní výsledky (urea, kreatinin, glomerulární filtrace) a 1,5l neperlivé neslazené vody. Laboratorní výsledky musí být v tištěné formě a jsou nutné z toho

důvodu, že podávaná jodová kontrastní látka, kvůli CT vyšetření, se vylučuje glomerulární filtrací a tím pádem jsou zvýšené nároky na funkci ledvin. Proto je nutné zkontrolovat, zda má pacient ledviny a jejich fungování v pořádku. Laboratorní výsledky nesmí být starší více než 7 dnů před termínem vyšetření PET/CT.

Důležité je, aby pacient dodržel dobu lačnění, která je **6 hodin**. Neměl by nic jíst a nepít slazené nápoje či mléko. Ovšem je doporučeno zvýšit pitný režim, ale je nutné pít pouze čistou vodu nebo hořký čaj bez jakýchkoli sladidel. Pacient by se měl vyvarovat žvýkaček, bonbonů či ústních pastilek.

Pacientovi je doporučeno, aby alespoň **2 dny** před vyšetřením omezil jakoukoliv větší fyzickou námahu a svalovou zátěž, jako je např. těžší fyzická práce, posilovna, ruční řezání dřeva, nošení těžkých nákupů a zavazadel, jízda na kole apod.

Pokud pacient trpí cukrovkou (diabetes mellitus) postupuje podle informační brožury, kde mají všechny potřebné kroky popsány.

8.3 Den vyšetření pacienta

Pacient by měl respektovat v maximální možné míře datum a hodinu, na který je na vyšetření objednan. Při příchodu nahlásí svůj příchod a posadí se do čekárny na oddělení (viz. obrázek 10).



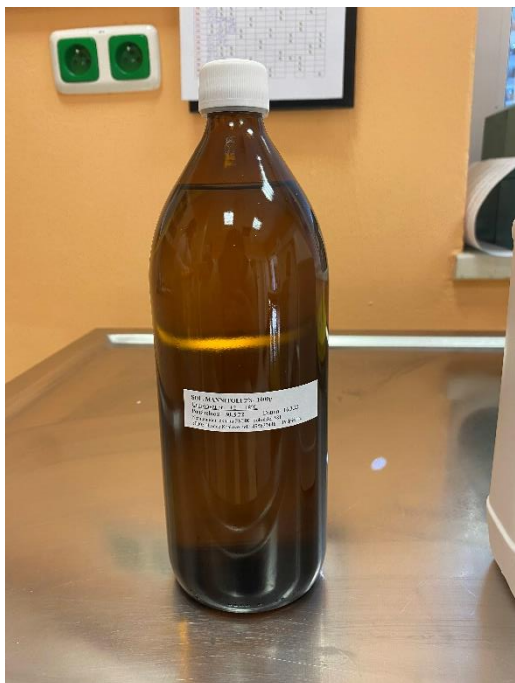
Obrázek 11 - Čekárna před PET/CT vyšetřovnou (Zdroj: autor)



Obrázek 10 - Křeslo v aplikační místnosti (Zdroj: autor)

Jako první čeká na pacienta **aplikační místnost**. Zavoláme si pacienta dovnitř a zkontrolujeme, jestli nemá na oblečení nic kovového, kvůli nadcházejícímu vyšetření. Zeptáme se pacienta, zda už někdy byl na vyšetření PET/CT, nebo na jiném diagnostickém vyšetření a také zjistíme,

jestli už má zkušenosti s kontrastní látkou, popř. jestli na ni měl nějakou reakci. Zeptáme se pacienta, zda má problémy s průjmy, pokud ano, zvážíme, zda nebudeme místo Manitolu podávat kontrastní látku Micropaque. Vše je nutné konzultovat s lékařem. Pokud pacient průjmy netrpí, tak podle dokumentace mu nachystáme kontrastní látku Manitol, kterou pacient bude během čekání v kabince pít (viz. obrázek 11 a 12).



Obrázek 12 – Kontrastní látka Manitol (Zdroj: autor)



Obrázek 13 – Kontrastní látka přichystané pro pacienta před vchodem do kabinky (Zdroj: autor)

Dále je nutné pacientovi změřit glykémii glukometrem. Pacientův prst vydezinfikujeme dezinfekčním ubrouskem a pícheme jej jehlou do prstu. První kapku krve setřeme a vytlačíme si další kapku krve. Do připraveného glukometru si vložíme testovací proužek a nabereme krev



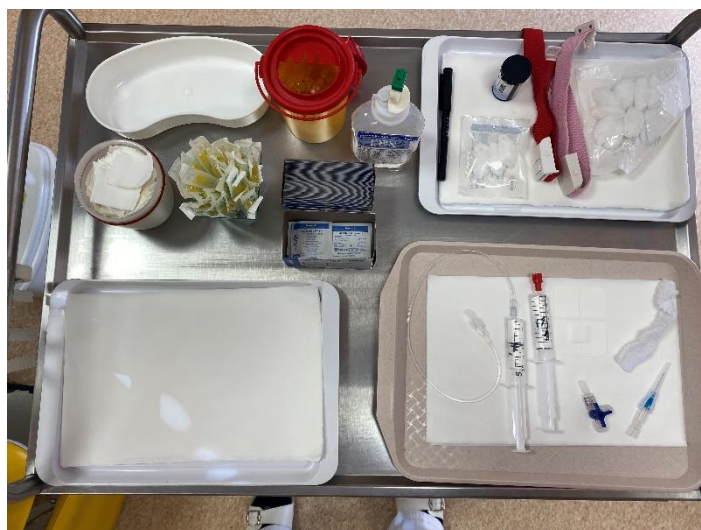
Obrázek 14 - Glukometr (Zdroj: autor)

pacienta. Glukometr provede měření hladiny cukru v krvi a na displeji se nám ukáže výsledné číslo. To je nutné zkontrolovat. Pokud má pacient v krvi více cukru než 14 mmol/l musíme diskutovat s lékařem, zda vyšetření můžeme provést a jak postupovat dál. Normální hladina cukru v krvi pacienta na lačno je okolo 4 - 5,5 mmol/l. Naměřenou hladinu cukru v krvi zapíšeme do pacientovy dokumentace.

Potom si nachystáme na stůl potřebné pomůcky k zavedení periferního žilního vstupu.



Obrázek 16 - Pomůcky pro zavedení periferního žilního vstupu (Zdroj: autor)



Obrázek 15 - Nachystaný stolek s pomůckami v aplikační místnosti (Zdroj: autor)

Podíváme se na loketní jamku pacienta na levé i pravé ruce a vyhodnotíme, kde bude nejlepší zavést žilní vstup. Na horní končetině se nejčastěji kanyla zavádí do v. cephalica a v. basilica.

Najdeme si vhodnou žílu a zaškrtneme nad loktem. Pacienta vyzveme ať si „zacvičí“ se zaškrcenou končetinou s dlaní v pěst.

Místo vpichu dezinfikujeme a zkontrolujeme, zda připravená injekční stříkačka s fyziologickým roztokem a napojenou hadičkou, je průchodná a set propláchneme. Do žíly vpichujeme modrou kanylou.

Když se nám vpich podaří a z kanyly teče krev, vytáhneme zavaděč a napojíme na set s fyziologickým roztokem. Aspirujeme, zda krev teče do hadičky a poté aplikujeme fyziologický roztok do žíly. Kontrolujeme, zda se u místa vpichu nedělá boule. Celý set uzavřeme trojcestným uzávěrem a zabezpečíme, aby nic neunikalo ven. Zalepíme náplastí, na ni napíšeme datum aplikace a začátek příjmení toho, kdo aplikoval a navlékneme krycí síťku.

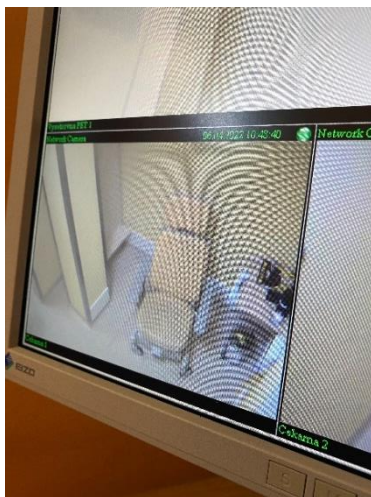
Poté si lékař přijde promluvit s pacientem o nějaké bližší anamnéze, předchozích vyšetřeních a alergických reakcích. Farmaceut pracující na oddělení nukleární medicíny, kde se PET/CT



Obrázek 18 - Kyt na radiofarmakum F^{18} -FDG připraveno ve stříkačce farmaceutem přímo pro daného pacienta (Zdroj: autor)

nachází, připraví do injekční stříkačky radiofarmakum F^{18} -FDG připravené přímo pro pacienta na jeho výšku a váhu. Lékař mu radiofarmakum píchne do žíly a potom si pacient bere připravenou kontrastní látku k pití do své kabinky, kde se posadí a pije kontrastní látku.

Neměl by se pohybovat, aby se F^{18} -FDG nevyčtyávalo ve svalech. Proto je mu doporučeno sedět v křesle, dívat se na televizi nebo číst knihu a popíjet si kontrastní látku. Pokud by se radiofarmakum vyčtyávalo ve svalech, došlo by ke zkreslení výsledků vyšetření.



Obrázek 19 - Obraz z kamery, co monitoruje kabinky (Zdroj: autor)



Obrázek 17 - Vyšetřovna s PET/CT přístrojem (Zdroj: autor)

Celou dobu je s ním navázána komunikace z ovládací místnosti PET/CT přes mikrofon a pacienti v kabinkách jsou kontrolováni kamerami. Když už pacient má přijít na řadu, vyzveme ho přes mikrofon, aby si došel na WC, protože F^{18} -FDG se vylučuje z těla ven močí a také aby pacient vydržel cca 20 minut vyšetření bez potřeby na jít na toaletu.

Zeptáme se, kolik kontrastní látky vypil a řekneme mu, aby si sundal cokoli kovového, co má na sobě. Jsou to například šperky, hodinky, nebo jakékoliv oblečení na kterém jsou kovové doplňky, např. zip.

Otevřeme dveře kabinky a vyzveme pacienta, aby se položil na záda a ruce položil za hlavu. Instruujeme pacienta z dostatečné vzdálenosti, jelikož pacient s aplikovaným radiofarmakem je zdrojem ionizujícího záření. U pacientů s podezřením na sarkoidózu je rozsah skenování od baze lební, kdy za horní hranici považujeme orbito-meatální linii, až do poloviny steh. Při podezření na postižení kůže je možno udělat celotělové PET/CT včetně hlavy a celých dolních končetin s končetinami umístěnými podél těla.

Během ukládání pacienta se ho zeptáme, jaké má zkušenosti s kontrastními látkami a vysvětlíme mu, že při aplikaci JKL při vyšetření mohou nastat nepříjemné pocity, jako je sucho v ústech, teplo a nevolnost. Sdělíme pacientovi, že ho budeme během vyšetření kontrolovat a přes mikrofon se ho ptát, jak se cítí, takže by se při obtížích měl ozvat.



Obrázek 21 - Ovládací panel přístroje PET/CT (Zdroj: autor)



Obrázek 20 - Gantry přístroje PET/CT (Zdroj: autor)

Ovládacím panelem na přístroji si s ležícím pacientem do gantry přístroje a díky laserům je nastaven do požadované pozice. Lasery zaměřujeme pod očníce.

Ve vyšetřovně máme přichystanou pumpu na jodovou kontrastní látku a fyziologický roztok. Jodová kontrastní látka musí být ohřátá přibližně na teplotu těla, tzn. 36°C až 37°C. Propláchneme pacientovu žilní kanylu přichystaným fyziologickým roztokem v injekční stříkačce abychom zkontrolovali průchodnost. Pokud je vše v pořádku a pacienta nic neštípe a nepálí, můžeme hadičku od žilní kanyly propojit s pumpou.



Obrázek 22 - Tlakový injektor na JKL a fyziologický roztok (Zdroj: autor)

Pumpu můžeme ovládat z ovládací místnosti, kde máme také dva monitory, kterými ovládáme samotné vyšetření. Pacienta kontrolujeme pomocí kamerového systému a přes okénko z olověného skla. Jeden velký monitor nám slouží k nastavení vyšetřovacího protokolu a na pravém monitoru detailně sledujeme aktuální snímkovanou část. Před monitory se nachází ovládací klávesnice.



Obrázek 23 - Monitory v ovládací místnosti (Zdroj: autor)



Obrázek 24 - Monitor k ovládání pumpy na kontrastní látku (Zdroj: autor)

Vyšetření nám odstartuje až potom, co provedeme akvizici toposcany, díky kterému potom je nastavena vyšetřovaná oblast zájmu pro CT a PET.

Na ovládacím monitoru od tlakového injektoru musíme nastavit objem kontrastní látky aplikované pacientovi, rychlost pro podání kontrastní látky v ml/s a také zpoždění, za jakou dobu se od automatické aplikace, odstartuje CT vyšetření. Když máme tyto parametry nastaveny, vyšetření zapínáme zároveň se startem aplikace na injektorové pumpě.

Ihned po skončení sběru dat pro CT snímky se zapne vyšetření PET. Vyšetření většinou trvá okolo 18 až 20 minut. Během vyšetření je nutné kontrolovat v kabinkách i ostatní pacienty, které vyšetření teprve čeká.

Po skončení vyšetření pacienta odpojíme od tlakového injektoru a vyvezeme pacienta z gantry přístroje a snížíme stůl tak, aby pacient mohl pohodlně slézt dolů. Poté odchází do kabinky, kde se oblékne a vezme si svoje věci. Před odchodem se vrací zpět do aplikační místnosti, kde mu je vytažena žilní kanyla a je personálem poučen, jak se má chovat v následujících dnech. Po vyšetření by se měl na 24 hodin vyhýbat těhotným ženám a dětem. Také je nutné dodržet zvýšený pitný režim, aby se radiofarmakum vyloučilo močí, co nejrychleji. Pokud pacienta v blízké době čeká let letadlem, je mu vystaveno potvrzení o podání radioaktivní látky.

9 DISKUZE

Vyšetření pacientů se sarkoidózou je nyní prováděno s radiofarmakem F^{18} -FDG na přístroji PET/CT. V minulosti se vyšetření provádělo pomocí ^{67}Ga -citrátu, kdy se kumulovaly ionty ^{67}Ga v zánětu. Důvodem přechodu na jinou metodu jsou nepříznivé zobrazovací parametry při scintigrafickém vyšetření. Ty vyplývaly v tomto případě z nevýhodného energetického spektra gama záření emitovaného ^{67}Ga -citrátem. Bylo možné aplikovat jen malé množství radiofarmaka, protože s aplikací tohoto radiofarmaka s dlouhým poločasem rozpadu, je spojena vysoká radiační zátěž. (Kolek, 2019)

Nishiyama a spol. ve své studii porovnávali ^{18}F -FDG PET/CT sken se scintigrafií s ^{67}Ga při hodnocení plicních a mimoplicních postižení u pacientů se sarkoidózou. Scintigrafická metoda s galiem detekovala 17 z 21 (81%) klinicky pozorovaných plicních ložisek a 15 z 31 (48 %) z klinicky pozorovaných mimoplicních ložisek. ^{18}F -FDG PET/CT sken detekoval všech 21 (100 %) klinicky pozorovaných plicních ložisek a 28 z 31 (90 %) klinicky pozorovaných mimoplicních ložisek. Nebyl objeven žádný významný rozdíl v detekci plicního a mimoplicního postižení u ^{18}F -FDG PET/CT skenu a scintigrafie s ^{67}Ga . Ovšem důležitý rozdíl je jak již zmíněná radiační zátěž. (Treglia, 2014)

V současnosti v zahraničí narůstají počty vyšetření, kdy se používají pozitronová radiofarmaka značené galiem ^{68}Ga . (Kolek, 2019)

Na rozdíl od ^{18}F , který je produkován v cyklotronech a používán velmi hojně k PET/CT vyšetření v ČR, tak dle Faniho et al. (2008) ^{68}Ga je vyráběn v radionuklidovém generátoru $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. Germanium, ze kterého se Galium 68 vyrábí, má velmi dlouhý poločas rozpadu a to 270 dnů a je to velmi efektivní z hlediska ceny výroby, jelikož germanium dlouho vydrží v generátorech a můžeme je používat až 1 rok.

Vyrobené galium 68 má potom poločas rozpadu 68 minut a oproti 110 minutám u fluoru 18 je výhodnější z hlediska radiační zátěže pacienta po vyšetření, jelikož se farmakum rozpadá rychleji a tím se snižuje jeho aktivita v těle pacienta. Energie radionuklidu galia 68 je 740 keV. (Fani, 2008)

Dle Dittricha (2012) se galium nejčastěji váže s receptory DOTATE, DOTATOC a DOTANOC. Komplex se aplikuje intravenózně a zobrazuje se pomocí detektoru PET ve specifických časech v závislosti na požadovaném vychytávání cílového místa, obvykle však po jedné hodině. V případě GaTate je afinita nejvyšší k somatostatinovému receptoru (SSTR)

podtypu 2. To vede k intenzivnímu vychytávání ve slezině, nadledvinkách, ledvinách (ne kvůli SSTR) a hypofýze, se střední intenzitou v játrech (ne kvůli SSTR), štítné žláze a slinných žlázách. Vychytávání je také v dalších oblastech, jako je slinivka břišní, kosti, mozek a lymfatické uzliny. GaToc má vysokou afinitu k podtypu 5 somatostatinových receptorů a GaNoc má vysokou afinitu k podtypům 3 a 5 somatostatinových receptorů. Fyziologický je homogenní záchyt, zatímco intenzivní heterogenní, nepravidelný fokální záchyt je znepokojující. ^{68}Ga DOTATOC se váže na zvýšenou hustotu somatostatinových receptorů, která je typická pro aktivované leukocyty v zánětu. Ovšem ^{68}Ga DOTATOC je mnohonásobně dražší než ^{18}F -FDG, proto se tolik nepoužívá.

Studie dle Yamady a spol. objevily celkovou citlivost 97 % při detekci hrudní lymfadenopatie při sarkoidóze s jedním falešně negativním výsledkem, pravděpodobně díky malé velikosti ložiska. (Treglia, 2014)

V roce 2011 Mostard a spol. zkoumali 89 pacientů se sarkoidózou pomocí ^{18}F -FDG PET/CT skenu. Osm pacientů se sarkoidózou s RTG hrudníku ve stadiu 0 měly pozitivní nálezy na PET/CT, z nichž pouze čtyři měli výhradně extrathorakální lokalizaci a pouze tři měli sérologické známky zánětu. Pouze jeden ze zahrnutých pacientů s RTG hrudníku ve stadiu IV měl negativní nález na PET/CT. Z těch pacientů s pozitivními nálezy na PET/CT 13 jich mělo nález na plicním parenchymu a 10 mělo pozitivní nálezy v mimohrudních lokalitách. (Treglia, 2014)

Praktická část této bakalářské práce je vypracována dle postupů a standardů oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové.

Podle Boellaarda et al. (2015) by měli pacienti před PET/CT vyšetřením lačnit 4 hodiny a vyhnout se fyzické zátěži na 6 hodin, nejlépe na 24 hodin.

Z výzkumu bylo zjištěno že ve FNHK, kde průzkum probíhal se pacientům doporučuje lačnit hodin 6 a vyhnout se fyzické zátěži alespoň 2 dny před vyšetřením. Výhoda delšího lačnění je, že se sníží riziko zvýšené hladiny glukózy, která je měřena před podáním ^{18}F -FDG a výhodou delšího zdržení se od fyzické zátěže je, že je minimalizována možnost, že se radiofarmakum vychytá ve svalech a tím znehodnotí výsledky vyšetření.

Dle Scarsbrooka (2016) se na vyšetřování PET/CT neonkologických diagnóz konkrétně infekcí a zánětlivých onemocnění, což v tomto případě je sarkoidóza používá radiofarmakum ^{18}F -FDG.

Z výzkumu bylo zjištěno, že ve FNHK preferují také toto radiofarmakum při vyšetřování sarkoidózy na PET/CT.

10 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem chtěla čtenáře seznámit s poměrně neobvyklou nemocí sarkoidóza.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části zmiňuji historii této nemoci, její příznaky a diagnostiku. V procesu diagnózy této nemoci je také zahrnuto poměrně důležité vyšetření PET/CT, které odhaluje zánětlivá ložiska v lidském těle. Proto tuto diagnostickou metodu blíže popisuji, vysvětluji její fungování a jak se postupuje při vyšetření pacientů s podezřením na sarkoidózu. Dále popisuji radiofarmakum F^{18} -FDG, které se k vyšetření využívá a jak funguje jeho distribuce a vychytávání v organismu.

Jelikož vyšetření PET/CT se provádí na odděleních nukleární medicíny a pracuje se tam s radiofarmaky, které z pacientů dělají dočasné zdroje ionizujícího záření, v práci jsem popsala i postupy a zásady radiační ochrany, které je nutné dodržovat, na tomto oddělení obzvlášť.

V praktické části jsem objasnila, jak probíhá celé vyšetření na přístroji PET/CT krok za krokem, od objednání na oddělení, přes informace ke složitější přípravě na celé vyšetření a příchod pacienta, měření glukózy před vyšetřením, aplikací radiofarmaka a kontrastních látek až po samotné vyšetření a odchod pacienta, který je správně poučený, jak se má chovat a jaké zásady dodržovat, jelikož je dočasným zdrojem ionizujícího záření.

Praxe na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové mě obohatila o spoustu poznatků a zkušeností, ze kterých jsem také čerpala při tvorbě této bakalářské práce. Personál na tomto pracovišti dodržuje všechny předepsané standarty a jedná na velmi profesionální úrovni, což vytvořilo velmi příjemné prostředí na praxi jak pro mě, tak pro mé spolužáky.

11 POUŽITÁ LITERATURA

AGRAWAL, Kanhaiyalal, SKILLEN, Annah, Sharjeel USMANI a Abdulredha ESMAIL, ed. *PET/CT Imaging: Basics and Practice*. Cham: Springer Nature, 2021. ISBN 978-3-030-75475-4.

BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5.

CALABRIA, Ferdinando a Orazio SCHILLACI, ed. *Radiopharmaceuticals: A Guide to PET/CT and PET/MRI*. 2. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3-030-27778-9.

JUDSON, Marc A., ed. *Pulmonary Sarcoidosis: A Guide for the the Practicing Clinician*. New York: Humana Press, 2014. ISBN 978-1-4614-8927-6.

KOLEK, Vítězslav. *Sarkoidóza: nemoc mnoha tváří*. Praha: Maxdorf Jessenius, 2019. ISBN 978-80-7345-628-3.

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.

MATTSSON, Sören a Christoph HOESCHEN, ed. *Radiation Protection in Nuclear Medicine*. 1. Berlín: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-31166-6.

MITCHELL, Donald, Athol WELLS, Stephen SPIRO a David MOLLER. *Sarcoidosis*. 1. Londýn: CRC Press, 2012. ISBN 978-03-675-7676-9.

SAHA, Gopal B. *Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine*. 4. Springer, 2013. ISBN 978-1-4614-4011-6.

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

SÚKUPOVÁ, Lucie. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech – to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0709-4.

ŠTERCLOVÁ, Martina. *Current diagnosis and therapy in sarcoidosis*. Vnitřní lékařství. 2020, **66**(7), 409-413, [cit. 2022-19-03]. ISSN 0042-773X. DOI:10.36290/vnl.2020.119

TOYAMA, Hiroshi, Yaming LI, Jun HATAZAWA, Guang HUANG a Kazuo KUBOTA, ed. *PET/CT for Inflammatory Diseases: Basic Sciences, Typical Cases, and Review*. 1. Singapore: Springer, 2020. ISBN 978-981-15-0809-7.

VOTRUBOVÁ, Jana. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-619-9.

WUYTS, Wim. *Pulmonary Manifestations of Systemic Diseases*. Norwich, UK: European Respiratory Society, 2019. ISBN 978-1-84984-111-5.

11.1 Odborné články

BOELLAARD, R. et al. 2015. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* [online]. Berlin: Springer-Verlag Berlin. 42 (2), 328-54 [cit. 2022-10-03]. DOI: 10.1007/s00259-014-2961-x

DITTRICH, P. Richard a Orlando De JESUS. 2022. Gallium Scan. *StatPearls* [online]. Treasure Island: StatPearls Publishing. [cit. 2022-10-03]. PMID: 33620825

FANI, M., J. P. ANDRÉ a H. R. MAECKE. 2008. 68Ga-PET: a powerful generator-based alternative to cyclotron based PET radiopharmaceuticals. *Contrast Media Mol Imaging* [online]. Oxford, England: Willey-Blackwell. 3 (2), 67-77 [cit. 2022-10-03]. DOI: 10.1002/cmml.232

PETEROVÁ, Věra. CT – základy vyšetření, indikace, kontraindikace, možnosti, praktické zkušenosti. *Medicína pro praxi* [online]. Solen s.r.o., 2010, 7(2), 90-94 [cit. 2022-10-03]. ISSN 1214-8687. Dostupné z: <https://www.solen.cz/pdfs/med/2010/02/12.pdf>

SCARSBROOK, A. F. a S. F. BARRINGTON. 2016. PET-CT in the UK: current status and future directions. *Clin Radiol* [online]. Oxford: Blackwell Scientific Publications Ltd. 71 (7), 673-90 [cit. 2022-10-03]. DOI: 10.1016/j.crad.2016.02.023

TICHÝ, Lubomír. Vyšetřovací metoda – PET/CT. *Solen Medical Education* [online]. Solen, s. r. o., 2009, 6(1): 46-49 [cit. 2021-11-05]. ISSN 1803-5310. Dostupné z: [Solen: Vyšetřovací metoda - PET/CT](#)

TREGLIA, G, S. ANNUNZIATA, D. SOBIC-SARANOVIC, F. BERTAGNA, C. CALDARELLA a L. GIOVANELLA. 2014. The role of 18F-FDG-PET and PET/CT in patients with sarcoidosis: an updated evidence-based review. *Acad Radiol* [online]. Reston Va: Association Of University Radiologists. 21 (5), 675-84 [cit. 2022-10-03]. DOI: 10.1016/j.acra.2014.01.008

ŽURKOVÁ, Monika, Vladimíra LOŠŤÁKOVÁ, Petr JAKUBEC, Vítězslav KOLEK a Eva KRIEHOVÁ. Jak poznáme a jak léčíme sarkoidózu. *Medicina pro praxi* [online]. Solen s.r.o., 2020, **17**(4), 241-246[cit. 2022-10-03]. ISSN 1214-8687. Dostupné z: doi:10.36290/med.2020.045

12 ZDROJE OBRÁZKŮ

1. Signs and symptoms of sarcoidosis. In: *National Institutes of Health: National Heart, Lung and Blood Institute* [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: https://www.nhlbi.nih.gov/sites/default/files/inline-images/21-0164-NHLBI-Sarcoidosis-Health-Topic-Illustration-Update_Complications_dev4_800px.jpg
2. KOLEK, Vítězslav. *Sarkoidóza: nemoc mnoha tváří*. Praha: Maxdorf Jessenius, 2019. ISBN 978-80-7345-628-3.
3. ŽURKOVÁ, Monika, Vladimíra LOŠŤÁKOVÁ, Petr JAKUBEC, Vítězslav KOLEK a Eva KRIEHOVÁ. Jak poznáme a jak léčíme sarkoidózu. *Medicina pro praxi* [online]. Solen s.r.o., 2020, **17**(4), 241-246[cit. 2022-10-03]. ISSN 1214-8687. Dostupné z: doi:10.36290/med.2020.045
4. JUDSON, Marc A., ed. *Pulmonary Sarcoidosis: A Guide for the the Practicing Clinician*. New York: Humana Press, 2014. ISBN 978-1-4614-8927-6.
5. CALABRIA, Ferdinando a Orazio SCHILLACI, ed. *Radiopharmaceuticals: A Guide to PET/CT and PET/MRI*. 2. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3-030-27778-9.

13 PŘÍLOHY

Příloha A - Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT

(Zdroj: oficiální web FNHK, dostupné z: <https://www.fnhk.cz/fs913/anamnestickydotaznik.doc>)



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

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny – 6682

tel./fax: 495 834 542

ANAMNESTICKÝ DOTAZNÍK PŘED VYŠETŘENÍM PET/CT (vybranou odpověď zakroužkujte)

Příjmení a jméno pacienta:

Rodné číslo: Pojišťovna:

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

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

Datum:
Podpis pacienta – zákonného zástupce:

Příloha B - Informovaný souhlas pacienta s vyšetřením PET/CT

(Zdroj: oficiální web FNHK, dostupné z: <https://www.fnhk.cz/fs907/souhlassvysetrenimpetct18f-fdg.doc>)



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 (interval nutný k dostatečné akumulaci radiofarmaka) následuje vlastní vyšetření na přístroji PET/CT. Vyšetření se provádí vleže a trvá 20 – 40 minut.

Bezprostředně před uložením do přístroje se zavedená nitrožilní kanyla spojí s automatickým dávkovačem jódové kontrastní látky (je-li její podání indikováno), jejíž krátkodobá aplikace umožní lepší odlišení zobrazovaných struktur těla. Kontrastní látka je rychle vylučována ledvinami, takže je prakticky všechna vyloučena do jedné hodiny po jejím podání. Po vyšetření je vhodné podpořit její vylučování pitím dostatečného množství tekutin.

Podání nitrožilní kontrastní látky může být spojeno s mírnými průvodními pocity, mezi něž patří sucho v ústech a pocit tepla v těle. Vzácně může na jódovou kontrastní látku vzniknout i nežádoucí alergická reakce. Vznik alergické reakce nelze předem předvídat. Projevy alergické reakce mohou být kýchání,

pocit dušnosti, kožní reakce (např. kopřivka), ale ojediněle i těžké život ohrožující stavy. Vyšší rizika jsou u nemocných s astmatem a mnohočetnou přecitlivělostí (polyvalentní alergie).

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

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

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

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

Alternativou je provedení vyšetření jen s aplikací radiofarmaka bez podání kontrastní látky, ale za cenu těžší odlišitelnosti zobrazovaných struktur.

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

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

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

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

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

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

dne: v hodin

Podpis:

Místo aplikace radiofarmaka a kontrastní látky:

kubitální žíla vpravo vlevo

předloktí vpravo vlevo

dorsum ruky vpravo vlevo

flexila vpravo vlevo

jiné

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

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

jmenovka a podpis:

Příloha C - Žádanka na PET/CT vyšetření

Zdroj: oficiální web FNHK, dostupné z: <https://www.fnhk.cz/fs1643/zadankanapetct-vysetreni.doc>



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

ŽÁDANKA NA PET/CT VYŠETŘENÍ

(žádanku odešlete na odd. nukleární medicíny faxem nebo poštou)

Příjmení, jméno:

Pojišťovna:

Rodné číslo:

Telefon:

Adresa:

Druh / rozsah požadovaného vyšetření:

Časový horizont:

Přesná DG (slovně i kódem MKN):

Průběh terapie (operace, chemo- /radioterapie s uvedením termínů léčby):

Výsledky dosavadních vyšetření (prosíme o zaslání CT či MRI provedených mimo FNHK do e-PACS):

Alergie:

Váha/výška:

DM:

Pohyblivost pacienta:

Urea, kreatinin a odhad glomerulární filtrace dle rovnice CKD – EPI, hodnoty NESMÍ být starší 7 dnů před termínem PET/CT vyšetření:

Způsob dopravy:

Gravidita: ANO NE

Datum odběru:

Je pacient ošetřován ve zvýšeném hygienickém režimu (izolaci): ANO NE

Jméno, adresa, razítko a podpis odesílajícího lékaře:

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

Telefonní kontakt:

Datum vyplnění:

Příloha D - Příprava pacienta k vyšetření PET/CT s F¹⁸-FDG

(Zdroj: oficiální web FNHK, dostupné z: <https://www.fnhk.cz/fs914/pripravapacientapetcttrup18f-fdg.doc>)



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

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny – 6682

tel./fax: 495 834 542

Příprava pacienta na PET/CT vyšetření trupu při diagnostice nádorů a zánětů

Vážená paní, vážený pane,

vyšetření, ke kterému jste byl(a) objednan(a), je poměrně náročné na správnou přípravu. Abychom vyšetření mohli provést co nejlépe, prosím, pozorně si prostudujte následující pokyny. Nejprve si pozorně přečtěte a vyplňte příložený informovaný souhlas s vyšetřením PET/CT s jódovou kontrastní látkou a vyplňte anamnestický dotazník.

Alespoň 2 dny před vyšetřením je nutné vyloučit větší svalovou zátěž (těžší fyzická práce, posilovna, ruční řezání dřeva, nošení těžších nákupů a zavazadel, jízda na kole, apod.). **6 hodin před vyšetřením** je potřeba hladovět, v této době je však nutné více pít a to pouze čistou vodu či hořký čaj bez jakýchkoliv sladidel, 6 hodin před vyšetřením prosím nepijte mléko ani jiné nápoje s obsahem cukru, či jiných sladidel. Vyvarujte se žvýkaček, bombonů či ústních pastilek.

Vzhledem k tomu, že bude provedeno CT vyšetření s jódovou kontrastní látkou, je **NUTNÉ** si s sebou přinést výsledky sérové hodnoty urey a kreatininu a odhadu glomerulární filtrace, které **NESMÍ** být starší 7 dnů před termínem vyšetření na PET/CT! Odběr krve ke zjištění těchto hodnot provede praktický či ošetřující lékař.

Výsledky MUSÍ být v tištěné formě!

Pokud trpíte cukrovkou (diabetes mellitus), příprava probíhá následovně:

Diabetik pouze na dietě: hladoví 6 hodin před vyšetřením, více pije (alespoň 1 litr), a to pouze čistou vodu bez sladidel, či hořký čaj. Po vyšetření, v průběhu dne, více pije!

Diabetik na perorálních antidiabetících (PAD) - vyjma biguanidů (viz níže): hladoví 6 hodin před vyšetřením a již **ne užívá ranní dávku PAD!** V této době více pije (alespoň 1 litr), ale pouze neslazené nápoje: čistou vodu či hořký čaj. S sebou na vyšetření si vezme jídlo a PAD. Až po vyšetření na PET/CT si vezme PAD a nají se. Po vyšetření, v průběhu dne, více pije!

Diabetik, který užívá PAD – biguanidy, tedy tyto léky: Adimet, Agnis combi, Avandamet, Eucreas, Competact, Daltex, Diareg, Ebymect, Efficib, Eucreas, Glibomet, Glubrava, Glucomerck, Glucophage, Glucophage XR, Gluformin, Icardra, Janumet, Jentadueto, Komboglyze, Langerin, Metfirex, Metformin, Metfogamma, Normaglyc, Pioglitazone/Metformin, Novantin, Retaform, Ristfor, Seghuromet, Siofor, Stadamet, Synjardy, Velmetia, Vildagliptin/Metformin, Vipdomet, Vokanamet, Xigduo, Zomarist **užije poslední dávku tohoto léku 24 hodin před vyšetřením. 6 hodin před vyšetřením hladoví** a v této době průběžně více pije – alespoň 1 litr neslazených tekutin (voda, hořký čaj). Po vyšetření, v průběhu dne více pije a pokračuje v obvyklém užívání PAD.

Diabetik na inzulínu - večer před vyšetřením si normálně aplikuje dávku bazálního (depotního) inzulínu. Před vyšetřením hladoví 6 hodin a zároveň si **neaplikuje ranní dávku bolusového inzulínu**. Více pije (alespoň 1 litr), a to pouze čistou vodu bez sladidel, či hořký čaj. S sebou na vyšetření si vezme jídlo a bolusový inzulín a až po vyšetření na PET/CT si aplikuje dávku bolusového inzulínu a nají se. Po vyšetření, v průběhu dne více pije.

Před vyšetřením bude všem pacientům odebrána kapilární krev z prstu na ruce a vyšetřena glykémie (hladina krevního cukru).

Pokud má pacient s cukrovkou dlouhodobě vysoké hladiny glykémie, je nutné nejprve provést kompenzaci diabetu na spádovém interním oddělení či u spádového diabetologa.

Hospitalizovaným pacientům v nemocnici se 6 hodin před vyšetřením nesmí podávat žádné infuze s glukózou/dextrózou či parenterální výživa, po tuto dobu je nutno vypnout inzulinovou pumpu. Jinak platí předchozí informace.

Jestliže Vás lékař odeslal na PET/CT pro podezření na **infekční endokarditidu** či **sarkoidózu** (zejména k vyloučení postižení srdce) je nutno 24 – 12 hodin před vyšetřením dodržet dietu bohatou na tuky (např. maso, masový vývar, tvrdé sýry, vejce, ...) s vyloučením cukrů včetně polysacharidů (knedlíky, pečivo, těstoviny, rýže, brambory, ...). 12 hodin před vyšetřením je nutno lačnit, v tuto dobu je nezbytné více pít.

Užívání léků před vyšetřením se **nemění**, proto dál berte obvyklé léky. Výjimkou jsou perorální antidiabetika (PAD), u nich postupujte, jak je uvedeno výše. V případě nejasnosti nás neváhejte kontaktovat.

Vyšetření se doporučuje provést:

- nejdříve za 14 dní po ukončení chemoterapie.
- nejdříve za 2-3 měsíce po ukončení radioterapie (ozáření). Platí pouze pro ozářenou část těla, vzdálená místa mohou být vyšetřována kdykoliv.
- nejdříve za 6 – 8 týdnů po operaci. Platí pouze pro operovanou oblast, vzdálená místa mohou být vyšetřována kdykoliv.

Prosím, přineste si s sebou výsledky z předchozích zobrazovacích vyšetření, jako je CT, MR, UZ, scintigrafie, PET/CT, nejlépe na CD či DVD – pokud je již Váš lékař neodeslal do systému e-PACS.

Kontraindikací vyšetření je těhotenství – vyšetření se provádí pouze v případě ohrožení života pacientky. Vyšetření lze provést u kojící matky, ale po vyšetření je nutno vynechat první kojení a odstříknuté mléko zlikvidovat. Také je nutné omezit těsný kontakt s kojencem.

Datum a hodinu, na kterou jste objednáni, v maximální možné míře respektujte, protože radioaktivní látka (^{18}F -FDG), užitá při vyšetření PET/CT, má velmi krátký poločas přeměny (109 minut), je velmi drahá a je vyrobena speciálně pro Vás.

Pokud se Vám datum a čas vyšetření nehodí, je nutné přeobjednat se co nejdříve, aby termín mohl být využit pro jiného pacienta a nedocházelo k velkým finančním ztrátám za nepoužitou radioaktivní látku, kterou nelze použít pro jiného pacienta vzhledem k jeho 6-ti hodinové přípravě.

Vyšetření je kromě vpichu do žíly na horní končetině zcela nebolestivé, trvá však poměrně dlouho. Počítejte s tím, že na odd. nukleární medicíny strávíte **nejméně 3 hodiny**.

Výjimečně může dojít k výpadkům dodávek radioaktivní látky ^{18}F -FDG z cyklotronu. Za těchto okolností bychom Vás ihned telefonicky kontaktovali, abyste k vyšetření nejezdili zbytečně.

Po příchodu na PET/CT vyšetření nám, prosím, oznamte, zda máte cukrovku, klaustrofobii (chorobný pocit strachu před uzavřenými prostory) nebo zda jste těhotná.

Jako doprovod na vyšetření s sebou, prosím, neberte těhotné ženy a malé děti.

Po ukončení vyšetření je vhodné více pít, radioaktivita se rychleji vyloučí z těla.

Radioaktivita se z těla vyloučí do druhého dne. Po tuto dobu nedoporučujeme pobývat v blízkosti těhotných žen a malých dětí.

Pokud druhý den jedete do zahraničí či plánujete cestu letadlem, vyzvedněte si u nás potvrzení o aplikaci radioaktivní látky. Citlivé detektory na letištích či hraničních přechodech by mohly ještě druhý den po vyšetření zachytit zbytky radioaktivity ve Vašem těle.

V případě nejasností či pochybností se prosím neváhejte zeptat pracovníků oddělení nukleární medicíny, telefon 495 834 542. Oddělení nukleární medicíny se nachází v areálu Fakultní nemocnice Hradec Králové, budova číslo 23 – přízemí vlevo.