



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**Komplikace při PET/CT vyšetřeních a četnost výskytu
na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České
Budějovice, a. s.**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: **SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ**

Autor: Tamara Houdková

Vedoucí práce: MUDr. Vojtěch Kratochvíl, MHA

České Budějovice 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem Komplikace při PET/CT vyšetřeních a četnost výskytu na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a. s. jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 1.6. 2020

.....

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala za odborné vedení mému vedoucímu bakalářské práce panu prim. MUDr. Vojtěchu Kratochvílovi, MHA. Mé poděkování patří také kolektivu oddělení NUM NEMČB, za jejich trpělivost, vstřícnost a objasnění veškerých mých dotazů.

Komplikace při PET/CT vyšetřeních a četnost výskytu na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a. s.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá komplikacemi během PET/CT vyšetření. Komplikacemi při PET/CT vyšetřeních lze rozumět jednak jevy komplikující průběh vyšetření ve smyslu ovlivnění kvality výstupu vyšetření, jednak zdravotní komplikace jako přímý důsledek provedení PET/CT vyšetření. V prvním případě jde často o nespolupráci pacienta s excesivními pohyby v průběhu vyšetření či komplikovaný žilní přístup pro podání intravenózních vyšetřovacích látek, v druhém případě patří mezi nejzávažnější komplikace alergická reakce na podání jodové kontrastní látky.

Cílem práce je sledovat komplikace při PET/CT vyšetřeních na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s., (dále jen NEMČB) provést jejich analýzu a v případě možnosti navrhnout systémová preventivní opatření.

V teoretické části bakalářské práce jsem se zaměřila na základní informace o PET/CT přístroji, průběhu vyšetření a všech skutečnostech s tím spojených. Při popisu jednotlivých komplikací jsem vycházela především z praxe přímo na oddělení nukleární medicíny NEMČB. Na základě prozkoumání současného stavu problematiky byla stanovena následující hypotéza:

1. Nejčastější komplikace při PET/CT vyšetření jsou způsobeny nesoučinností pacienta.

Pro praktickou část byl proveden kvantitativní výzkum. Sběr dat byl uskutečněn na oddělení nukleární medicíny NEMČB analýzou dokumentace o provedených vyšetření v období leden 2019- červen 2019. Data byla zjištěna z aplikačních listů, komplikace byly následně logicky rozděleny do čtyř kategorií, podobně jak tomu bylo v teoretické části. Data byla statisticky a graficky zpracována.

Výsledky práce lze využít jako podklad pro zkvalitňování vyšetřovacích procesů na oddělení nukleární medicíny a zároveň může sloužit jako edukační materiál.

Klíčová slova

PET/CT; nukleární medicína; molekulární hybridní zobrazování; pozitronová emisní tomografie; FDG

Complications during PET/ CT examinations and frequency of occurrence at the Department of Nuclear Medicine in České Budějovice Hospital, a.s.

Abstract

This thesis is focused on complications at PET/CT examinations. The complications at these examinations are either processes which complicate the progress of examination within the meaning of affection of the quality of outcome efficiency or health complications as the linear after effect of PET/CT examination. In the first example it concerns of uncooperative patients with the excessive movements during examination or complicated venous access for giving off intravenous screening substances. In the second example the most substantial complications are allergic reaction after delivery of iodinated contrast substance.

The object of this work was to follow complications at PET/CT examinations at the department of nuclear medicine of hospital in České Budějovice, a.s. (here in after NEMČB), to do their analysis and in case of possibilities to suggest some systemic preventive measures.

At the theoretical part of work I focused on basic information about PET/CT device, the process of examination and all the facts related with it. At the description of particular complications I used my experience from the internship directly at the department of nuclear medicine at the NEMČB. Based on the inspection of actual state of affairs was set the hypothesis:

1. The most frequent complication at the PET/CT examinations are caused by the patients who do not cooperate.

For the practical part was undertaken quantitative analysis. Data acquisition was done at the department of nuclear medicine of NEMČB by analysis of documentation of performed examinations in the term from January 2019 to June 2019. Data were found out from application documents, the complications were then divided into four categories similarly theoretical part. Data were statistically and graphically processed. The results of the work is possible to use as a basis for better quality of screening processes at the department of nuclear medicine and equally as the study material.

Key words

PET/CT; nuclear medicine, molecular hybrid imaging; positron emission tomography; FDG

Obsah

1	Teoretická část	9
1.1	Historie nukleární medicíny.....	9
1.2	PET/CT	9
1.2.1	Pozitronová emisní tomografie- PET	10
1.2.2	Výpočetní tomografie- CT	12
1.3	Průběh vyšetření na oddělení NUM nemocnice České Budějovice, a.s. ..	12
1.3.1	Indikace a kontraindikace PET/CT	13
1.3.2	Příprava diabetického pacienta před vyšetřením.....	14
1.3.3	Zvláštnosti při vyšetření	14
1.4	Principy radiační ochrany v nukleární medicíně	15
1.4.1	Vybrané veličiny a jednotky.....	15
1.4.2	Mechanismus biologického účinku.....	16
1.4.3	Účinky deterministické a stochastické	17
1.4.4	Zásady radiační ochrany.....	18
1.4.5	Ochrana a monitorování pracovníků na oddělení NUM	20
1.5	Radiofarmaka používaná při PET.....	21
1.5.1	Diagnostické referenční úrovně.....	21
1.5.2	Výroba radiofarmak pro PET	22
1.5.3	Příprava, podávání a uchování radiofarmak	22
1.5.4	Požadavky na radiofarmaka	23
1.6	Kontrastní látky.....	24
1.6.1	Parenterální kontrastní látky	24
1.6.2	Enterálně aplikované KL	25
1.7	Komplikace při vyšetření PET/CT spojená s aplikací kontrastní látky	25
1.7.1	Kontrastem indukovaná nefropatie (CIN).....	25
1.7.2	Alergická reakce na kontrastní látku	25

1.7.3	Paravenózní aplikace	26
1.7.4	Nauzea, emesis, diarrhoea	26
1.8	Komplikace při vyšetření PET/CT spojená s aplikací radiofarmaka.....	26
1.9	Nesoučinnost pacienta jako komplikace PET/CT vyšetření.....	27
1.9.1	Neklid, pohyby pacienta.....	27
1.9.2	Klaustrofobie	27
1.9.3	Neadekvátní příprava ze strany pacienta.....	28
1.10	Další (neovlivnitelné) faktory na straně pacienta jako komplikace PET/CT vyšetření	28
1.10.1	Inkontinence	28
1.10.2	Nedodržení vyšetřované polohy	28
1.10.3	Nadměrná obezita.....	29
2	Praktická část	30
2.1	Formulace cíle práce	30
2.2	Formulace hypotézy.....	30
2.3	Metodika	30
2.4	Výsledky výzkumu	31
2.5	Formulace statistického šetření.....	32
3	Diskuze.....	42
4	Závěr	44
5	Bibliografie	45
6	Seznam obrázků, grafů.....	48
7	Seznam použitých tabulek.....	49
8	Seznam použitých zkratk.....	50
9	Přílohy	51

Úvod

Nukleární medicína se zabývá diagnostikou a terapií za pomoci otevřených radioaktivních zářičů, které jsou aplikovány do vnitřního prostředí organismu. Kořeny oboru nukleární medicína se formovaly již na konci 19. století. Předcházelo tomu mnoho objevů, např. objev radioaktivity, zkonstruování Angerovy kamery atd. V současné době je tento obor dynamicky se rozvíjející a PET/ CT je jedno z nejmodernějších hybridních zobrazovacích zařízení současné medicíny. V NEMČB je PET/CT vyšetření možné provádět od roku 2016.

PET/CT přináší kvalitní diagnostickou informaci a současné výhody jako neinvazivní přístup do těla pacienta a relativně nízké riziko vedlejších účinků. Zobrazuje jak informaci o přesné anatomické struktuře těla, tak i metabolickou aktivitu jednotlivých tkání. Umožňuje odhalit řadu patologických stavů zejména v onkologii, kardiologii, neurologii, urologii a dalších. Předpokladem k provedení vyšetření je podání radiofarmaka pro vyšetření PET, případně podání jodové kontrastní látky nitrožilně nebo podání kontrastní látky per os pro vyšetření CT. Vyšetření vyžaduje vhodně informovat pacienta o vyšetření, zejména se zaměřit na přípravu. Bez spolupráce pacienta nelze vyšetření provést.

Bakalářská práce se zaměřuje zejména na veškeré komplikace, které se u vyšetření PET/CT mohou vyskytnout. Výchozím pro analýzu komplikací bylo podrobné seznámení s teoretickými poznatky o PET/CT, prozkoumání aplikačních listů a také vlastní praxe na oddělení. Z praxe bylo evidentní, že personál NEMČB oddělení nukleární medicíny se ze všech sil snaží těmto komplikacím předcházet. Ve všech postupech volí standardy, které se postupným procesem na oddělení formovaly. Do těchto postupů patří bez pochyby vhodně zvolený profesionální přístup lékařů, radiologických asistentů a sester. Pacient, který se s vyšetřením setkává poprvé, může být z množství informací mnohdy zmatený či přehnaně ustrašený. Zde je na personálu nemocnice, aby k pacientovi přistupovali s lidským jednáním, empatií a individuálním postojem s ohledem na rozumové schopnosti každého pacienta.

Výstupem bakalářské práce je přehled všech komplikací, které se vyskytly při vyšetření PET/CT a objektivní posouzení četnosti komplikací na oddělení nukleární medicíny NEMČB.

1 Teoretická část

1.1 Historie nukleární medicíny

Základními stavebními prvky oboru nukleární medicíny je předpoklad objevení radioaktivity a radioaktivních izotopů. V roce 1896 objevil Henri Becquerel radioaktivitu vycházející z uranové soli a zjistil, že toto záření je mnohem pronikavější než párský X, které objevil Wilhelm C. Röntgen v roce 1895. V roce 1897 se připojila ke zkoumání radioaktivity i Marie Curie s manželem. Objevila vhodné radiochemické metody a to jí dovolilo objevit další radioaktivní prvky, např. radium. Všichni byli v roce 1903 za své objevy oceněni Nobelovou cenou. (Čechák, 1996) Jedním z dalších, kteří se postarali o revoluční objevy v nukleární medicíně, byl také Hal Anger. V roce 1952 se objevily první zmínky o vynálezu gama kamery, kterou Anger postupem času zdokonaloval. (Wagner N., 2003)

Za další důležitý krok k rozvoji oboru nukleární medicíny se považuje objevení tzv. molekuly století- fluorodeoxyglukózy (FDG) ,a to prof. Josefem Pacákem, Miloslavem Černým a jejich výzkumným týmem roku 1968. Tento objev později výrazně ovlivnil vývoj diagnostických metod používaných při PET vyšetřeních. (Pacák et al., 2002)

Návrh zkombinovat PET a CT přístroj byl předložen na počátku 90. let 20. století Davidem Townsendem, Ronaldem Nuttem a dalšími spolupracovníky. První prototyp skeneru byl uveden do provozu roku 1998 společností CTI PET Systems (nyní Siemens Molecular Imaging). První PET/CT skener pro komerční účely bylo možné pořídit od roku 2001 (Townsend, 2008)

Ke dnešnímu datu se na území České republiky nachází 15 pracovišť s nainstalovanými PET/CT skenery. Jedním z prvních, kde byl PET/CT skener v roce 2003 nainstalovaný, byl Masarykův onkologický ústav v Brně a současně Nemocnice na Homolce, která ovšem měla samostatný PET již od roku 1999. Vůbec nejnovějším pracovištěm, které se může pyšnit PET/CT je Fakultní nemocnice Ostrava, zde byl PET/CT nainstalován roku 2017. V nemocnici v Českých Budějovicích je PET/CT od roku 2016. (Bělohlávek, 2010)

1.2 PET/CT

Hybridní přístroj PET/CT (obr. 1) patří mezi nejmodernější vyšetřovací metody současné medicíny. Cílem bylo využít nejvyšší možný potenciál těchto dvou zobrazovacích modalit a spojit je v jednu. CT přístroj byl k PET skeneru přidán pro poskytnutí možnosti korekce atenuace, která významně snižuje kvalitu

obrazu. (Bakos et al., 1996) Základem je pozitronová emisní tomografie, která nese informaci o funkčních datech, zatímco přístroj CT udává informaci o anatomických strukturách. Pro přesnější zobrazení struktur může být při CT vyšetření podaná kontrastní látka na rozdíl od vyšetření PET, kdy pacientovi můžeme podat radiofarmakum. Výhodou je především to, že obě vyšetření probíhají bez změny polohy pacienta. Bez obtíží lze tak korigovat metabolické a strukturální informace. (Šabata, 2019). Výstupem z vyšetření je obraz nebo sada obrazů, které nesou diagnostickou informaci. Příznivé je, aby měl obraz vysoké prostorové případně i kontrastní rozlišení. (Budinger et al., 2014) Od SPECT (jednofotonová emisní výpočetní tomografie) se zásadně liší jak používanými radiofarmaky při vyšetřování, tak i způsobem detekce záření. (Šabata, 2019)



(Nemocnice České Budějovice, a.s., 2013)

Obrázek 1: PET/CT přístroj na ONM NEMČB

1.2.1 Pozitronová emisní tomografie- PET

Zkratka PET (z angl. positron emission tomography) je založena na koincidenční detekci fotonů s energií 511 keV, které vznikají při interakci pozitronu s elektronem. Detekce je podmíněna faktem, že pacientovi byl podán radionuklid emitující pozitrony. (Koranda et al., 2014)

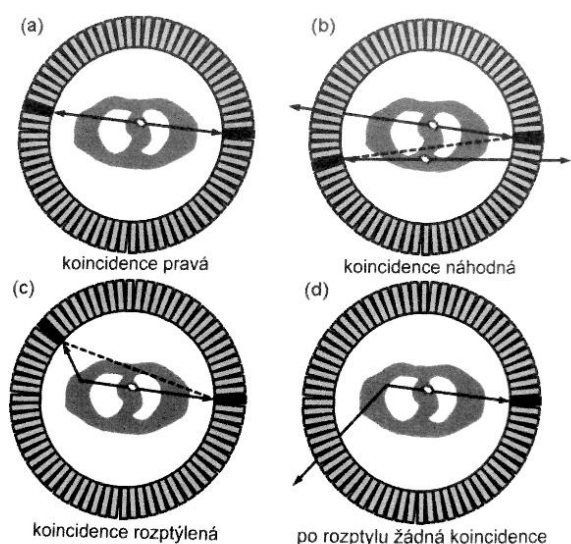
Fyzikální princip pozitronové emisní tomografie

Některé radionuklidy při radioaktivním rozpadu a snaže dosáhnout stability jádra emitují pozitrony, což jsou kladně nabitě antičástice elektronu e^+ . V hmotném prostředí ztrácí postupně pozitrony svou energii např. ionizací či excitací. Většina z nich nakonec

zanikne v interakci s elektronem, tento proces se nazývá anihilace pozitronu. Při anihilaci se přemění pár pozitron- elektron na dva tzv. anihilační fotony gama o energii 511 keV, které se z místa anihilace vzdalují opačným směrem. (Kupka et al., 2007)

Detekce pozitronů

Úkolem detekce pozitronů je zaznamenávat jen takové, které dopadají v protilehlých stranách současně na detektor, jde o tzv. koincidenční detekci. Do záznamu se dostávají pouze impulzy o energii 511 keV. Koincidenční přímka je spojnice mezi dvěma detektory. Podle toho zda se anihilační fotony nachází na této spojnici či nikoli se rozlišují koincidence pravé, náhodné, rozptylové a žádné (obr. 2). Pokud se tedy dva anihilační fotony rozletí opačným směrem ze stejného bodu, jedná se o koincidence pravou. Pokud zaznamenají detektory koincidence ze dvou různých anihilací ve stejný moment, a tato koincidence neleží na koincidenční přímce, jedná se o anihilaci nepravou. Pokud místo anihilace neleží na koincidenční přímce a jeden z anihilačních fotonů je rozptýlen při Comptonově rozptylu, jedná se o rozptylovou koincidence. Pokud by jen jeden anihilační foton dopadl na detektor, avšak druhý po Comptonově rozptylu dopadl až za detektor, není zaznamenána žádná koincidence. Pro správnou tvorbu obrazu jsou žádoucí pouze pravé koincidence, všechny ostatní nepříznivě ovlivňují kvalitu obrazu. (Šabata, 2019)



(Šabata, 2019)

Obrázek 2: Druhy koincidenčí

1.2.2 Výpočetní tomografie- CT

Výpočetní tomografie (z angl. computed tomography- CT), dále jen CT je diagnostická metoda využívající digitálního zpracování dat. Zobrazování především závisí na absorpci RTG záření v těle pacienta. (Chudáček, 1995) Zcela první využitelný CT přístroj byl prakticky využit v roce 1971 a sloužil pro vyšetřování pouze určitých vrstev mozku. V kruhovém stojanu tzv. gantry je uložen systém rentgenka – detektor, tento systém rotuje a vytváří jednotlivé skeny pacientova těla v různých úhlech. Systém rentgenka-detektor se v závislosti na vývoji přístrojů různě inovoval, např. u moderních CT přístrojů je detektorový systém tvořen více detektory (desítkami až stovkami), tzv. multidetektorový a je současně po celém obvodu ganty, přičemž rotuje pouze rentgenka. (Malíková et al., 2019) Soustava rentgenka-detektor nebo pouze rentgenka rotuje kolem těla pacienta ležícího na vyšetřovacím stole. A stůl s pacientem se současně pohybuje v otvoru ganty. Rotace trvá v řádech sekund (0,27-1 s). Během celého procesu je získáno množství expozičních z různých úhlů a pomocí speciálních algoritmů je získán CT obraz. Vzniklý obraz je černobílý a jednotlivým tkáním jsou přiřazeny dle stupně absorpce různé stupně šedi. (Ferda et al., 2015)

Jednotlivé řezy obrazu jsou tvořeny maticí bodů v obvyklém počtu 512× 512. Základní Hounsfieldova stupnice denzit je v rozmezí od -1000 do +1000, kde nejmenší pohltivost mají plyny, např. -1000 HU odpovídá denzitně vzduchu, 0 HU denzitně vody a +1000 HU odpovídá denzitě kosti viz. tabulka níže. Kvůli různým denzitám vyšetřovaných objektů je stupnice dále rozšířena. Na CT obrazech reprezentují jednotlivé denzity stupně šedi. Vzhledem k tomu, že lidské oko dokáže rozlišit asi jen 16 odstínů šedé, je zavedeno tzv. okno (okénko), které umožní lépe analyzovat danou strukturu. (Nekula et al., 2003)

Vlastní vyšetření probíhá tak, že se uloží pacient na vyšetřovací stůl a je zhotoven RTG snímek tzv. topogram. Na topogramu se dále plánuje rozsah vyšetření, následně je spuštěno vlastní skenování. Získané řezy jsou axiální a je možné z nich vytvářet rekonstrukce obrazu v různých rovinách. (Ferda et al., 2015)

1.3 Průběh vyšetření na oddělení NUM nemocnice České Budějovice, a.s.

Každé vyšetření vyžaduje specifickou přípravu ze strany pacienta. Před vyšetřením, kdy je použito radiofarmakum ¹⁸F¹⁸FDG, je každému pacientovi změřena hladina glukózy, to se provádí glukometrem z kapky kapilární krve, získané z malého vpichu do prstu. Pokud je hladina glukózy v normě, pokračuje se dál zajištěním periferního žilního

vstupu pomocí katétru. V případě, že je hladina glukózy cukru větší než 11 mmol/l je vyšetření odloženo. Následně je pacient uveden do čekacího boxu pro aplikované pacienty, kde je mu do připravené kanyly intravenózně podáno malé množství radiofarmaka. V indikovaných případech je možné, že je pacientovi ještě podána i kontrastní látka v podobě roztoku určená k pití (tzv. perorální kontrastní látka). V určitém časovém odstupu, který je závislý na distribuční fázi konkrétního radiofarmaka je zahájeno snímání. U vyšetření s ¹⁸F¹⁸FDG je zahájeno snímání v časovém horizontu 50-90 minut od aplikace radiofarmaka. U jiných radiofarmak může být jiná distribuční fáze a tedy zahájení snímání kratší (i bezprostředně po aplikaci) nebo naopak delší. Během doby, kdy pacient vyčkává na vyšetření, je vyzván k odložení kovových šperků a bezprostředně před samotným vyšetřením k vymočení a odložení si vrchní části oblečení. Potom je provedeno samotné snímání, které probíhá na lůžku. Po vyšetření je pacient odeslán do čekárny, kde vyčkává a je pod kontrolou personálu. Během této doby se kontroluje kvalita nasnímaných dat a taktéž se kontroluje stav pacienta. Pokud by došlo k alergické reakci na kontrastní látku, je důležitá včasná pomoc. Následně na vyzvání personálu pacient odchází. Vyšetření s přípravou radiofarmaka s čekáním mezi aplikací a samotným vyšetřením může trvat až 3 hodiny. Po vyšetření je pacientovi doporučeno zvýšit množství tekutin z důvodu rychlejšího vyplavení radioaktivní látky z těla a do druhého dne se zdržovat přítomnosti dětí či těhotných. Je nutné, aby se pacient na vyšetření řádně připravil a dbal pokynů personálu. Pacient musí být dostatečně zavodněn a to neslazenými tekutinami. U větší části vyšetření je nezbytné, aby se pacient dostavil na lačno. Alespoň 3 dny před vyšetřením je nutné omezit fyzickou aktivitu. (Nemocnice České Budějovice, a.s., 2013)

Z důvodu časové náročnosti vyšetření je zapotřebí uzpůsobit vyšetřovací lůžko pro pacienta tak, aby se minimalizovalo nepohodlí a předcházelo artefaktům vzniklých při pohybu pacienta. Proto je důležité zvolit vyšetřovací polohu s ohledem na věk a pohybovou zdatnost pacienta. Zvolením vhodných imobilizačních pomůcek můžeme zvýšit komfort a zabránit tak možným pohybovým artefaktům. (Ora et al., 2008)

1.3.1 Indikace a kontraindikace PET/CT

Indikace

Ve většině případů jsou k vyšetření PET/CT indikováni onkologičtí pacienti. Hybridní PET/CT se využívá při diagnostice tumoru, stagingu, posouzení recidivy nebo

také posouzení odpovědi organismu na protinádorovou léčbu. Další uplatnění má tato vyšetřovací metoda při diagnostice zánětů a horeček neznámého původu. Hybridní metodu lze využít v neurologii nebo kardiologii pro posouzení viability myokardu. (Kupka et al., 2007)

Kontraindikace

PET/CT je modalita využívající k vyšetření ionizující záření. Stejně tak jako při jiných metodách, kdy je použito ionizující záření, je i zde relativní kontraindikací těhotenství. Níže v kapitole 1.3.2 je popsáno, jak postupovat při vyšetření diabetického pacienta. Vyšetření PET/CT vylučuje vyšetřit pacienta s dekompenzovaným diabetem. Nadměrná obezita nebo deformita těla, která brání pacientovi ve volném prostupu otvorem gantry je také důvod k nevyšetření pacienta. Stejně tak i technické parametry vyšetřovacího stolu nedovolují vyšetřit pacienta s hmotností nad 220 kg. Pokud pacient nevydrží v klidu ležet přibližně 30 minut, je vyšetření také bezpředmětné, protože dochází ke znehodnocení obrazu v důsledku pohybových artefaktů. Při hodnocení odpovědi organismu na radioterapii, by měl být interval mezi ukončením léčby a vyšetřením PET/CT alespoň 3 měsíce. Podobně je tomu tak i v rozestupu ukončení chemoterapie a vyšetřením PET/CT, a to přibližně 2 týdny. Pro vyšetření operované oblasti je rozstup mezi výkonem a vyšetřením přibližně 6-8 týdnů. (Tichý, 2009)

1.3.2 Příprava diabetického pacienta před vyšetřením

Čím vyšší je hladina glukózy v krvi pacienta, tím se zhoršuje kvalita výsledného PET obrazu. Proto vysoké hodnoty glykémie limitují vyšetření a je nutné jej odložit, aby nedocházelo k nepříznivému ovlivnění výsledku. Postup při vyšetření je stejný jako u pacientů bez diabetu, s tím rozdílem, že je nutné před vyšetřením léčbu diabetu krátce přerušit. Je nutné alespoň 6 hodin lačnit a dostatečně pít neslazené nápoje. Ke každému pacientovi s diabetem se však přistupuje individuálně a proto je veškerý postup přípravy konzultován s lékařem. (Nemocnice České Budějovice, a.s., 2013)

1.3.3 Zvláštnosti při vyšetření

Zvláštním případem vyšetřování jsou děti, které často nezvládají porozumět situaci a při vyšetřování nespolupracují. Proto je v některých případech nutná aplikace tlumících léků. Další problém se vyskytuje při aplikaci radiofarmaka, zde je u neklidných pacientů nutná fixace ruky. Pokud se jedná o vyšetření kojící matky, je vhodné v závislosti na druhu použitého radiofarmaka přerušit na určitou dobu kojení.

U starších pacientů je nutné znát přidružená onemocnění a postupovat při vyšetření s ohledem na ně. (Bíbrová et al., 2000)

1.4 Principy radiační ochrany v nukleární medicíně

Po objevu rentgenového záření se začalo hojně využívat ionizujícího záření. Zpočátku si však nikdo nebyl vědom nežádoucích účinků. V roce 1896, tedy rok poté, co W. C. Röntgen vydal svou první publikaci o záření, byly zaznamenány první škodlivé účinky záření. Deset let po objevu x paprsků bylo zaznamenáno úmrtí způsobené nadměrným užíváním ionizujícího záření a postupem času se objevovaly další zmínky. Proto v roce 1928 vydal Mezinárodní výbor pro ochranu před zářením x a radiem (IXRPC) první doporučení a tím položil základy radiační ochrany. (Kubinyi et al., 2018)

1.4.1 Vybrané veličiny a jednotky

Aktivita A

Je to počet radioaktivních přeměn vztažených na určitou jednotku času. Hlavní jednotkou je becquerel [Bq]. Aktivita je definována jako radioaktivní přeměna za 1 s. 1 Bq je jednotka pro praxi velice malá a proto se používají její násobky.

$$1 \text{ kBq} = 1 \times 10^3 \text{ Bq}$$

Je vyjádřena vztahem:

$$A = \delta N / \delta t$$

Kde je A aktivita, δN je střední počet samovolných jaderných přeměn z daného energetického stavu v určitém množství radioaktivní látky a δt je časový interval. (Bíbrová et al., 2000)

S pojmem aktivita se pojí i poločas rozpadu T, tedy doba, za kterou se rozpadne přibližně polovina mateřských jader na jádra dceřinná a prezentuje např. rychlost vylučování radiofarmaka z organismu. (Šabata, 2019)

Dávka, absorbovaná dávka D

V souvislosti s popisem biologických účinků se zavedl pojem absorbovaná dávka, která vyjadřuje množství energie absorbované v materiálu na jednotku hmotnosti, jednotkou dávky je grey [Gy]. Je definována jako podíl střední sdělené energie, předané ionizujícím zářením v malém prostoru látky a hmotnosti této látky. V praxi se používá jednotek menších a sice mGy, kdy $1 \text{ mGy} = 10^{-3} \text{ Gy}$. (Bíbrová et al., 2000)

Tento vztah je vyjádřen:

$$D=d\varepsilon/dm$$

Kde je D absorbovaná dávka, $d\varepsilon$ střední energie a dm hmotnost materiálu.

Ekvivalentní dávka H_T

Je to součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu či tkáni pro ionizující záření. Jednotkou ekvivalentní dávky je $J \times kg^{-1}$ a nese název sievert [Sv].

Vztah vyjádřen jako:

$$H_T=D \times W_R$$

Kde platí, že H_T je ekvivalentní dávka, D je střední absorbovaná dávka a W_R příslušný radiační váhový faktor. Radiační váhový faktor je číslo, které vyjadřuje biologickou účinnost různých druhů záření, např. pro gamma záření a elektrony je váhový faktor roven 1, pro částice alfa je W_R roven 20. (Bíbrová et al., 2000)

Efektivní dávka E

Efektivní dávka je součtem součinů ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech a tkáňových váhových faktorů W_T . Jednotkou efektivní dávky je sievert [Sv]. Efektivní dávka umožňuje vyjádřit riziko stochastických účinků a s výhodou lze výsledné číslo použít pro porovnání rizik stochastických účinků při jednotlivých vyšetření. (Bíbrová et al., 2000)

Vztah vyjádřen:

$$E=H_T \times W_T$$

Kde E je efektivní dávka, H_T je ekvivalentní dávka a W_T je příslušný váhový faktor.

1.4.2 Mechanismus biologického účinku

Při průchodu fotonů γ nebo rentgenového záření hmotou dochází k určitým procesům, které jsou podmíněny složitou organizací živé hmoty. Podle interakce s obalem atomu lze dělit tyto děje na mechanismy s přímým a nepřímým účinkem. Pokud probíhá ionizace přímo v molekule DNA, jedná se o mechanismus s přímým účinkem, při kterém dochází ke zlomu vlákna DNA přímo v jádře buňky. Při nepřímém účinku interaguje elektron nejprve s volnými radikály OH a H, což vede k přerušení chemických vazeb a následně také k poškození vlákna DNA. (Kupka et al., 2007)

Po poškození DNA dochází k její reparaci, během tohoto procesu však může dojít k chromozomové aberaci (abnormalita na úrovni

chromozomů). (Havránková et al., 2018) Ve druhém případě může dojít ke smrti buňky, k čemuž je nutná vyšší dávka záření. Pokud ztrácí buňka schopnost dále se rozmnožovat, tzn. dělit se, jedná se o mitotickou smrt buňky. (SÚJB)

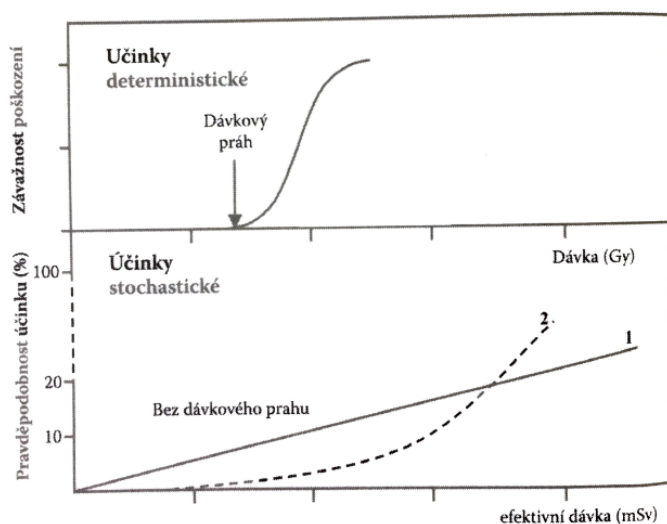
Po zasažení ionizujícím zářením má tedy buňka tři možnosti, v prvním případě buňka škody opraví a žije dál. Ve druhém případě zahyne buňka na následky poškození, přičemž může při takovémto poškození více buněk zahynout i celý organismus. A v posledním případě buňka sice nezahyne, ale v důsledku neopravení škod může dojít k rakovinnému bujení nebo přenosu (pokud jde o spermie nebo vajíčko) na potomstvo, což se může i nemusí projevit některou vadou. (Rosina, 2013)

Radiosenzitivita

Je to vnímavost různých tkání k ionizujícímu záření, jehož následky se klinicky projevují. Nejvíce radiosenzitivní jsou tkáně s rychle se dělícími a málo diferenciovanými buňkami (např. kostní dřeň). Na rozdíl od tkání, které se dělí málo nebo vůbec a jsou již plně diferenciované (např. mozek). (Koranda et al., 2014)

1.4.3 Účinky deterministické a stochastické

Z hlediska radiační ochrany se biologické účinky ionizujícího záření zpravidla dělí na dvě skupiny (obr. 3). První skupinu tvoří deterministické účinky, které podmiňuje prahová dávka ionizujícího záření a intenzita projevu těchto účinků se úměrně zvyšuje s obdrženou dávkou. Další skupinou jsou stochastické účinky, které se vyskytují s určitou pravděpodobností. (Havránková, et al., 2018)



(Kupka et al., 2007)

Obrázek 3: Účinky ionizujícího záření

Stochastické účinky

Jsou to účinky ionizujícího záření, které se vyskytují s určitou pravděpodobností. Přičemž zvýšením dávky záření zvyšujeme pravděpodobnost výskytu těchto účinků, tato závislost je vyjádřena lineárním vztahem. Mezi stochastické účinky může patřit např. vznik zhoubných nádorů nebo genetických změn, avšak u žádného jedince nelze přesně určit, zda jde právě v jeho případě o důsledek ozáření. Stupeň malignity není úměrný dávce záření. V závislosti na čase se stochastické účinky objevují až později po ozáření. (Kupka et al., 2007)

Deterministické účinky

Deterministické účinky vznikají až po překročení určité prahové dávky, která je u jednotlivých tkání rozdílná. Oproti stochastickým účinkům se u deterministických účinků zvyšuje míra závažnosti v závislosti na obdržené dávce. Projevy přichází obvykle krátce po ozáření. (Koranda et al., 2014)

Mezi deterministické účinky patří akutní nemoc z ozáření, která se projevuje v důsledku celotělového ozáření např. hlubokými nekrózami či zhroucením imunitních obranných mechanismů. Při vysokých dávkách (nad 50 Gy) nemocný umírá. Dalším důsledkem může být zákal oční čočky, radiační dermatitis, poškození embrya či plodu a další. (Kupka et al., 2007)

1.4.4 Zásady radiační ochrany

Vzhledem k možným rizikům používání ionizujícího záření je státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) stanoven atomový zákon, zákon č. 263/2016 Sb. Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropského společenství pro atomovou energii (Euratom) a Evropské unie zároveň navazuje na přímo použitelné předpisy Euratomu a Evropské unie. Tento dokument poskytuje veškeré informace týkající se např. zabezpečení jaderného zařízení, monitorování radiační situace, nakládání s radioaktivním odpadem, podmínky mírového využívání jaderné energie, zvládání mimořádné radiační události a další. Konkrétní vyhláška č. 422/2016 Sb., pak definuje radiační ochranu a zabezpečení radionuklidového zdroje. Stanovuje např. obecné limity, kategorizuje zdroje ionizujícího záření, obsahuje přesné postupy pro evidenci a zabezpečení zdrojů a další. Základní principy radiační ochrany jsou postaveny na zdůvodnění činností a zdrojů, jde o zhodnocení přínosů, rizik a nákladů. Dalším je princip optimalizace ochrany, kde se uplatňuje princip ALARA (což je zkratka As Low As Reasonably Achievable) a znamená to použití dávky záření tak nízké, jak je to

rozumně dosažitelné za předpokladu, že se berou v úvahu ekonomická hlediska. A posledním je princip dávkových limitů, které jsou rozdílné pro obyvatele, radiační pracovníky a studenty a žáky, tyto limity se nevztahují na lékařské či havarijní ozáření. (Kubinyi et al., 2018)

Limity pro radiační pracovníky

Jeho překročení je neakceptovatelné, slouží pro eliminaci profesního ozáření. Vyhláška 422/2016 Sb stanovuje následující limity. Limitovaná veličina představuje součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 20 mSv/ rok, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv/ rok, pokud schválí úřad. Ekvivalentní dávka na oční čočku 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce. Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm kůže 500 mSv za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy. Pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za jeden kalendářní rok.

Překročení limitů může být důvodem k dočasnému vyřazení z pracovního procesu, alespoň do doby, než je jeho zdravotní stav vyhodnocen jako způsobilý k výkonu povolání. (Kubinyi et al., 2018)

Limity pro učně

Vyhláška 422/2016 Sb. stanovuje následující limity pro učně. Tyto limity se vztahují na osoby, které během studia pracují se zdroji ionizujícího záření a jsou mladší 18 let. Dané limity jsou určeny za jeden kalendářní rok. Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 6 mSv, pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv, pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 150 mSv bez ohledu na ozářenou plochu a pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 150 mSv.

Limity pro studenty starší 18 let jsou shodné s limity pro radiační pracovníky. (Kubinyi et al., 2018)

Limity pro obyvatele

Pro objektivní limitování je určena reprezentativní skupina obyvatel. Jedná se o ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností za jeden kalendářní rok. (Kubinyi et al., 2018) A je to opět součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 1 mSv/ rok. Pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv/ rok a pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 50 mSv/rok bez

ohledu na velikost ozářené plochy. Tyto limity stanovuje vyhláška 422/2016 Sb. Na každém radiačním pracovišti je vymezeno kontrolované a sledované pásmo, které podléhá přesným definicím. Kontrolované pásmo se vymezuje tam, kde by efektivní dávka pracovníků mohla překročit 6 mSv/ rok nebo by dávka mohla být vyšší než 0,3 dávky pro oční čočku, kůži a končetiny. Pro toto pásmo je zavedena dokumentace o pohybu osob, které nejsou radiačními pracovníky, ale nevztahuje se na osoby, které podstupují lékařské ozáření. Na odděleních se také vymezuje sledované pásmo, které má mírnější limity, a sice 1 mSv/ rok nebo by zde mohla být ekvivalentní dávka vyšší než 0,1 limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. (Šabata, 2019)

1.4.5 Ochrana a monitorování pracovníků na oddělení NUM

Téměř vždy je práce na oddělení nukleární medicíny spojena s rizikem ozáření personálu, zejména při manipulaci s radiofarmakem a podávání pacientovi. Pro nepřekračování stanovených limitů na pracovištích nukleární medicíny je stanovena celá řada opatření. (Kupka et al, 2007) Pro kontrolu a sledování limitů je každý pracovník kategorie A opatřen osobním dozimetrem, který musí být umístěn na referenčním místě, jež je levá horní část hrudníku, popř. prstový dozimetr. Dozimetry mohou být filmové, termoluminiscenční nebo elektronické. Tyto dozimetry se jedenkrát za měsíc odesílají ke kontrole osobní efektivní dávky na CSOD (celostátní služba osobní dozimetrie). Pro monitorování prostředí se používají nejčastěji Geiger-Müllerovi detektory, které patří do skupiny ionizačních detektorů. (Šabata, 2019)

Při ochraně radiačních pracovníků vycházíme ze třech metod ochrany. Ochrana vzdáleností, stíněním a časem. (Kupka et al., 2007)

Ochrana vzdáleností

Vzhledem k tomu, že záření ubývá se čtvercem vzdálenosti, to znamená, že dávka záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Proto je při manipulaci s radiofarmaky použito nástrojů, jako jsou např. pinzety či peány. (Kupka et al, 2007)

Ochrana časem

Vychází se ze skutečnosti, že radiační zátěž pracovníka se lineárně zvyšuje s dobou, po kterou se pracovník nachází v blízkosti zdroje, tímto zdrojem ionizujícího záření může být naaplikovaný pacient. (Bíbrová et al., 2000) Z tohoto důvodu se například doporučuje zůstat s aplikovaným pacientem jen po dobu, která je nezbytně nutná. Stejně tak se postupuje při manipulaci s radiofarmakem či zavřenými zářiči. (Šabata, 2019)

Ochrana stíněním

Ochrana stíněním je uskutečněna tím, že se mezi pracovníka a zdroj ionizujícího záření vloží vhodný materiál, který zeslabí svazek záření a tím výrazně sníží jeho expozici. Tento materiál se různí podle druhu emitovaných částic, např. pro záření alfa a beta se mohou použít plasty, pro záření gamma se musí zvolit takový materiál, který má vysokou hustotu, nejčastěji je použito olovo. (Koranda et al., 2014) V praxi se využívá např. kryt pro lahvičku s radiofarmakem i pro injekční stříkačku s radiofarmakem, mezi ovladovnou a vyšetřovnou je olovnaté sklo, atd.

1.5 Radiofarmaka používaná při PET

Radiofarmaka jsou přípravky, které obsahují radionuklid a jsou využitelná pro diagnostiku nebo terapii. Výroba radiofarmak a manipulace s nimi se obecně považuje za potenciálně rizikové činnosti a zahrnuje především zásady dodržování radiační ochrany. Každé ať už hromadně vyrobené nebo individuálně vyrobené radiofarmakum musí být patřičně označeno. (Ministerstvo zdravotnictví, 2017)

Radiofarmakum je složeno ze dvou složek, z radionuklidu a z biologicky účinného přípravku. Tento biologický prvek (nosič) se vybírá na základě toho, ve kterém orgánu či tkáni se vychytává, popř. dle toho jak se podílí na metabolických procesech. (Lang, 1998)

Při aplikaci určitého množství radiofarmaka nelze vycházet ze základních jednotek objemu, pro tyto účely slouží veličina objemová aktivita (v MBq/ml), která udává aktivitu radiofarmaka vztaženou na jednotku objemu. Povolené množství radiofarmaka je dáno vyhláškou o ochraně před ionizujícím zářením, což prezentují tzv. diagnostické referenční úrovně. (Šabata, 2019)

1.5.1 Diagnostické referenční úrovně

Pro princip optimalizace dávky pro pacienty byl zaveden pojem diagnostické referenční úrovně (DRÚ). DRÚ mají zaručit dostatečnou diagnostickou informaci a současně přinést pacientovi minimální radiační zátěž. (Havránková et al., 2018) Jedná se o aktivitu radiofarmaka, u které se za běžné praxe a dodržení standardních postupů nepředpokládá její překročení. Tato hodnota je vztažena na dospělého pacienta vážícího 70 kg. Např. pro zobrazení viability myokardu je DRÚ 550 MBq. (Kubinyi et al., 2018)

1.5.2 Výroba radiofarmak pro PET

Pro potřeby vyšetření PET se nejčastěji používají pozitronové radionuklidy vyráběné v cyklotronech, proto se na místo potřeby dováží jednou až dvakrát denně a to již ve formě radiofarmaka. (Šabata, 2019)

V cyklotronech se nejprve pomocí elektrického pole částice urychlují a následně se jejich dráha zakříví pomocí magnetického pole. Urychlené částice obíhají po spirále se stále se zvětšujícím poloměrem, až narazí na terčik, kde v závislosti na materiálu terčiku vzniká jadernými reakcemi daný radionuklid. Následně je terčik rozpuštěn a radionuklid chemickým procesem oddělen. (Kubinyi et al., 2018) V praxi se může jednat například o pozitronové zářiče ^{18}F s poločasem rozpadu $T = 110$ min., ^{11}C ($T = 20$ min.), ^{13}N ($T = 10$ min.), ^{15}O ($T = 2,1$ min.).

Mohou se ale také používat radiouklidy generátorové, přičemž je v generátoru z mateřského radionuklidu s dlouhým T , oddělen po promytí elučním prostředkem dceřinný radionuklid s kratším T . Tato příprava probíhá na oddělení nukleární medicíny. Nejčastěji používaný je molybden- techneciový generátor. (Šabata, 2019)

1.5.3 Příprava, podávání a uchování radiofarmak

Při přípravě se může radiofarmakum stát významným zdrojem ionizujícího záření pro personál, z tohoto důvodu jsou zavedena opatření, díky nimž toto riziko minimalizujeme. Pokud není radiofarmakum na oddělení nukleární medicíny dopraveno výrobcem, provádí se jeho příprava v laboratoři pro přípravu radiofarmak. (Koranda et al., 2014)

Vzhledem k tomu, že aktivita každého připraveného radiofarmaka ubývá s časem, musí dojít k přesnému organizování vyšetření během dne tak, aby každý pacient obdržel odpovídající aktivitu záření a vyšetření bylo účinné. (Šabata, 2019) Každé radiofarmakum musí být řádně označeno, a sice názvem přípravku, identifikačním číslem, radioaktivitou vztaženou k referenčnímu datu, způsobem podání, dobou použitelnosti, atd. Množství radiofarmaka podané pacientovi je individuální, protože závisí na hmotnosti každého pacienta. (Bíbrová et al., 2000)

Aplikované radiofarmakum se dostává do organismu pacienta a dochází k jeho distribuci, která je závislá na chemické struktuře biologicky účinného prvku, tzv. farmakokinetice. (Rosina, 2013) Podle cesty vpravení do organismu se dělí radiofarmaka na:

- intravenózní (i.v.) aplikace- RF je podáno do žíly

- per os (p.o.) aplikace- RF je podáno ústy
- inhalační aplikace- aplikace plynů nebo aerosolů
- lokální aplikace- např. do kloubních dutin, kůže, aj.

Radiofarmaka určená k aplikaci pro PET se aplikují výhradně intravenózně. Většina RF se spotřebuje během několika hodin. Pokud dojde k tomu, že se z nějakého důvodu nespotebují RF připravená pro aplikaci téhož dne, je s nimi naloženo jako s radioaktivním odpadem. (Kubinyi et al., 2018)

1.5.4 Požadavky na radiofarmaka

Vzhledem k tomu, že radiofarmaka slouží k podání pacientům, dbá se na jejich přísné kontroly kvality. Tyto kontroly se postupem zásadně neliší od kontrol prováděných u neradioaktivních léčiv. Radioaktivní léčiva podléhají navíc ještě kontrolám fyzikálně- chemickým a biologickým. (Kupka et al., 2007) Navíc musí ještě RF splňovat specifické požadavky, mezi které patří stabilita RF po dobu možného použití. Tato doba bývá zpravidla 4-6 hodin, u některých RF se však může jednat jen o desítky minut. (Šabata, 2019)

Fyzikálně- chemické testy

Fyzikálně chemické testy zahrnují stanovení aktivity RF, radionuklidovou čistotu a radiochemickou čistotu. Aktivita se měří pomocí studňové ionizační komory nebo při nižších aktivitách postačí scintilační detektor. Radionuklidová čistota se udává poměrem aktivity deklarovaného radionuklidu k celkové aktivitě radionuklidu. Za znečištění se považuje přítomnost jiných radionuklidů buď stejného, nebo jiného prvku. (Kupka et al., 2007) Toto znečištění může mít za následek zkreslení výsledku vyšetření a zároveň zvyšuje radiační zátěž pacienta. K detekci a stanovení radionuklidových nečistot se používá gama spektrometrie, pro alfa a beta emitující radionuklidy se užívá jiných metod měření. (Lang, 1998) Radiochemická čistota je dána podílem aktivity požadované radiochemické formy a součtu všech radiochemických forem v přípravku. (Kupka et al., 2007) Při výrobě radiofarmak mohou vznikat další chemické radioaktivní sloučeniny, které nejsou žádoucí. Proto jsou prováděny testy, pro určení radiochemické čistoty RF, např. chromatografie. Minimální hodnota čistoty RF je 95 % z celkové aktivity. (Ministerstvo zdravotnictví, 2017) Limity pro specifikované radiochemické nečistoty jsou stanovené např. v českém lékopisu.

Biologické testy

Cílem těchto zkoušek je především zajistit bezpečnost RF, které z biologického hlediska musí splňovat především tři požadavky:

- sterilita- nesmí obsahovat choroboplodné zárodky
- apyrogenost- nesmí obsahovat látky, které by mohly vyvolat horečku
- netoxičita- v aplikovaném množství nesmí být pro pacienta toxické (Lang, 1998)

1.6 Kontrastní látky

Různé tkáně v lidském těle rozdílně absorbují rtg záření. Funkce kontrastních látek (KL) spočívá v tom, že se tento kontrast ve výsledku ještě více projeví a dané struktury se lépe anatomicky zobrazí. Můžeme rozlišovat pozitivní kontrastní látky, které absorpci rtg záření zvyšují (např. baryové, jodové KL) nebo negativní kontrastní látky, které absorpci snižují (např. kyslík, CO₂, voda, manitol, sorbitol). KL se aplikují buď enterálně (perorálně, rektálně), nebo parenterálně (intravaskulárně, do tkáně, do preformované dutiny). (Nekula et al., 2003)

1.6.1 Parenterální kontrastní látky

Jako cesta vstupu je zvolena intravaskulární aplikace, přičemž se obchází gastrointestinální trakt. Jedná se o látky obsahující chemický prvek jód, tyto látky mohou mít rozdílnou osmolalitu vůči krvi a podle toho se dělí na isoosmolální, nízkoosmolální a vysokoosmolální. Pro parenterální aplikace jsou nejvíce vhodné isoosmolální a nízkoosmolální KL, z důvodu menšího výskytu nežádoucích účinků po aplikaci. (Schober, 2010)

Nejužívanější skupinou jsou nefrotropní jodové kontrastní látky, které jsou vyloučeny ledvinami. V ideálním případě by měly být vysokokontrastní, nesmí poškozovat funkce jiných orgánů a měly by být snadno vylučitelné z organismu. Jodové kontrastní látky způsobují různé alergické reakce organismu, jejich závažnost závisí na teplotě, koncentraci a množství KL. Vedlejší reakci ovlivňuje několik faktorů, mezi které patří i ionizace a osmolalita. Nejvíce kvalitní jsou neionické- nízkoosmolální kontrastní látky, avšak jsou výrazně dražší než ionické vysokoosmolální kontrastní látky. (Nekula et al., 2003) Samotný jód je vysoce toxický, proto je do těla pacienta dopravován ve vazbě na benzenové jádro. (Malíková et al., 2019)

1.6.2 Enterálně aplikované KL

Jako přírodní cesta látek do organismu se volí perorální aplikace. Použití pozitivních baryových a jodových KL je z hlediska artefaktů a korekce atenuace pro účely PET/ CT nevhodné. Jako negativní kontrastní látka může být použit např. roztok manitolu nebo voda. (Kratochvíl, 2019)

1.7 Komplikace při vyšetření PET/CT spojená s aplikací kontrastní látky

1.7.1 Kontrastem indukovaná nefropatie (CIN)

Jedná se o náhle avšak reverzibilní zhoršení funkce ledvin po parenterálním podání kontrastní látky v průběhu do dvou dnů od aplikace. Porucha funkce ledvin po podání parenterálním podání jodové kontrastní látky se projevuje zvýšením hladiny sérového kreatininu a průběh je ve většině případů bez symptomů. (Ševela et al., 2011)

CIN zasahuje oblast renálního parenchymu, zejména zónu dřeně a může při ní dojít k renální vazokonstrikci se sníženým průtokem krve ledvinami, k nekróze buněk vlivem cytotoxického účinku a dalším poškozením. Všechna tato poškození vedou k fibróze a apoptóze na buněčné úrovni. (Barbero et al., 2019)

Pokud má pacient normální renální funkce je u něj riziko rozvoje CIN minimální. Aby bylo možné včasné zakročení a ovlivnění rozvoje CIN je stanovena riziková skupina pacientů. Do této skupiny se řadí pacienti s onemocněním diabetes mellitus, pacienti starší 75 let a pacienti s preexistujícím renálním poškozením. (Ševela et al., 2011)

Podíl na rozvoji CIN mohou mít i některé léky, např. léky ze skupiny cytostatik, neurotoxická antibiotika a některá imunosupresiva. Jako prevenci před CIN lze uplatnit hydrataci před vyšetřením a vhodný výběr KL s aplikovaným omezeným množstvím na nezbytně nutné. (Teplan, 2011)

1.7.2 Alergická reakce na kontrastní látku

Dalším nežádoucím účinkem spojeným s aplikací kontrastních látek mohou být alergické reakce na ně. Jde o náhle vzniklý stav, který v závislosti na závažnosti reakce organismu rozdělujeme alergickou a anafylaktickou reakci. Před samotnou aplikací KL je nezbytně nutné, aby bylo připraveno vše na případnou protišokovou léčbu. Mezi méně závažné reakce patří nevolnost, zvracení, kopřivka. Za středně závažné reakce můžeme považovat bronchospasmy, edém tváře, prudké zvracení. Těžké alergické reakce se může projevit hypotenzním šokem, zástavou dechu nebo srdeční zástavou.

K zastavení rozvoje alergické reakce na podání KL se běžně používají kortikoidy intravenózně. Jako premedikace pro rizikovou skupinu pacientů se užívají antihistaminika a kortikoidy. (Lülmann et al., 2004)

Aby se předcházelo rozvoji alergické reakce, každý pacient před vyšetřováním vyplní anamnestický dotazník, kde se mimo jiné snažíme zjistit, zda je pacient alergický na jód či mořské plody (mořské plody obsahují vyšší množství jódu). Pokud je pacient alergický musí být adekvátně premedikován.

1.7.3 Paravenózní aplikace

Paravenózní aplikace (paraaplikace) je stav, kdy dochází k tomu, že je periferní žilní katétr (PŽK) zaveden mimo žilní systém pacienta. Pokud se tato skutečnost nezjistí včas, může dojít k tomu, že kontrastní látka bude aplikována do okolních měkkých tkání pacienta nebo nebude tato aplikace možná vůbec. Vyšetřovací proces se musí zastavit a žilní katétr zavést správně. Nemusí se však jednat pouze o špatné zavedení PŽK ze strany personálu nemocnice.

K paraplikaci KL může dojít i tak, že při vzpažení a uložení pacienta do konečné snímací polohy dojde k „zalomení“ či povysunutí kanyly a aplikace KL je opět nemožná.

Další paravenózní aplikace může nastat v důsledku nevhodně zvoleného tlaku na injektor, ať už při ruční nebo automatické aplikaci, a to může mít za následek rupturu žíly pacienta. Ve všech případech dochází ke zdržení vyšetřování. Pacientovi se navíc může lokálně objevit hematoma, otok nebo zánět v místě vpichu, pokud se tak stane, doporučíme pacientovi chladit místo vpichu.

1.7.4 Nauzea, emesis, diarrhoea

Jako reakce na podání kontrastní látky se někdy může objevit u pacientů nepříjemný pocit na zvracení (nauzea) nebo dokonce k vypuzení obsahu žaludku- zvracení (emesis). Pokud by došlo k emezi nebo úniku stolice během vyšetření, snímání se musí přerušit a místnost vyšetřovny uklidit. Při úklidu se musí k obsahu žaludku či střev přistupovat jako k radioaktivnímu odpadu, opět dochází ke zdržení naplánovaných vyšetření.

1.8 Komplikace při vyšetření PET/CT spojená s aplikací radiofarmaka

Množství radiofarmaka se stanovuje individuálně pro každého pacienta s ohledem na jeho hmotnost a další faktory. Během vyšetření musí být aplikována optimální

aktivita RF, aby byl výstup vyšetření kvalitně zobrazen. Pokud dojde z nějakého důvodu k tomu, že je pacientovi systémově podána nižší aktivita než je DRÚ, dochází k zásadnímu zhoršení kvality vyšetření. Tím může být významně ovlivněno hodnocení SUV (standardized uptake values). SUV je definován jako poměr aktivity v oblasti zájmu (ROI- regions of interest) k aktivitě celého těla a slouží k určení malignit. (C. Paulino, 2008) Chybně aplikovaná vyšší aktivita znamená pro pacienta zbytečnou radiační zátěž.

1.9 Nesoučinnost pacienta jako komplikace PET/CT vyšetření

1.9.1 Neklid, pohyby pacienta

Během vyšetřování musí být pacient v naprostém klidu a je zapotřebí, aby eliminoval pohyb. A to včetně extrémních respiračních pohybů. Před samotným snímáním je na to pacient několikrát upozorňován personálem nemocnice. Pokud pacient neuposlechne pokyny, může dojít k pohybové neostrosti výsledného obrazu (PET i CT), popřípadě misregistrací obrazů PET a CT, a to je důvodem k opakování vyšetření. Opakování vyšetření může zdržet program naplánovaných vyšetření a v extrémní situaci může dojít i k tomu, že poslední pacient nebude vyšetřen, protože aktivita radionuklidu, které se připravuje ráno pro všechny pacienty, by nebyla dostatečná k získání kvalitního výsledného obrazu. Pohyby mohou být způsobeny např. kýchnutím, kašlem, tzv. škytavkou, strachem z vyšetření, spontánními neuvědomovanými pohyby. Pohyby mohou být vyvolané i aplikací kontrastní látky, která někdy může vyvolat nepříjemné pocity horka, i na to je však pacient předem upozorněn. K zajištění co možná největšího pohodlí pacienta jsou použity různé fixační pomůcky. Pacientovi lze podložit např. nohy nebo hlavu klíny, které jsou pro tyto účely určené.

1.9.2 Klaustrofobie

Vyšetření klaustrofobického pacienta je možné. Pokud na fobii upozorní pacient, po konzultaci s lékařem může dojít ke kompenzaci např. premedikace anxiolytiky nebo sedace pacienta. Problém nastává, když se klaustrofobie projeví nečekaně při samotném snímání či bezprostředně před ním. Vyšetření aplikovaného pacienta nelze přerušit z hlediska zbytečné radiační zátěže pacienta. Výsledkem může být buď omezená spolupráce pacienta a zhoršení kvality vyšetření pohybovými

artefakty (viz kapitola 1.9.1), nebo v případě, že je nezbytné dodatečně farmakologicky zklidnit pacienta, zdržení v provozu se všemi důsledky popsány výše.

1.9.3 Neadekvátní příprava ze strany pacienta

Jak již je zmíněno výše v kapitole 1.3 Průběh vyšetření na oddělení nemocnice České Budějovice, a.s. musí proběhnout určitá příprava pacienta před vyšetřením. Každý pacient je před vyšetřením adekvátně poučen o přípravě, kterou má vykonat před samotným vyšetřením. K pacientům se přistupuje individuálně vzhledem k jejich věku a rozumovým možnostem. V případě nezletilých pacientů jsou informováni zákonní zástupci, případně je poučena osoba doprovázející pacienta. Každý pacient musí podepsat informovaný souhlas s vyšetřením. Přesto se ale může stát, že přijde pacient, který není dostatečně připraven, např. v den vyšetření konzumoval potraviny nebo slazené nápoje, nepřerušil antidiabetickou či jinou medikaci. V těchto případech by mohlo dojít ke zkreslení obrazu, rizika vyšetření by mohla být příliš vysoká nebo podání radiofarmaka neúčinné, a tak opět dojde k odložení vyšetření.

1.10 Další (neovlivnitelné) faktory na straně pacienta jako komplikace PET/CT vyšetření

1.10.1 Inkontinence

Podstatnou část vyšetřovaných pacientů tvoří starší pacienti. Ve vyšším věku dochází k involučním změnám, ke kterým může patřit i inkontinence moči nebo stolice. Pokud by došlo v průběhu vyšetření k úniku některému ze sekretu a potřísnění vyšetřovacího lůžka nebo vyšetřovny, dochází k zastavení vyšetření a úklidu sekretů, ke kterým se přistupuje jako k radioaktivnímu odpadu.

1.10.2 Nedodržení vyšetřované polohy

Každý pacient je před vyšetřením uveden do tzv. vyšetřovací polohy. Pro vyšetření trupu by měl mít pacient v poloze vleže na zádech ruce vzpažené a po dobu vyšetření musí v této poloze setrvat. Někdy ale pacient není této polohy schopný vzhledem ke stáří nebo bolestem zad či kloubů. V tuto chvíli musí dojít ke změně polohy pacienta, kdy může mít pacient jednu nebo obě ruce podél těla. To je však zdrojem atenuačních artefaktů v PET i CT obraze a dochází ke zhoršení kvality vyšetření.

1.10.3 Nadměrná obezita

Vyšetření může proběhnout pouze za předpokladu, že pacient kontinuálně projde na lůžku kulatým otvorem gantry, který má v průměru 78 cm. Pokud je pacient nebo některé partie širší než otvor gantry, vyšetření nelze provést. Nosnost vyšetřovacího stolu je také omezená, u jednotlivých výrobců se může lišit, ale obvykle bývá kolem 200 kg.

Obezitu i bez ohledu na to, zda lze pacienta vyšetřit, považujeme za faktor nepříznivě ovlivňující kvalitu vyšetření. Jednak z hlediska atenuace a také proto, že field of view (FOV) má omezené rozměry, které by mohly být nedostatečné k zobrazení těla obézního pacienta v celé šíři. (Kratochvíl, 2019)

2 Praktická část

2.1 Formulace cíle práce

Cílem práce bylo sledovat komplikace při PET/CT vyšetřeních na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s., provést jejich analýzu a v případě možnosti navrhnout systémová preventivní opatření. Bakalářská práce by mohla posloužit jako edukační materiál s cílem prevence, který lze aplikovat na oddělení nukleární medicíny NEMČB.

2.2 Formulace hypotézy

Nejčastější komplikace při vyšetření PET/CT jsou zapříčiněny nesoučinností pacienta.

2.3 Metodika

Výzkumné šetření bakalářské práce bylo realizováno kvantitativní formou na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s. K získání dat bylo využito aplikačních listů (viz příloha 1), kam radiologický asistent stručně popisuje příslušnou komplikaci, pokud při vyšetření nastala. Aplikační listy za standardních podmínek provázejí všechna PET/CT vyšetření. Z aplikačních listů lze vyčíst, jak průběh vyšetření, tak i samotnou přípravu jako např. jaké radiofarmakum má být a bylo použito a jaké množství. Zda byla podána kontrastní látka, jaká a jakou cestou. Lékař také zapisuje vyšetřovací polohu pacienta, v jakém rozsahu se bude vyšetření provádět a další.

Výzkumné šetření bylo provedeno s pomocí primáře oddělení nukleární medicíny, MUDr. Vojtěcha Kratochvíla, MHA za období leden 2019- červen 2019, tedy za období první poloviny roku. Analýza se týkala veškerých vyšetření na PET/CT přístroji, která v tomto období proběhla. Obsahovala 1041 složek pacientů, komplikace byla objevena u 130 vyšetření. Oddělení nukleární medicíny, Nemocnice České Budějovice, a.s. mi poskytlo potřebné složky pacientů, z čehož jsem vycházela při interpretaci anonymizovaného šetření. Výzkumný soubor tvořili pacienti vyšetření v PET centru na oddělení nukleární medicíny.

Výsledky byly zpracovány do tabulek a prezentovány pomocí grafů v programu Microsoft Office Excel 2007 a Microsoft Office Word 2007. Většina výsledků byla vyjádřena pomocí absolutní a relativní četnosti. Následně bylo pro lepší představu vypočítáno, kolik průměrně vychází vyšetření a komplikací na měsíc a následně i na den.

2.4 Výsledky výzkumu

Tabulka 1: Výchozí data

Komplikace	Absolutní četnost
Nízká aktivita v těle pacienta	1
Pacient odešel před vyšetřením	1
Exantém	3
Technické závady	5
Pacient potřebuje vykonat stolici/ močení	5
Nelze sundat šperky	6
Pohyby pacienta	10
Pacient nerefektuje pokynů personálu	14
Nauzea, emesis	18
Paravenózní aplikace	19
Kašel, kýchání	23
Změna vyšetřovací polohy	25

zdroj: vlastní výzkum

Tabulka 1 ukazuje výchozí data v podobě absolutních četností komplikací, ze které byla následně formována analýza.

2.5 Formulace statistického šetření

- Hromadný náhodný jev - zjišťování četnosti komplikací při vyšetření PET/CT na oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice, a.s.
- Statistická jednotka- 1 vyšetření
- Statistický znak- konkrétní zjištěná komplikace při vyšetření
- Základní statistický soubor- 1041 vyšetření
- Výběrový statistický soubor- 130 vyšetření s komplikací

Tabulka 2: Formulace statistického šetření

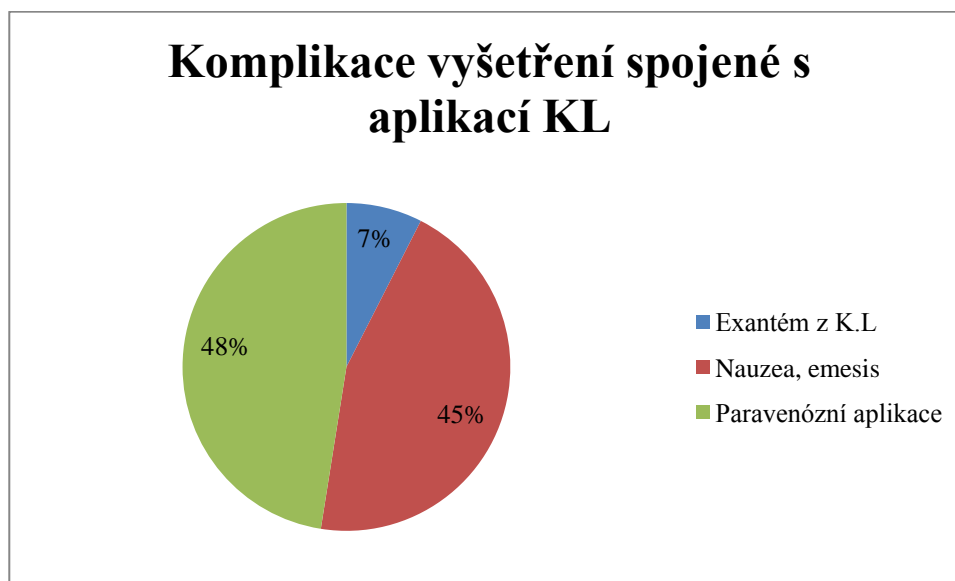
Komplikace (x_i)	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$\sum n_i$
Nízká aktivita v těle pacienta	1	0,77%	0,007692308	1
Pacient odešel před vyšetřením	1	0,77%	0,015384615	2
Exantém	3	2,31%	0,038461538	5
Technické závady	5	3,85%	0,076923077	10
Pacient potřebuje vykonat stolici/ močení	5	3,85%	0,115384615	15
Nelze sundat šperky	6	4,62%	0,161538462	21
Pohyby pacienta	10	7,69%	0,238461538	31
Pacient nereflektuje pokynů personálu	14	10,77%	0,346153846	45
Nauzea, emesis	18	13,85%	0,484615385	63
Paravenózní aplikace	19	14,62%	0,630769231	82
Kašel, kýchání	23	17,69%	0,807692308	105
Změna vyšetřovací polohy	25	19,23%	1	130
Celkem komplikací	130	1		

zdroj: vlastní výzkum

Tabulka 3: Komplikace spojené s aplikací KL

Komplikace	Absolutní četnost	Relativní četnost
Exantém	3	7%
Nauzea, emesis	18	45%
Paravenózní aplikace	19	48%
Celkem	40	100%

zdroj: vlastní výzkum

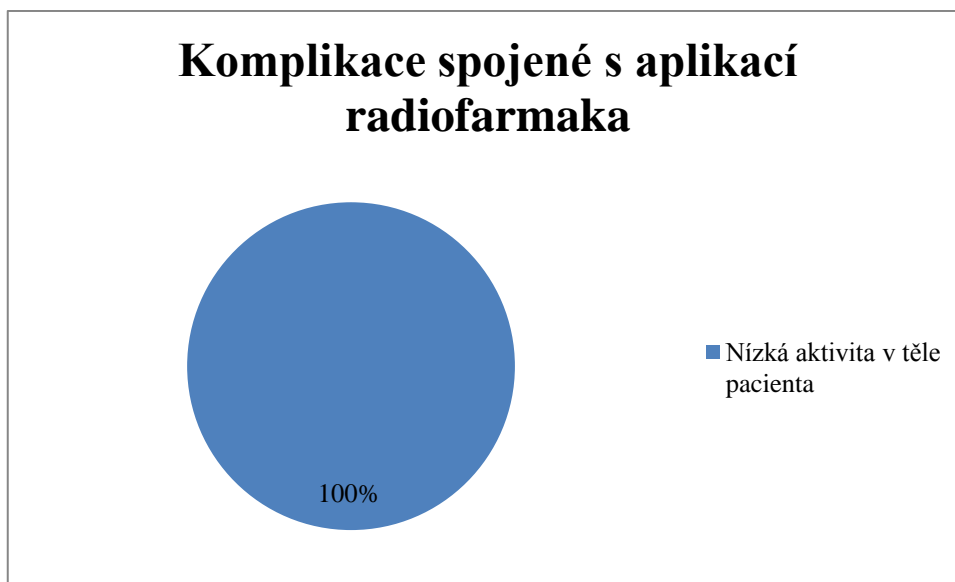


Obrázek 4: Graf komplikací vyšetření spojených s aplikací KL

Z tabulky č. 3 a grafu č. 4 je patrné, že komplikací spojených s aplikací kontrastní látky bylo celkem 40. Z počtu 40 byly 3 případy (7 %) exantému způsobené nitrožilní aplikací KL. Tento exantém se vyskytl lokálně v místě vpichu a pacient byl následně medikován. Nauzea nebo zvracení se projevilo v 18 (45 %) případech, z aplikačního listu lze vyčíst, že ve 13 případech se jednalo o nauzeu a v 5 případech došlo k emesi. S největší četností se objevila paravenózní aplikace, a to v 19 (48 %) případech.

Tabulka 4: Komplikace spojené s aplikací RF

Komplikace	Absolutní četnost	Relativní četnost
Nízká aktivita v těle pacienta	1	100%
Celkem	1	100%



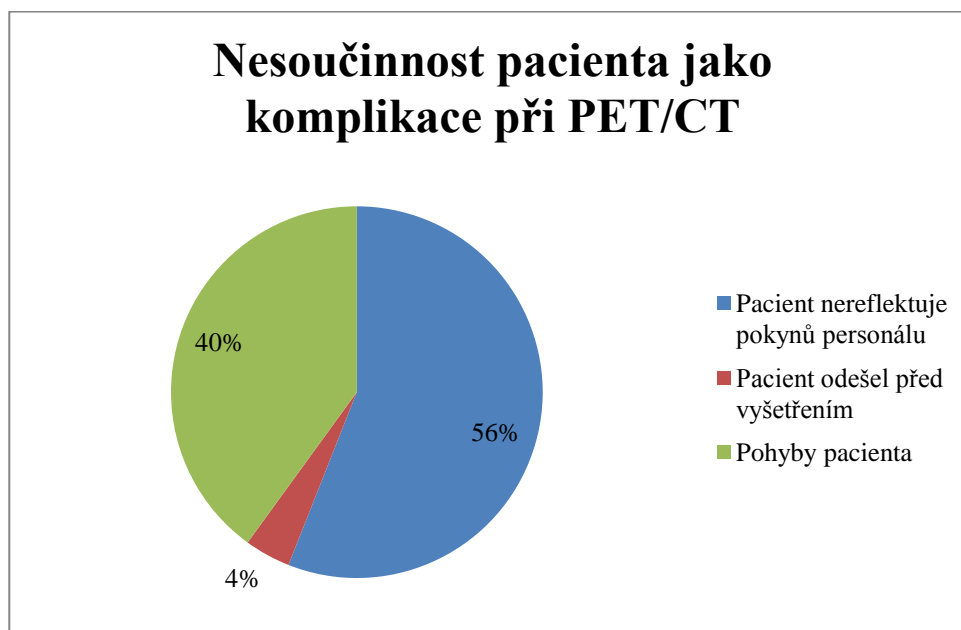
Obrázek 5: Graf komplikací spojených s aplikací radiofarmaka

Z tabulky č. 4 a grafu č. 5 je patrné, že komplikace spojená s aplikací radiofarmaka byla pouze 1. Šlo o nízkou aktivitu v těle pacienta z neznámého důvodu, v důsledku které by došlo ke zhoršenému PET zobrazení. Z aplikačního listu lze vyčíst i následný postup. Bylo rozhodnuto o opakování celé procedury i s podáním 200 MBq FDG dle DRÚ a následné snímání CT bylo provedeno v nízkodávkovém modu.

Tabulka 5: Komplikace způsobené nesoučinností pacienta

Komplikace	Absolutní četnost	Relativní četnost
Pacient odešel před vyšetřením	1	4%
Pohyby pacienta	10	40%
Pacient nereflektuje pokynů personálu	14	56%
Celkem	25	100%

zdroj: vlastní výzkum



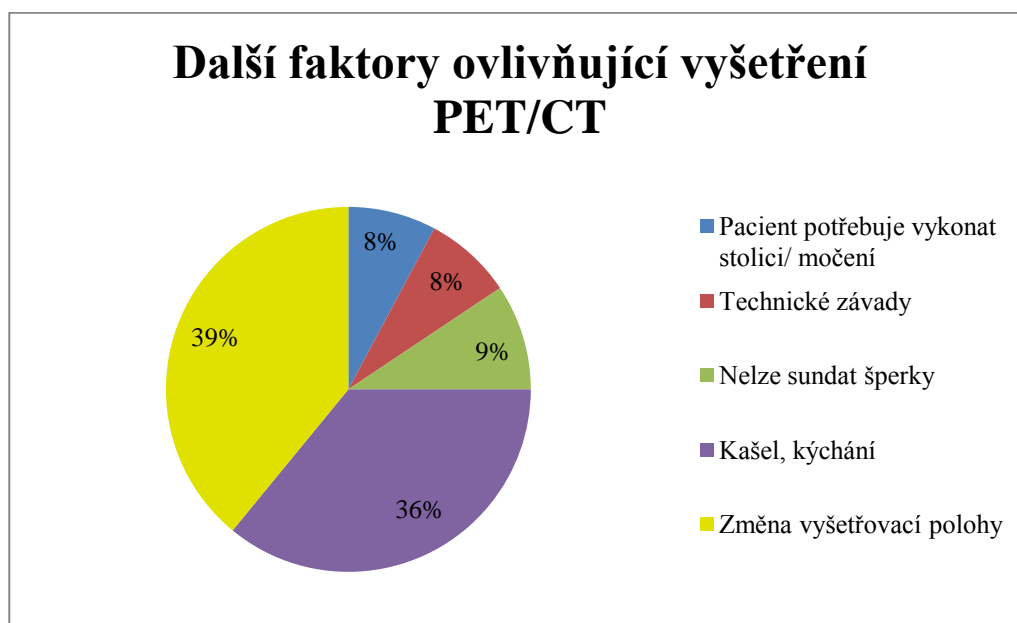
Obrázek 6: Graf komplikací způsobených nesoučinností pacienta

Tabulka č. 5 a graf č. 6 shrnuje skupinu komplikací způsobených nesoučinností pacienta během vyšetření. Z tabulky č. 4 a grafu č. 3 je patrné, že nejčetnější byla komplikace, kdy pacient nerefletoval pokynů personálu, jednalo se o 14 (56 %) vyšetření. Jednalo se o část vyšetření CT, kdy bylo potřeba provést vyšetření dle standardních postupů v mírném expiriu, aby nedošlo v důsledku dýchacích pohybů k artefaktům. Většinou se jednalo o špatně slyšící pacienty, někteří si kvůli vyšetření museli vyndat naslouchadlo. V takových případech není reálně možné upozornit pacienta na nádech s následným zadržením dechu. Další početnou skupinou, v zastoupení 10 (40 %) komplikací, byly komplikace způsobené pohyby pacienta během vyšetření. Poslední komplikace, v zastoupení 1 (4 %), byla způsobena tím, že pacient odešel před samotným vyšetřením. Pacient jako důvod odchodu uvedl strach z vyšetření, přestože byl patrně dostatečně informován o průběhu vyšetření.

Tabulka 6: Další faktory ovlivňující vyšetření PET/CT

Komplikace	Absolutní četnost	Relativní četnost
Technické závady	5	8%
Pacient potřebuje vykonat stolici/ močení	5	8%
Nelze sundat šperky	6	9%
Kašel, kýchání	23	36%
Změna vyšetřovací polohy	25	39%
Celkem	64	100%

zdroj: vlastní výzkum



Obrázek 7: Graf dalších faktorů ovlivňujících vyšetření PET/CT

Tabulka č. 6 a graf č. 7 zobrazuje rozdělení komplikací, které způsobily faktory, které nelze nijak ovlivnit. S nejmenší četností se vyskytly dvě komplikace. První komplikaci zapříčinila potřeba pacienta močit nebo vykonat stolici, a to v 5 (8 %) případech. Z aplikačního listu bylo patrné, že ve čtyřech případech šlo o močení a v jednom případě o vykonání stolice. Ve všech případech byla pacientovi podána podložní mísa nebo bažant a radiologický asistent se snažil, aby během vykonání potřeby nedošlo ke změně polohy pacienta.

Druhou komplikaci v počtu 5 (8 %) způsobily technické závady. Z aplikačního listu bylo patrné, že ve 3 případech šlo o komplikaci způsobenou nefunkčností aplikačního injektoru, přičemž radiologický asistent aplikoval kontrastní látku před spuštěním CT ručně bez použití automatického aplikačního injektoru. Ve 2 případech se jednalo o komplikaci, která zapříčinila zastavení vyšetření, které následně bylo spuštěno

ručně. Jednalo se o poruchu dveří, které vedou z vyšetřovny do ovladovny a jsou napojeny na verifikační systém, který neumožňuje automatické spuštění vyšetření, aniž by byly dveře plně zavřené.

V 6 (9 %) případech šlo o komplikaci způsobenou tím, že pacient nebyl schopný si sundat šperky. Pokud by šlo o vyšetření, kdy by artefakty ze šperků znehodnocovali CT obraz, bylo by vyšetření bezpředmětné.

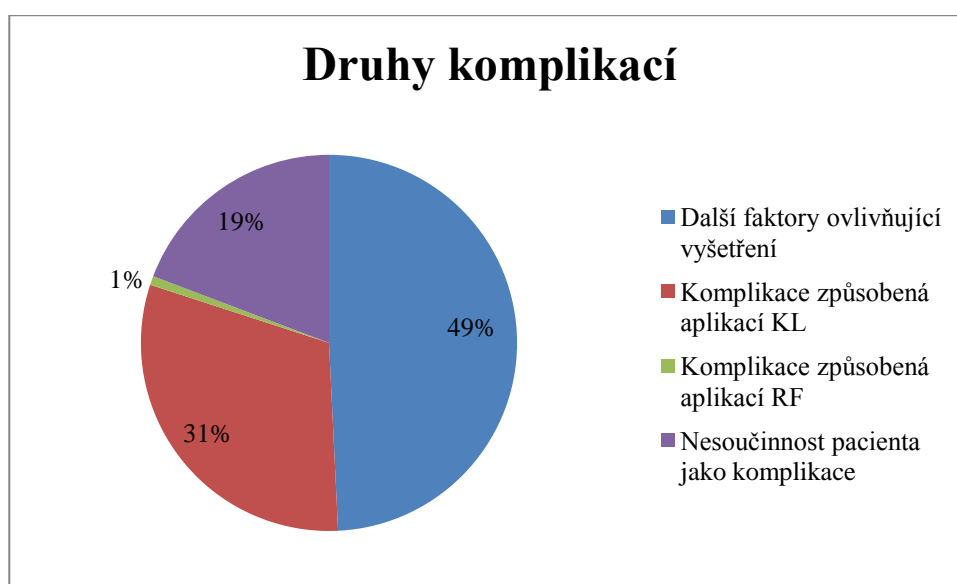
Ve 23 (36 %) případech se jednalo o komplikaci způsobenou kašlem nebo kýcháním. Pokud pacient trpí kašlem dlouhodobě, je na zvážení lékaře, zda artefakty způsobené pohybem nepřevažují výnosnost vyšetření.

Nejčtenější komplikaci v počtu 25 (39 %) způsobila změna vyšetřovací polohy. Pacient nebyl schopen dodržet vyšetřovací polohu, konkrétně se jednalo o ruce, které jsou standardně uloženy za hlavu pacienta. Z aplikačního listu bylo patrné, že v 19 případech byl pacient uložen s jednou rukou podél těla, druhou měl za hlavou a ve zbylých 6 případech musel být pacient uložen s oběma rukama podél těla. Změna polohy rukou je nevýhodná z hlediska korekce atenuace.

Tabulka 7: Komplikace rozdělené do čtyř kategorií

Druh komplikace	Absolutní četnost	Relativní četnost
Komplikace způsobená aplikací KL	40	31%
Komplikace způsobená aplikací RF	1	1%
Nesoučinnost pacienta jako komplikace	25	19%
Další faktory ovlivňující vyšetření	64	49%
Celkem	130	100%

zdroj: vlastní výzkum



Obrázek 8: Graf druhů komplikací rozdělených do čtyř kategorií

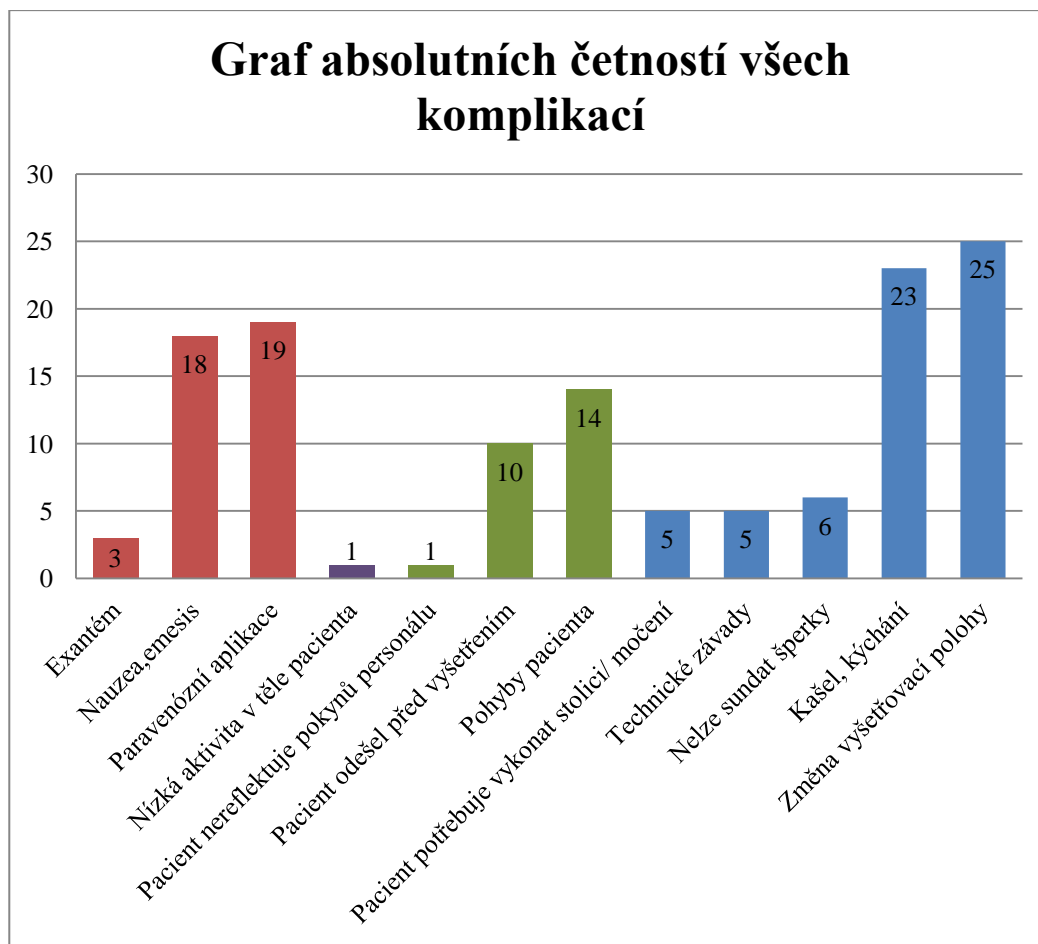
Pro graf č. 8 jsem rozdělila druhy komplikací do čtyř kategorií, podobně jak bylo výše uvedeno v teoretické části. První kategorii tvoří komplikace způsobené podáním kontrastní látky, celkový počet těchto komplikací byl 40 (31%). Druhou kategorii tvoří komplikace způsobené podáním radiofarmaka, v této kategorii byl pouze jeden případ (1 %). Do předposlední kategorie jsem zařadila nesoučinnost pacienta jako komplikaci, v této kategorii se objevilo 25 (19 %) komplikací. Poslední kategorii tvoří další faktory ovlivňující vyšetření, které nelze ničím ovlivnit, v této kategorii se objevilo 64 (49 %) komplikací a tato skupina tvoří nejpočetnější kategorii.

Tabulka 8: Souhrn všech komplikací

	Komplikace	Absolutní četnost	Relativní četnost
Komplikace způsobené aplikací KL	Exantém	3	2%
	Nauzea, emesis	18	14%
	Paravenózní aplikace	19	15%
	Celkem	40	31%
Komplikace způsobené aplikací RF	Nízká aktivita v těle pacienta	1	1%
	Celkem	1	1%
Nesoučinnost pacienta jako komplikace	Pacient odešel před vyšetřením	1	1%
	Pohyby pacienta	10	8%
	Pacient nereflektuje pokynů personálu	14	11%
	Celkem	25	19%
Další faktory ovlivňující vyšetření	Pacient potřebuje vykonat stolici/močení	5	4%
	Technické závady	5	4%
	Nelze sundat šperky	6	5%
	Kašel, kýchání	23	18%
	Změna vyšetřovací polohy	25	19%
	Celkem	64	49%
Celkem komplikací		130	100%

zdroj: vlastní výzkum

Tabulka č. 8 přehledně znázorňuje souhrn všech komplikací a jejich rozdělení do kategorií. Z tabulky lze vyčíst, že nejčastější komplikací tvořila změna polohy rukou pacienta. Celkový počet vyšetření, které doprovázela tato komplikace, bylo 25 (19 %) a lze ji považovat za nejčetnější komplikaci vůbec.



Obrázek 9: Graf absolutních četností všech komplikací

Z tabulky č. 8 a grafu č. 9 lze pozorovat, že nejpočetnější skupinu komplikací tvoří kategorie komplikací další (neovlivnitelné) faktory, v grafu označené modrou barvou. Stejně tak lze pozorovat nejčetnější komplikaci, která spadá do této kategorie a tou je změna polohy rukou pacienta v zastoupení 25 (19 %) komplikací, také označena v tabulce i grafu modrou barvou.

Tabulka 9: Počet pracovních dní v období leden- červen

Měsíc	Počet pracovních dnů
Leden	22
Únor	20
Březen	21
Duben	20
Květen	21
Červen	20
Celkem pracovních dnů	124

zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 9 je znázorněn počet pracovních dnů během jednotlivých měsíců. Počet pracovních dnů je již vyčíslen bez víkendů a státních svátků.

Tabulka 10: Shrnutí

Počet měsíců	6
Počet pracovních dnů	124
Celkem vyšetření	1041
Absolutní četnost komplikací	130
Průměrný počet vyšetření/měsíc	174
Průměrný počet komplikací/měsíc	21,6666667
Průměrný počet vyšetření/den	8,39516129
Průměrný počet komplikací/den	1,04838710

zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 10 je znázorněno, že celkový počet vyšetření za období 6- ti měsíců od ledna do června 2019 je 1041. Z těchto vyšetření proběhlo celkem 130 vyšetření, které doprovázela některá z výše uvedených komplikací. Z výše uvedených hodnot lze vypočítat průměrný počet vyšetření za měsíc, což odpovídalo 174 vyšetření, z čehož bylo přibližně 21-22 komplikací. Dál lze vyhodnotit průměrný počet vyšetření za den, což by odpovídalo přibližně 8-9 vyšetřením za den v závislosti na časové náročnosti vyšetření a tedy 1-2 komplikace denně.

3 Diskuze

Cílem teoretické části bylo shrnout základní znalosti o vyšetření PET/CT a základní informace o technickém vybavení PET/CT přístroje, zahrnující i fyzikální podstatu přístroje. Zohlednit bylo třeba i aspekty týkající se radiační ochrany. Z teoretických poznatků vyplynuly možné komplikace vyšetření popsané v teoretické části práce. Tyto informace je třeba si uvědomit a jsou nezbytné k práci na oddělení nukleární medicíny.

V úvodu byla stanovena hypotéza, že nejčastější komplikace při PET/CT vyšetření jsou způsobeny nesoučinností pacienta. Po bližším vyhodnocení praktického výzkumu jsem hypotézu zamítla v celém rozsahu. Jako nejčastější komplikace při PET/CT vyšetření byly stanoveny další faktory, ovlivňující vyšetření, konkrétně se jednalo o změnu polohy rukou pacienta. Jak již bylo výše uvedeno v teoretické části v kapitole 1.10.2, změna polohy rukou je nevýhodná z hlediska atenuačních artefaktů. V některých případech je ale změna vyšetřovací polohy (ruce za hlavou) pacienta nezbytná. Vyšetřování se týká většinou pacientů v pokročilém věku a ti vlivem involučních změn provázených mnohdy i degenerativními změnami (např. artróza, bolesti kloubů) nejsou schopni vydržet po dobu vyšetřování s rukama za hlavou. Proto se při volbě vyšetřovací polohy musí zohlednit věk a zdravotní stav pacienta a v odůvodněných případech slevit z nároků na vyšetřovací polohu. Tedy místo rukou za hlavou se volí poloha s jednou rukou nebo oběma rukama podél těla. Mezi další komplikace této kategorie patřily např. technické závady, potřeba pacienta močit nebo vykonat stolicí a jiné.

Vyvstává otázka, zda by bylo možné některým komplikacím účinně předcházet. Pokud se jedná o komplikace spojené s aplikací kontrastní látky, konkrétně exantém, nauzea, emeze a paraplíkace kontrastní látky. Zde neshledávám možné ještě více komplikacím předcházet. U každého pacienta je před vyšetřením zjišťováno, zda již prodělal vyšetření s jodovou kontrastní látkou a zda není možné, že je daný pacient na jodovou kontrastní látku alergický. Pokud pacient uvede, že dříve neprodělal alergickou reakci na jód nebo mořské živočichy, nepovažuje se za nutné takového pacienta premedikovat a nepředpokládá se rozvoj alergické reakce. Pokud se jedná o skupinu pacientů, kteří v anamnéze uvedou více alergií, je po dohodě s lékařem takový pacient vhodně premedikován. Pokud se u nealergického pacienta objeví exantém nebo jakákoliv i mírná alergická reakce, je následně vhodně medikován, aby se zabránilo rozvoji alergické reakce a poučen.

Pokud se blíže zaměříme na výskyt komplikací spojených s aplikací radiofarmaka, tato komplikace se objevila pouze u jednoho z pacientů, zde se můžeme domnívat, že je ze strany NEMČB vhodně těmto komplikacím předcházeno.

Pokud hovoříme o nesoučinnosti pacienta jako o komplikaci vyšetření, zde se domnívám, že je pacientovi celé vyšetření vhodně popsáno a jsou mu vysvětlena všechna rizika a postupy při vyšetření. Značnou míru zde hraje stres. Následně je zde na zvaženu skutečnost, že někteří pacienti si před vyšetřením musí vyndat svá naslouchadla a následná komunikace a spolupráce s nimi je náročná. Jako spolupráce pacienta je konkrétně myšleno, aby dbal pokynů v průběhu CT vyšetření o nádechu s následným zadržením dechu tak, aby nevznikaly v důsledku hlubokého nádechu pohybové artefakty nebo aby se nezhoršovala kvalita CT obrazu v důsledku volného dýchání pacienta. U pacienta se zhoršenou kvalitou sluchu nelze předpokládat stejnou spolupráci jako u pacienta se zdravým sluchem. Stejně tak nelze předpokládat, že špatně slyšící pacient nespolupracuje proto, že by nechtěl. Mnohdy nespolupracuje proto, že zvukový signál o nádechu s následným zadržením dechu není dost hlasitý. Jak jsem již výše popsala, personál nemocnice dělá vše potřebné k prevenci těchto komplikací. Přesto se zde objevují situace, kdy i přes veškerou snahu personálu jsou tyto komplikace nevyhnutelné jako v případě špatně slyšícího pacienta. Zde by připadal v úvahu jiný signál než zvukový, např. vizuální značení pro pokyn nádechu a následného zadržení dechu během CT vyšetření.

Při zhodnocování preventivních opatření týkajících se kategorie dalších komplikací ovlivňujících PET/CT vyšetření, bych zmínila pouze situaci, kdy nelze sundat pacientovi šperky. Pacient by měl být dostatečně dopředu informován o průběhu vyšetření, tedy i o skutečnosti, že při části CT vyšetření je potřeba odstranění veškerých kovových předmětů a šperků. Pokud pacient neuposlechne, může artefakt z těchto předmětů zcela znehodnotit diagnostickou informaci a tedy celé vyšetření. Pacienti by podle mého názoru měli na vyšetření chodit již připraveni, bez šperků či jiných kovových předmětů. Aby následně nedošlo k situaci, že naaplikovaný pacient požádá o pomoc se sundáním šperků či jiného kovového materiálu personál, čímž zvyšuje radiační zátěž personálu.

4 Závěr

Hybridní přístroj PET/CT patří mezi nejmodernější vyšetřovací metody současné medicíny. Cílem bylo využít nejvyšší možný potenciál těchto dvou zobrazovacích modalit a spojit je v jednu. Návrh zkombinovat PET a CT přístroj byl předložen na počátku 90. let 20. století Davidem Townsendem, Ronaldem Nuttem a dalšími spolupracovníky. Základem je pozitronová emisní tomografie, která nese informaci o funkčních datech, zatímco přístroj CT udává informaci o anatomických strukturách. CT je zejména potřebné pro mapu korekčních koeficientů ke korekci atenuace, aby nevznikaly atenuační artefakty a výsledný obraz byl dobře hodnotitelný.

V úvodu položená hypotéza, že nejčastější komplikace jsou zapříčiněné nesoučinností pacienta, se nakonec nepotvrdila. Místo toho bylo zjištěno, že mezi nejčastější komplikaci patří změna polohy rukou pacienta, která patřila do kategorie další faktory ovlivňující vyšetření.

V průběhu práce nebyla zároveň zjištěna žádná skutečnost, která by nasvědčovala nedostatkům v preventivních opatření před vznikem komplikací ze strany NEMČB.

Diskutabilní by mohla být otázka vizuálního zobrazení nádechu a zadržetí dechu při CT vyšetření. Toto vyšetření se v běžné praxi na oddělení nukleární medicíny NEMČB provádí v mírném expiriu, přičemž následně pacient musí zadržet na krátký časový úsek dech. Koná se tak z důvodu výhodného CT zobrazení plic, bez pohybových artefaktů. Pokud však pacient nevydrží po nezbytně nutnou dobu se zadržným dechem a uprostřed CT akvizice by se zhluboka nadechl, vede to naopak k excesivním pohybovým artefaktům. Pokud pacient během CT dýchá volně, způsobují tyto dýchací pohyby zhoršení kvality CT obrazu, avšak bez vzniku pohybových artefaktů. Tyto komplikace tvořily 11% z celkového počtu komplikací.

5 Bibliografie

1. BAKOS, K. et al., 1996. *Nukleární medicína*. Jilemnice : Gentiana, 1996. ISBN 80-902133-3-2.
2. BARBERO, U. et al., 2019. Contrast induced acute kidney injury and the role of beta-blockers. *Journal of Thoracic Disease*. 2019.
3. BĚLOHLÁVEK, O., 2010 PET centra. *Česká společnost nukleární medicíny*. [Online] ČSNM ČLS JEP 2010-2017. [Citace: 13. Leden 2020.] <https://www.csnm.cz/article/show/aboutDomain/pet-centres>.
4. BÍBROVÁ, J., DVOŘÁK, P., a JISKROVÁ, H., 2000. *Nukleární medicína*. Jilemnice : Gentiana, 2000. ISBN 80-902133-9-1.
5. BUDINGER, T., JONES, T., 2014. History of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. *Comprehensive Biomedical Physics*. 2014.
6. C. PAULINO, A., 2008. *PET-CT in Radiotherapy Treatment Planning*. Philadelphia : Saunders elsevier, 2008. ISBN 978-1-4160-3224-3.
7. ČECHÁK, T. 1996. Sto let od objevu radiokivity. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. Jednota českých matematiků a fyziků, 1996, Sv. 41, 6.
8. ČR, Ministerstvo zdravotnictví. 2017. *Český lékopis 2017*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2017. ISBN 978-80-271-0500-7.
9. FERDA, J. et al., 2015. *Základy zobrazovacích metod*. Praha : Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-173-5.
10. HAVRÁNKOVÁ, R. et al., 2018. *Základy radiobiologie*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2018. ISBN 978-80-7394-696-8.
11. CHUDÁČEK, Z., 1995. *RADIODIAGNOSTIKA I. část*. Brno : Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1995. 80-7013-114-4.
12. KORANDA, P. et al., 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
13. KRATOCHVÍL, V., 2019. *Nukleární medicína 3*. České Budějovice : ZSF JČU, 2019.
14. KUBINYI, J., SABOL, J., VONDRÁK, A., 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.

15. KUPKA, K., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M., 2007. *Nukleární medicína*. Příbram : P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
16. LANG, O., 1998. *Nucleare medicine* . Praha : Karolinum. ISBN 80-7184-722-4.
17. LESLIE, W. D., GREENBERG, D., 2003 *Nuclear medicine*. ISBN 978-1-57059-644-5.
18. LÜLMANN, H., MOHR, K., WEHLING, M., 2004. *Farmakologie a toxikologie*. 2. vydání. Praha : Grada, 2004. ISBN 80-247-0836-1.
19. MALÍKOVÁ, H. et al., 2019. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha : Univerzita Karlova, 2019. ISBN 978-80-246-4036-5.
20. NEKULA, J. et al., 2003. *Radiologie*. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2003. ISBN 80-244-0672-1.
21. Nemocnice České Budějovice, a.s. *Pet centrum brožura*. České Budějovice : Nemocnice České Budějovice, a.s.
22. ORA, I., WAHL, R. L., 2008. *Atlas of PET/CT with SPECT / CT*. Philadelphia : Saunders elsevier, 2008. ISBN 978-1-4160-3361-5.
23. PACÁK, J., ČERNÝ, M., 2002. Deoxyfluorglukoza, mezník ve vývoji pozitronové emisní tomografie (historie jednoho výzkumu). *Chemické listy*. 2002, Sv. 8, 96.
24. *Principles and practise of PET/CT part 2*. místo neznámé : European Association of Nuclear Medicine. ISBN: 978-3-902785-02-2.
25. ROSINA, J., 2013. *Biofyzika*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2013. ISBN 978-247-4237-3.
26. SCHOBER, O., 2010. *PET-CT Hybrid Imaging*. Stuttgart : Georg Thieme Verlag, 2010. ISBN 978-3-13-148861-9.
27. SÚJB. Stručný přehled biologických účinků záření. *Státní úřad pro jadernou bezpečnost*. [Online] [Citace: 10. Březen 2020.] <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickyh-ucinku-zareni/>.
28. ŠABATA, L., 2019. *Nukleární medicína- technické základy*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2019. ISBN 978-80-7394-734-7.
29. ŠEVELA, K., ŠEVČÍK, P., 2011. *Akutní intoxikace a léková poškození v intenzivní medicíně*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-3146.
30. TEPLAN, V., 2011. *Akutní poškození a selhání ledvin v klinické medicíně*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-7023-9.

31. TICHÝ, L., 2009. Vyšetřovací metoda PET/CT. *Medicina pro praxi*. 2009.
32. TOWNSEND, D. W., 2008. Combined positron emission tomography-computed tomography: the historical perspective. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. 29, 2008, Sv. 4.
33. WAGNER N. H., 2003. Hal Anger: Nuclear Medicine's. *The journal of nuclear medicine*. 2003, Sv. 44, 11.

6 Seznam obrázků, grafů

Obrázek 1: PET/CT přístroj na ONM NEMČB	10
Obrázek 2: Druhy koincidencí	11
Obrázek 3: Účinky ionizujícího záření.....	17
Obrázek 4: Graf komplikací vyšetření spojených s aplikací KL	33
Obrázek 5: Graf komplikací spojených s aplikací radiofarmaka	34
Obrázek 6: Graf komplikací způsobených nesoučinnostmi pacienta.....	35
Obrázek 7: Graf dalších faktorů ovlivňujících vyšetření PET/CT	36
Obrázek 8: Graf druhů komplikací rozdělených do čtyř kategorií.....	38
Obrázek 9: Graf absolutních četností všech komplikací.....	40

7 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Výchozí data	31
Tabulka 2: Formulace statistického šetření	32
Tabulka 3: Komplikace spojené s aplikací KL	33
Tabulka 4: Komplikace spojené s aplikací RF	34
Tabulka 5: Komplikace způsobené nesoučinností pacienta	35
Tabulka 6: Další faktory ovlivňující vyšetření PET/CT	36
Tabulka 7: Komplikace rozdělené do čtyř kategorií	38
Tabulka 8: Souhrn všech komplikací	39
Tabulka 9: Počet pracovních dní v období leden- červen	41
Tabulka 10: Shrnutí	41

8 Seznam použitých zkratk

PET	pozitronová emisní tomografie
CT	počítačová tomografie
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie
RTG	rentgen
NUM	nukleární medicína
ONM	oddělení nukleární medicíny
KL	kontrastní látka
RF	radiofarmakum
FDG	fluorodeoxyglukóza
CIN	kontrastem indukovaná nefropatie
FOV	field of view (zorné pole)
PŽK	periferní žilní katétr
ALARA	as low as reasonably achievable (princip optimalizace)
DRÚ	doporučená referenční úroveň
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
CSOD	Celostátní služba osobní dozimetrie
NEMČB	Nemocnice České Budějovice
IXRPC	International X-ray and Radium Protection Committee (Mezinárodní výbor pro ochranu před zářením x a radiem)

9 Přílohy

Příloha 1 Aplikační list- PET/CT



APLIKAČNÍ LIST- PET/CT

Jméno:..... Hmotnost:

Rodné číslo:..... Výška:

Datum vyšetření: BMI:

Indikované vyšetření:

PET: FDG FCh Akviziční časy: standard XXL jiné:.....

CT: HD LD i.v. KL ano ne p.o. KL: ano ne

Rozsah:..... Poloha HK: nad hlavou při těle

Další požadavky:..... Lékař:.....

Glykémie:

Hodnota [mmol/l]:.....Čas:..... Provedl:.....

Žilní přístup:

Místo, typ kanyly:

Zavedl (popř. ověřil funkčnost dostupného žilního přístupu):.....

Radiofarmakum:

FDG FCh Indikované množství:..... Indikoval:

Připravené množství: Čas:..... Připravil:.....

Čas aplikace:..... Manuálně/ Automat Aplikoval:

Perorální kontrast: ANO - NE

Manitol Iomeron voda

Množství:

Indikoval:.....

Podal:

Intravenózní kontrast: ANO - NE

Omnipaque 350 Iomeron 350 Visipaque 320

Množství:.....

Indikoval:

Aplikoval.....

Akviziční protokol PET/CT

Rozsah: trup (+ hlava + DK + HK) WB srdce mozek ; HK nad hlavou při těle

PET akvizice: schéma a rychlost posunů.....

CT akvizice: low-dose high-dose nativ high-dose s i.v. KL

Rychlost podání i.v. KL..... Bolus tracking delay:

Čas zahájení akvizice: Provedl RA:

Poznámky:.....

Komplikace výkonu:

.....
.....

Ukončení vyšetření:

Odstranění PŽK – provedl:.....

Propuštění pacienta: Čas..... Provedl: