UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023 Pavel Václavík

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření

Bakalářská práce

2023 Pavel Václavík

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Pavel Václavík**
Osobní číslo:	**Z19051**
Studijní program:	**B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor:	**Radiologický asistent**
Téma práce:	**Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření**
Téma práce anglicky:	**Information system for patients indicated for PET/CT examination**
Zadávající katedra:	**Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

ADAM, Jan, et al. *Současné trendy ve využívání PET radiofarmak k onkologické diagnostice* [online]. Brno: Klin Onkol, 2014, 8 s. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/186/4505.pdf

DECAZES P, THUREAU S, DUBRAY B, VERA P. *How to use PET/CT in the evaluation of response to radiotherapy*. Q J Nucl Med Mol Imaging. 2018 Jun;62(2):152-164. doi: 10.23736/S1824-4785.17.03033-3. Epub 2017 Nov 28. PMID: 29186937.

KUBINYI, Jozef, SABOL Jozef, VONDRÁK, Andrej. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. 302 s. ISBN 978-80-271-0168-9.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Radiační ochrana v nukleární medicíně – systém kontrol detekční a zobrazovací techniky*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2019, s. 71 [cit. 2022-02-08]. Dostupné také z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Doporuceni_NM/pracovni_verze_pristrojova_technika.pdf

VOTRUBOVÁ, Jana, et al. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, 2009, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Pavel Pešat, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. dubna 2023**

L.S.

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

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

V Pardubicích dne 2. března 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

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

V Pardubicích dne 21. 04. 2023

Pavel Václavík v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu mé práce panu RNDr. Pavlovi Pešatovi, Ph.D. za pomoc při psaní práce a za jeho cenné rady, ochotu a doporučení. Určitě bych chtěl také poděkovat všem respondentům, kteří se zúčastnili dotazníkového šetření, protože bez jejich odpovědí by se informační systém vytvářel velmi těžce.

ANOTACE

Tato bakalářská práce hodnotí míru informovanosti pacientů indikovaných k PET/CT vyšetření a na základě zhodnocených dat pro ně vytváří víceúrovňový informační systém. V teoretické části popisuje hybridní PET/CT přístroj a také samotné PET a CT modality. Teoretická část se dále zabývá popisem radionuklidů, používaných radiofarmak a indikací k vyšetření pacienta. Důležitou součástí práce je popis samotné přípravy pacienta před vyšetřením. Ve výzkumné části bylo provedeno dotazníkové šetření, při kterém byla zjišťována informovanost pacientů o vybraných tématech souvisejících s PET/CT vyšetřením a jehož výsledky jsou v práci uvedeny a komentovány. Dále byl navržen Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření tak, aby zohlednil různou úroveň výchozích znalostí pacientů a doplnil informace, u kterých pacienti při dotazníkovém šetření neprokázali potřebné porozumění.

KLÍČOVÁ SLOVA

Informační systém, PET/CT, příprava pacienta před vyšetřením, radiofarmaka

TITLE

Information System for patients indicated for PET/CT examination

ANNOTATION

This bachelor's thesis evaluates the knowledge level of patients indicated for PET/CT examination and on the basis of evaluated data creates a multi-level information system for them. The theoretical part describes the hybrid PET/CT device and also the PET and CT modalities themselves. The theoretical part also deals with the description of radionuclides, used radiopharmaceuticals and indications for patient examination. An important part of the work is a description of the patient's preparation before the examination. In the research part, a questionnaire survey was conducted, in which patients were informed about selected topics related to PET/CT examination and whose results are presented and commented in the work. Furthermore, the Information System for patients indicated for PET/CT examination was designed to take into account the different levels of initial knowledge of patients and to

supplement the information for which patients did not demonstrate the necessary understanding during the questionnaire survey.

KEYWORDS

Information system, PET/CT, patient preparation before examination, radiopharmaceuticals

OBSAH

Úvod....14
1 Cíl práce....16
2 Hybridní zobrazení PET/CT....17
2.1 Technické systémy....17
2.1.1 Výpočetní tomografie – CT....17
2.1.2 Pozitronová emisní tomografie PET....19
2.1.3 Hybridní PET/CT....21
2.2 Radionuklidy....23
2.2.1 Stabilita a nestabilita atomových jader....23
2.2.2 Izotopy, nuklidy a radionuklidy....23
2.2.3 Aktivita radionuklidu....24
2.2.4 Poločas rozpadu....24
2.2.5 Umělé radionuklidy....25
2.3 Radiofarmaka využívaná pro PET....27
2.3.1 [^{18}F] – radiofarmaka....28
2.3.2 [^{11}C] - radiofarmaka....29
2.3.3 [^{68}Ga] - radiofarmaka....30
2.3.4 [^{89}Zr] - radiofarmaka....31
2.3.5 Nejčastěji používané radiofarmakum....32
3 Indikace pacienta k PET/CT vyšetření....33
3.1 Onkologické indikace....33
3.2 Neonkologické indikace....34
4 Příprava pacienta před vyšetřením....35
4.1 Lačnění....35
4.2 Hydratace....35
4.3 Glykemie a inzulinemie....35

4.4 Příprava střeva před CT vyšetřením 36
4.5 Příprava pacienta před intravenózní aplikací jodové kontrastní látky 37
4.6 Aplikace jodové kontrastní látky 38
4.7 Aplikace radiofarmaka 38
5 Výzkumná část 39
5.1 Hlavní cíl 39
5.2 Dílčí cíl 39
5.3 Výzkumná otázka 39
5.4 Dílčí výzkumné otázky 39
5.5 Výzkumná metodika 39
5.6 Výsledky dotazníkového šetření 40
6 Návrh informačního systému 49
7 Diskuze 50
7.1 Návrh kontrolního seznamu 53
8 Závěr 55
9 Použitá literatura 56
10 Přílohy 59

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: *Schéma PET/CT* 21
Obrázek 2 *QR kód* 49

Tabulka 1: *Hodnoty HU pro různé tkáně a materiály* 18
Tabulka 2: *Nejčastěji používané radionuklidové generátory* 26
Tabulka 3: *Věk respondentů* 40
Tabulka 4: *Nejvyšší dosažené vzdělání* 41
Tabulka 5: *Jste na PET/CT vyšetření poprvé?* 41
Tabulka 6: *Obdrželi jste při nástupu Informace pro pacienty?* 42
Tabulka 7: *Přišel vám dokument srozumitelný a lehce pochopitelný?* 42
Tabulka 8: *Přidali byste do Informací pro pacienty nějakou informaci, která Vám osobně chyběla?* 42
Tabulka 9: *Byli jste před aplikací radiofarmaka seznámeni s možnými komplikacemi?* 43
Tabulka 10: *Setkali jste se před vyšetřením někdy s informacemi o radiofarmakách?* 43
Tabulka 11: *Vyhledávali jste si další informace o vašem vyšetření?* 44
Tabulka 12: *Bylo Vám před vyšetřením zopakováno, jaký bude jeho průběh?* 44
Tabulka 13: *Komunikovali s Vámi zdravotníci během vyšetření?* 45
Tabulka 14: *Vyskytly se během vyšetření někdy nějaké komplikace?* 45
Tabulka 15: *S kým byste po aplikaci radiofarmaka neměli být v těsném kontaktu? (Zvolte libovolný počet odpovědí)* 45
Tabulka 16: *Jak dlouho byste po aplikaci radiofarmaka neměli být s osobou uvedenou v předchozí otázce v těsném kontaktu?* 46
Tabulka 17: *Myslíte si, že je Vaše tělo po aplikaci radiofarmaka radioaktivní?* 46
Tabulka 18: *Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?* ..47
Tabulka 19: *Vyšetření je časově náročné. Co při čekání děláte? (Zvolte libovolný počet odpovědí)* 47
Tabulka 20: *Nosíte si na oddělení svačinu?* 48

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

N_0	Počet atomů v čase $t = 0$
$T_{1/2}$	Poločas rozpadu
Z^4	Čtvrtá mocnina atomového čísla
λ^3	Třetí mocnina vlnové délky záření
μ_{air}	Součinitel zeslabení vzduchu
μ_w	Součinitel zeslabení vody
^{111}In	Indium 111
^{11}C	Uhlík 11
^{18}F	Fluor 18
^{4}He	Helium 4
^{68}Ga	Gallium 68
^{68}Ge	Germanium 68
^{82}Rb	Rubidium 82
^{89}Zr	Zirkonium 89
^{99m}Tc	Metastabilní Technecium 99
BGO	Bismut-germaniové krystaly
Bq	Becquerel
cca	Přibližně
CT	Výpočetní tomografie
d	Tloušťka absorbující vrstvy
DRÚ	Diagnostické referenční úrovně
E	Energie záření
FDG	Fluoro-deoxy-glukóza
FET	Fluoretyltyrosin
FMISO	Fluormisonidazol
FN HK	Fakultní nemocnice Hradec Králové
GSO	Gadolinium oxyorthosilikát
HU	Hounsfieldovy jednotky
I	Intenzita svazku

I_0	Počáteční intenzita svazku (bez absorbátoru)
IRIS	Algoritmus iterativní rekonstrukce v obrazovém prostoru
JKL	Jodová kontrastní látka
Kč	Koruna česká
eV	Elektronvolt
LSO	Lutecium oxyorthosilikát
MDCT	Multidetektorová výpočetní tomografie
MDP	Metylendifosfát
MDRÚ	Místní diagnostické referenční úrovně
MIBG	Metaiodbenzylguanidin
N	Počet atomů v daném vzorku
PET	Pozitronová emisní tomografie
PET/CT	Pozitronová emisní a výpočetní tomografie
PiB	Pittsburgh Compound-B
PSMA	Prostate-specific-membrane antigen
QR	Quick response, kód rychlé reakce
RAW	Hrubá data na CT
RF	Radiofarmakum
RTG	Rentgen
SPECT	Jednofotonová emisní výpočetní tomografie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
t	Čas
USA	Spojené státy americké
ZP	Zdravotní pojišťovna
Zr^{4+}	Zirkoniový iont
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
λ	Rozpadová konstanta
μ	Koeficient zeslabení

ρ	Hustota
μ(x, y, z)	Součinitel zeslabení daného voxelu

ÚVOD

Zobrazovací metody v medicíně jsou speciální postupy, které umožňují získat dvou- či třírozměrné obrazy morfologie tkání a uspořádání orgánů v lidském organismu, případně doplněné o informaci o jejich klinické funkci. V humánní medicíně se používají při diagnostice nemocí a poruch. Moderní zobrazovací metody využívají i takové postupy, při kterých se kombinují obrazy z více zobrazovacích modalit. Jednou z takových kombinovaných metod je postup kombinující pozitronovou emisní tomografii (PET) s výpočetní tomografií (CT). Z medicínského hlediska se v klinické praxi pojí nukleárně medicínská modalita (PET) s anatomickou modalitou (CT). Poskytují spojení funkční a morfologické informace v komplexní celek a umožňují získat maximum z obou jinak se doplňujících metod (SÚJB, 2019).

Při PET/CT vyšetření využíváme pronikavé elektromagnetické záření gama, které se různě absorbuje v různých tkáních lidského těla a na detektoru vytváří pomocí rozložení denzit tkání dvourozměrný obraz. Záření gama se šíří prakticky přímočaře a na své dráze interaguje s atomy prostředí v izolovaných událostech různými způsoby a jen s určitou pravděpodobností, která závisí především na jeho energií a vlastnostech prostředí (Kubinyi et al., 2018).

PET je diagnostická metoda, která umožňuje vizualizaci fyziologických i patologických procesů v lidském těle. Tato metoda využívá nitrožilně podávané látky, které obsahují radionuklidy (tzv. radiofarmaka) emitující pozitrony. Pozitrony následně interagují s elektrony přítomnými v tkáních těla a dochází k emisi anihilačního γ záření o energii E = 511 keV, které je detekováno prstencem detektorů válcově rozmístěných v tunelu (gantry) obklopujícím tělo pacienta. Po registraci a počítačovém zpracování dat lze zobrazit trojrozměrnou distribuci radiofarmaka v organismu a vytvořit tomografické řezy v libovolné rovině (FN HK, 2011).

PET současně snímá dva anihilační fotony γ bez použití kolimátorů. Využívá toho, že po anihilaci letí oba fotony od sebe po přímce (v těžišťové soustavě). Oba fotony jsou pak detekovány protilehlými detektory umístěnými po obvodu gantry tomografu. Příslušnost obou detekovaných fotonů k anihilaci původního pozitronu je určena tak, že fotony musí být detekovány prakticky současně, v tzv. koincidenci. Poloha bodů, ve kterých byly fotony detekovány, pak slouží k proložení přímky. Znalost velkého množství takových přímek v mnoha směrech umožňuje rekonstruovat třírozměrné obrazy – tomografické řezy. PET je tedy primárně tomografická metoda a na rozdíl od jiných metod nukleární medicíny, např. scintigrafie či SPECT, nepracuje s planárním zobrazením (Votrubová et al., 2009).

Výpočetní tomografie označovaná zkratkou CT dnes představuje nejrozšířenější tomografickou zobrazovací modalitu (Bělohlávek a Fencl, 2004). Zdrojem pronikavého elektromagnetického rentgenového záření je zde tzv. rentgenka. Rentgenové záření prošlé tělem pacienta je pak detekováno detektory opět umístěnými po obvodu gantry. V moderních přístrojích jsou jednotlivé detektory uspořádány do prstenců, které na sebe navazují a umožňují tak získat více dvourozměrných řezů (datových stop) současně – takové přístroje označujeme jako multidetektorové a metodu jako multidetektorovou výpočetní tomografie (MDCT). Základní princip CT, získání hodnot absorpce v jednotlivých obrazových elementech, je stále totožný – zpětná projekce dat při rotačním pohybu soustavy rentgenka-detektory kolem těla vyšetřovaného. Absorpce neboli atenuace v tkáních se vypočítává v relativních jednotkách na škále 2^{12} hodnot (Votrubová et al., 2009). Výpočetní tomografie CT zobrazuje s vysokým rozlišením anatomické řezy, nelze ji však přímo využít k vizualizaci fyziologických procesů. Proto je užitečné spojení obou tomografií, PET a CT do jednoho přístroje PET/CT, ve kterém se spojují výhody obou metod. To je již dnes možné díky prudkému rozvoji zobrazovací techniky – PET skenery se nevyrábějí jako samostatné jednotky, ale v hybridní kombinaci s výpočetním tomografem PET/CT. Tyto moderní přístroje slučují obrazy získané oběma způsoby (PET a CT) tak, že v jednom gantry integrují PET skener i CT přístroj. Takové uspořádání umožňuje provést CT a PET vyšetření současně, ve stejné době a v prakticky identické geometrii snímání pacienta. Počítačová fúze obrazů pak dovoluje přesně lokalizovat místa patologických změn v rozložení radiofarmaka a současně poskytuje příslušný anatomický detail (Kubinyi et al., 2018).

Díky kombinaci PET a CT tak máme k dispozici kvalitativně jednu z nejlepších zobrazovacích technologií. Pacienta je ale nutné správně o vyšetření poučit, vysvětlit mu průběh a všechna rizika. Obvykle se tak děje při osobním kontaktu personálu PET/CT oddělení s pacientem. Může se však stát, že pacient některé informaci správně neporozumí, nezapamatuje si ji nebo ji prostě opomene. Proto byl pro pacienty rozpracován on-line dostupný informační systém, ve kterém pacient nalezne doplnění, resp. upřesnění informací k PET/CT vyšetření. Cílem informačního systému je, aby se pacient na vyšetření připravil co nejlépe a s porozuměním vykonával pokyny zdravotníků tak, aby byla získaná diagnostická informace při PET/CT vyšetření co nejlepší.

1 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření. Systém má dvě formy – hypertextovou dostupnou on-line pomocí QR kódu a tištěnou ve formě informačního letáku.

Dílčím cílem práce bylo pomocí kvantitativní výzkumné metody dotazníkového šetření získat data o tom, co se pacienti již o svém vyšetření dozvěděli a co by se ještě dozvědět měli tak, aby rozuměli základnímu principu vyšetření a s porozuměním dodržovali pokyny pro vyšetření. Výsledky tohoto dotazníku na téma informovanosti pacientů o jejich vyšetření byly nápomocny při tvorbě hlavního cíle práce čímž je samostatný *Informační systém*.

2 HYBRIDNÍ ZOBRAZENÍ PET/CT

2.1 Technické systémy

Pro PET/CT vyšetření se využívá hybridního přístroje, který vzniká spojením pozitronové emisní tomografie (PET) a výpočetní tomografie (CT). Abychom mohli popsat, jak hybridní tomografie PET/CT funguje, musíme nejdříve uvést alespoň základní principy fungování jak pozitronové emisní tomografie, tak také výpočetní tomografie.

2.1.1 Výpočetní tomografie – CT

Tato zobrazovací metoda využívá rentgenové záření k zobrazení těla pacienta v jednotlivých řezech, které se kombinují do trojrozměrného obrazu. Metoda je založena na experimentálním poznatku, že intenzita svazku monoenergetického rentgenového záření při průchodu absorbující látkou klesá exponenciálně podle vztahu:

$$I = I_0 e^{-\mu d},$$

kde I je intenzita svazku, I_0 představuje intenzitu prošlého světla při nulové tloušťce vrstvy, μ je koeficient zeslabení, který obecně závisí na energii záření $\mu = \mu(E)$ a d je tloušťka absorbující vrstvy.

RTG paprsky prochází tělem pacienta, kde jsou utlumeny, poté se detekují a rekonstrukcí vzniká obraz jedné projekce. Tento postup se opakuje pod různými úhly RTG paprsku, soustava přitom obkrouží tělo pacienta a vznikne souboru projekcí, ze kterého se matematickými výpočty rekonstruuje výsledný 3D obraz. CT zobrazuje denzitu tkání, protože koeficient zeslabení μ charakterizující útlum RTG záření je závislý na atomovém čísle prvků ve tkáních a celkový pokles intenzity také závisí na tloušťce prozařované tkáně. Útlum RTG záření, který je závislý na atomovém čísle prvků ve tkaních lze vyjádřit podle vzorce:

$$\mu = \rho \cdot \lambda^3 \cdot Z^4,$$

kde μ je celkový lineární absorpční koeficient, ρ je hustota, λ^3 je třetí mocnina vlnové délky záření a Z^4 značí čtvrtou mocninu atomového čísla absorbujícího materiálu.

Jedním z nejpoužívanějších rekonstrukčních CT algoritmů je filtrovaná zpětná projekce (dalším nejpoužívanějším je iterativní rekonstrukční algoritmus), která promítá jednotlivé projekce pod úhlem, pod kterým byly pořízeny, do trojrozměrné matice a superpozicí dat pak vzniká výsledný obraz. Čím více projekcí je pořízeno, tím přesnější obraz lze získat. RTG snímek je sumačním zobrazením daného objektu, ztrácí se informace o hloubce uložených tkáních,

protože každý bod obrazu vypovídá o útlumu všech tkání, kterými svazek záření prošel, z obrazu nelze odlišit, ve které tkáni se po cestě utlumil více. Tento problém řeší CT náběrem mnoha projekcí pod různými úhly. Výsledkem po rekonstrukci je trojrozměrný obraz. Výhodou je také lepší kontrastní rozlišení tkání (Pánková, 2021).

Axiální řez pak odpovídá distribuci tzv. CT čísel, která jsou vyjádřena v Hounsfieldových jednotkách (HU) použitím následujícího vztahu:

$$HU(x, y, z) = \frac{\mu(x,y,z)-\mu_w}{\mu_w-\mu_{air}} \times 1000,$$

kde μ(x, y, z) je součinitel zeslabení daného voxelu, μ_w je součinitel zeslabení vody a μ_{air} je součinitel zeslabení vzduchu, který se často zanedbává, protože je velmi malý, téměř nula (Súkupová, 2018).

Princip rekonstrukce spočívá ve výpočtu útlumu v jednotlivých bodech obrazu. Útlum paprsku procházejícího tělem vypovídá o souhrnném útlumu tkání v tomto směru a vyjadřujeme jej relativní číselnou hodnotou. Při změně směru průchodu paprsku tkání získáme odlišnou hodnotu útlumu, která odpovídá odlišnému složení tkání v tomto jiném směru. Pro *n* směrů tak získáme soubor *n* rovnic o *n* neznámých a jejich vyřešením získáme hodnoty útlumu v každém bodu obrazu. Zčernání v určitém bodě výsledného obrazu pak odpovídá absorpci paprsku v daném směru – obraz je negativní a čím je absorpce větší, tím je obraz světlejší. Výsledný obraz je tak vlastně obrazem rozložení CT čísel vyjádřených v HU (Pánková, 2021) viz Tabulka 1.

Tabulka 1: *Hodnoty HU pro různé tkáně a materiály* (Súkupová, 2018)

Tkáň	Průměrná hodnota HU	Rozsah hodnot HU
kompaktní kost	+1000	+300 až +2500
játra	+60	+50 až +70
krev	+55	+50 až +60
ledviny	+30	+20 až +40
svaly	+25	+10 až +40
mozek – šedá kůra	+35	+30 až +40
mozek – bílá kůra	+25	+20 až +30
voda	0	–
tuk	–90	–100 až –80
plíce	–750	–950 až –600
vzduch	–1000	–

V obraze se HU znázorňují pomocí odstínů šedé. Lidské oko není schopné rozeznat tak velký dynamický rozsah šedi, proto se používá pouze rozsah redukovaný přibližně do 60 odstínů šedotónové stupnice a zobrazuje se pomocí CT oken, tím se zvýrazní malé rozdíly ve tkáních s podobnou denzitou (Pánková, 2021).

Alternativní metodou rekonstrukce obrazu je iterativní rekonstrukce. Tento algoritmus se již používá v nukleární medicíně při zpracování obrazů z pozitronové emisní tomografie (PET). Rekonstrukce obrazu metodou iterativní rekonstrukce, která oproti klasické filtrované zpětné projekce mnohem více využívá podrobnější znalosti o geometrii skeneru a interakci ionizujícího záření, umožňuje významně snížit šum v obrazu a zachovat vysoké prostorové rozlišení. Pokles šumu v obrazu dovoluje snížit množství proudu na rentgence, a tedy redukovat efektivní dávku. Zavedení iterativní rekonstrukce do klinické praxe pro běžná CT vyšetření bylo až do současnosti omezeno vysokými nároky na výpočetní výkon a dobu. Výrobci CT zařízení ale vyvinuli nové přístupy k iterativní rekonstrukci, které nejsou tak náročné na výpočetní čas, a v klinické praxi mohou tedy být použity v reálném čase. Jedním z těchto přístupů je právě tzv. iterativní rekonstrukce v obrazovém prostoru – algoritmus IRIS. Oproti klasické iterativní rekonstrukci, kde jsou výsledky jednotlivých rekonstrukcí srovnávány s „RAW daty“ (hrubá data na CT), je v první fázi IRIS algoritmu z RAW dat vytvořen výchozí obraz (tzv. „master image“). Tento výchozí obraz, který obsahuje už všechny relevantní informace o zobrazované struktuře, ale také velké množství šumu, je iteracemi upravován tak, aby byl co nejvíce snížen šum a navýšen kontrast obrazu. Iterace tedy probíhají v obrazovém prostoru, bez nutnosti provádět další rekonstrukce z RAW dat. Použití IRIS algoritmu umožňuje redukovat šum v obraze o 20–30 %, což umožňuje snížit množství proudu na rentgence o 40–50 % (Kozubíková, 2011).

2.1.2 Pozitronová emisní tomografie PET

Pozitronová emisní tomografie je zobrazovací metodou nukleární medicíny. Obraz vytváří záření gama, které je emitováno při rozpadu radionuklidu, kterým je značeno radiofarmakum aplikované pacientovi. První klinicky využitelný pozitronový emisní tomograf (PET skener) byl uveden do provozu v roce 1976 v USA. Na rozdíl od klasické scintilační kamery PET snímá současně dva fotony gama záření letící od místa anihilace po přímce na opačné strany. PET modalita má lepší rozlišení a vyšší citlivost než klasická scintilační kamera a umožňuje sledování metabolismu radiofarmak, které by sice bylo možné snímat i scintilační kamerou, ale výsledný obraz by byl horší, a proto se to tímto způsobem neprovádí. PET vyšetření se nejčastěji používá ke studiu fyziologických a biochemických procesů v lidském organismu.

Umožňuje sledování zejména takových procesů, jako jsou metabolismus glukózy a amino-kyselin, rozložení hormonálních receptorů, perfuze tkání a další.

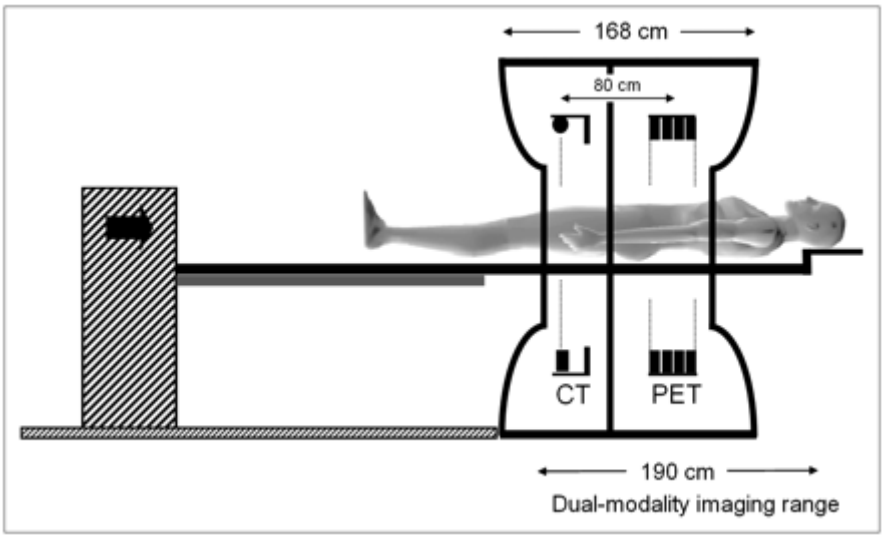
Podstata funkce PET zobrazení je založena na detekci anihilačních fotonů záření γ vznikajících při anihilaci pozitronu, který je emitován atomem radionuklidu v radiofarmaku, brzdí se tkání a na své krátké dráze ztratí téměř všechnu svou energii. Pak při spojení s volným elektronem zanikne a přemění se ve dva fotony záření γ. Hmotnostní ekvivalent jejich celkové klidové energie o velikosti 2 × 511 keV se tedy vyzáří ve formě dvou anihilačních fotonů, které jsou detekovány detektory PET skeneru. V PET skeneru jsou detektory zapojeny v koincidenčním obvodu, který zaznamená pouze současnou detekci obou anihilačních fotonů v detektorech na protilehlých stranách. Výsledné zobrazení se vytváří na základě dat reprezentujících koincidenční události v příslušných dvojicích detektorů v prstenci PET skeneru. Toto zobrazení může být do určité míry narušeno tzv. nepravými koincidencemi, kde signál v obou detektorech je sice zaznamenán ve stejném okamžiku, ale odpovídá anihilačním fotonům z různých anihilačních procesů, tj. z různých míst. Skutečná dráha pozitronů je značně klikatá a jejich dolet v jednom směru je ve skutečnosti značně kratší než celková uražená dráha. Prakticky tak můžeme místo, ve kterém došlo k anihilaci, považovat za místo, ve kterém se rozpadl radioaktivní atom v radiofarmaku (Kubinyi et al., 2018).

Použití běžné dvoudetektorové scintilační kamery místo PET skeneru vede k výrazně horšímu obrazu a proto je takový systém dnes již považován za slepou větev vývoje. Daleko vhodnější je používat pro PET specializované systémy. Standard dnes ovšem představují systémy s kruhově uspořádanými detektory s počtem krystalů v řádu desetitisíců. Donedávna byly nejrozšířenější bismut-germaniové (BGO) krystaly. Jejich velký počet a vysoká absorpční schopnost činily systémy vysoce citlivými s dobrým prostorovým rozlišením. Dnes už je ale překonávají materiály s lepšími vlastnostmi. Jedná se o gadolinium oxyorthosilikát (GSO) a především lutecium oxyorthosilikát (LSO), které mají podobnou absorpční schopnost jako BGO, ale délka scintilace je podstatně kratší. Proto umožňují tak zpracovávat fotonové jevy o vyšších četnostech, což znamená, že po kratším záblesku (scintilaci) může dříve následovat další, je tak možnost detekovat více záblesků za jednotku času a díky vyšší četnosti zkrátit vyšetření (Votrubová et al., 2009).

Pozitronová emisní tomografie je v současnosti nejdynamičtěji se rozvíjející zobrazovací modalitou. Její klinický přínos je již dobře znám, zejména u různých nádorů. Jako radiofarmakum v onkologické diagnostice je dnes na celém světě zdaleka nejvíce rozšířená

^{18}F-fluoro-deoxy-glukóza. Perspektivu má dále využití ^{68}Ga, které se získává pomocí ^{68}Ge/^{68}Ga generátoru (Kubinyi et al., 2018).

2.1.3 Hybridní PET/CT



Obrázek 1: *Schéma PET/CT* (Townsend, 2008)

Hybridní PET/CT systém kombinuje PET skener s plnohodnotným CT skenerem pro diagnostiku. Při snímání se postupuje oběma modalitami beze změny polohy pacienta. Nejprve se získá topogram pomocí CT skeneru, kdy rentgenka stojí v pevné poloze a lůžko s pacientem projíždí gantry. Tento obraz slouží k vymezení oblasti zájmu. Následuje CT sken a poté se lůžko s pacientem posune do části s PET skenerem, kde jsou z této oblasti získána emisní PET data. Akvizice PET dat neprobíhá kontinuálně, ale v určitých pozicích po dobu přibližně 3 minut, přičemž se lůžko s pacientem automaticky posune pro další snímání. Jednotlivé pozice se překrývají kvůli citlivosti PET skeneru na okrajích axiálního pole. Gantry hybridního přístroje nelze sklánět, a proto je snímání vždy prováděno se stejným sklonem gantry. Hloubka společné gantry je větší než u samotného CT skeneru. Schéma hybridního PET/CT viz Obrázek 1.

Hybridní přístroj využívá nasnímaná (surová – raw) CT data dvěma způsoby. Na jedné straně jsou využita pro vytvoření morfologicko-anatomického CT obrazu, na druhé straně slouží k vytvoření mapy koeficientů absorpce, které jsou použity pro korekci absorpce anihilačních fotonů v těle pacienta (Votrubová et al., 2009).

Dopad do oblasti radiační ochrany je velmi významný – nové moderní přístroje mají výrazně lepší (někdy násobně) zobrazovací vlastnosti a vyšší účinnost při menších aplikovaných aktivitách radiofarmak. V tomto kontextu nelze zanedbat oblast programů pro zpracování dat.

Komplikované a na výkon počítače náročné programy umožňují rekonstruovat kvalitnější obraz a mají tak velmi pozitivní vliv na výsledek vyšetření a možné snížení radiační zátěže. K radiační zátěži z podaného radiofarmaka je však vždy nutno připočítat i radiační zátěž z CT vyšetření, která může být srovnatelná nebo i vyšší než zátěž od samotného podaného radiofarmaka.

Kombinací vysokého rozlišení a detailního anatomického/patologickoanatomického zobrazení CT s vysoce senzitivními, zejména biochemickými informacemi z PET, se dosahuje kvalitnějších a přesnějších výsledků. Značnou výhodou je také podstatné zkrácení času pro provedení vyšetření (Kubinyi et al., 2018).

Jednou z velkých výhod hybridních PET/CT skenerů je relativně snadná fúze CT a PET obrazů, která je z velké části zajištěna již samotným hardwarovým uspořádáním. Oba soubory obrazů (CT i PET) jsou získány při jednom uložení pacienta na stejném vyšetřovacím stole. Obvykle postačuje pouhé zvětšení PET obrázků, které jsou snímány do menší obrazové matice než CT a jejich překrytí přes CT snímky metodou alpha-blending, která přiřazuje jednotlivým modalitám různou míru průhlednosti. Na hodnotící konzoli je tedy možné prohlížet PET a CT vyšetření odděleně a současně prohlížet hybridní obrazy s různým podílem anatomické a metabolické informace ve všech rovinách (Votrubová et al., 2009).

Pro zlepšení kvality obrazu a získané diagnostické informace se využívá kontrastních látek. Tyto látky jsou substance různého chemického složení, vpravené do těla za účelem ovlivnění kontrastu výsledného obrazu. Kontrastní látky dělíme podle absorpčního koeficientu na pozitivní kontrastní látky, které zvyšují absorpci RTG záření (jodové a baryové kontrastní látky) a na negativní kontrastní látky, které naopak snižují absorpci RTG záření (např. plyny) (Haškovcová, 2015).

Určitou nevýhodou, jako u každé špičkové techniky, je u skeneru PET/CT jeho poměrně vysoká pořizovací cena a vyšší provozní náklady (Kubinyi et al., 2018). Jako hrubý příklad nákladů na kontrastní vyšetření CT na hybridním PET/CT se dá uvést odhad pro přibližně 1 500 pacientů za rok, který činí zhruba 3,5 milionu korun a bude účtován zdravotní pojišťovnou. Při vytíženosti zařízení na 7,6 pacienta v jedné směně vycházejí celkové náklady na pacienta zhruba 25 000 Kč, aby byl zachován vyrovnaný rozpočet. Dalším nákladem je cena FDG, která se pohybuje mezi 11 000 a 12 000 Kč na pacienta. Celkový náklad na jednoho pacienta tak dosahuje zhruba 36 000 až 37 000 Kč (Nemocnice Jihlava, 2015). U novějších zařízení s účinnějšími detektory a lepším programovým vybavením lze sice pacientům aplikovat nižší

aktivity radiofarmaka, čímže klesají náklady na ^{18}Ffluoro-deoxy-glukózu, pořizovací cena těchto zařízení je však naopak vyšší.

Podáním kontrastní látky intravenózně umožňuje CT vyšetření získat další informace o cévních strukturách, vaskularizaci patologického procesu a o vztahu patologického ložiska k velkým cévám. Při hybridním zobrazení jsou tak funkční údaje o metabolismu radiofarmaka doplněny o anatomické a strukturální informace, které pomocí samotného radiofarmaka nelze získat. Na druhé straně CT vyšetření je doplněno aktuální informací o metabolickém stavu organismu.

Tato kombinace strukturálního a molekulárního zobrazení není považována jen za prostou sumaci výhod obou modalit, ale vede ke zvýšení diagnostické přesnosti komplementárním a synergetickým efektem současného pohledu na posuzovanou patologii z více úhlů současně (Kubinyi et al., 2018).

2.2 Radionuklidy

2.2.1 Stabilita a nestabilita atomových jader

Časová stabilita či nestabilita atomového jádra je dána složitou souhrou silných, elektromagnetických a slabých interakcí, determinujících částicové procesy a energetické poměry v jádře, související s počtem protonů a neutronů, s jejich vzájemným poměrem a uspořádáním. Jádra, u nichž je energetický stav dané konfigurace protonů a neutronů minimální, jsou v čase stabilní. Jádra, která nejsou v energeticky stabilním stavu, však mají snahu určitou rekombinací protonových a neutronových stavů – přeměnou protonů a neutronů, emisí částic či vyzářením kvant přebytečné energie, přejít do stavu energeticky stabilnějšího; dochází k radioaktivním přeměnám jader (Ullmann, 2009).

2.2.2 Izotopy, nuklidy a radionuklidy

Naprostá většina chemických prvků se v přírodě vyskytuje jako směs izotopů – atomů se stejným počtem protonů a s různými počty neutronů. Jádra některých izotopů jsou nestabilní a rozpadají se tak, že uvolní částici α (jádro ^{4}He), částici β (elektron) nebo částici γ (foton elektromagnetického záření). Látka složená z atomů stejného prvku, které mají navíc stejný počet neutronů, se nazývá nuklid. Nestabilní nuklidy se pak nazývají radionuklidy, např. ^{18}F je radioaktivním nuklidem fluoru, jehož atomové jádro se skládá z devíti protonů a devíti neutronů. Existují různé teorie vysvětlující vznik atomů různých prvků jako produktu jaderných reakcí v jádrech hvězd (přirozené nuklidy) nebo při jaderných reakcích uměle vyvolaných (umělé nuklidy). Z praktického hlediska jsou významné umělé radionuklidy, které nacházejí široké využití v technických i medicínských aplikacích.

Chemické prvky uspořádané vzestupně podle počtu protonů v jejich atomových jádrech tvoří tzv. Mendělejevovu periodickou tabulku prvků, která zatím obsahuje 118 známých prvků. Některé prvky jsou tvořeny směsí více izotopů a počet různých izotopů některých prvků dosahuje desítek. Celkový počet známých nuklidů je cca 2000.

Radionuklidy nacházejí jsou důležité buď z hlediska fyzikálního či obecně přírodovědeckého. Používáme je v různých oblastech vědy a techniky včetně medicíny s také v mnohých průmyslových aplikacích.

2.2.3 Aktivita radionuklidu

Aktivita radionuklidu vyjadřuje počet přeměn za určitý časový interval. Její jednotka je 1 Becquerel [Bq], který představuje aktivitu rovnou jedné přeměně za sekundu. V praxi se ale s tak nízkými jednotkami nepracuje. Aktivita medicínsky používaných radionuklidů se pohybuje v řádech 10^3 Bq ([kBq]) až 10^6 Bq ([MBq]). Dříve používanou jednotkou aktivity byl 1 Curie [Ci], což byla aktivita jednoho gramu ^{228}Ra (radia). Při převádění hodnot aktivity pak používáme převodní vztah 1 Ci = 37 GBq.

Hodnota aktivity závisí na velikosti vzorku (počtu jader radionuklidu) a čase uplynulém od vzniku radionuklidu. Čím více jader radionuklidu vzorek obsahuje, tím více se jich za sekundu rozpadne (vyšší aktivita). Naopak s časem se snižuje celkový počet jader schopných přeměny (nižší aktivita).

Aktivita je důležitá veličina v nukleární medicíně. Je nezbytné znát její hodnotu u podávaných radiofarmak. Jednak z toho důvodu, aby nedocházelo ke zbytečnému zatěžování organismu ionizujícím zářením, jednak abychom věděli, jak velkou aktivitu bude mít radiofarmakum v době měření (Kupka, 2015).

2.2.4 Poločas rozpadu

Rozpadový zákon popisuje rozpad ve velkém souboru radioaktivních prvků podle vzorce:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

kde N je počet atomů v daném vzorku v čase t, N_0 představuje počet atomů v čase $t = 0$ a λ je rozpadová konstanta. S tou souvisí poločas rozpadu $T_{1/2}$:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Jde konstantu, kterou lze s velmi dobrou spolehlivostí pokládat za konstantní vůči běžným fyzikálním vlivům jako je tlak, teplota nebo chemické okolí příslušného izotopu. Jeho hodnota se pohybuje od zlomků sekundy až po milióny let, např. poločas rozpadu ^{18}F je $T_{1/2}$ = 109 minut.

Poločas rozpadu charakterizuje příslušný izotop a určuje, za jakou dobu se rozpadne polovina jader v daném vzorku neboli jeho aktivita se sníží na jednu polovinu.

2.2.5 Umělé radionuklidy

Výroba radioaktivního (nestabilního) jádra z jádra stabilního probíhá tak, že se změní počet protonů nebo neutronů v původně stabilním jádře, změní se jeho stabilní konfigurace a vznikne jádro nestabilní. Toho lze dosáhnout ostřelováním atomových jader ve výchozím terči vhodnými částicemi, jako jsou protony, neutrony, částice α, deuterony nebo těžší ionty. Tyto částice vstupují do terčového atomového jádra a vyvolávají zde jaderné reakce, které vedou ke vzniku jiného atomového jádra, často radioaktivního.

Dceřiná jádra vzniklá rozpadem mateřského jádra mohou být stabilní nebo opět nestabilní, vytvářet další generaci dceřiných jader. Celý proces vytváří řetězec (rozpadovou řadu), který obvykle končí velmi dlouho žijícími izotopy, které již považujeme za stabilní, resp. u nichž nepozorujeme radioaktivitu. Existují umělé rozpadové řady s takovým členem – radionuklidem, který má delší poločas rozpadu a který se současně rozpadá na dceřiný (sekundární) radionuklid s kratším poločasem rozpadu a jinými vhodnými vlastnostmi a který je použitelný v medicíně. Z takové kombinace radionuklidů se vyrábějí tzv. generátory radionuklidů a jejich nejběžnějším příkladem je generátor ^{99m}Tc. Technecium se získává bombardováním stabilního izotopu molybdenu neutrony v jaderném reaktoru, při kterém nejprve vznikne jeho nestabilní izotop ^{99}Mo, který se následně rozpadem β přeměňuje na metastabilní ^{99m}Tc. Získávání těchto sekundárních radionuklidů z rozpadových produktů jiných radionuklidů může být efektivním způsobem jejich výroby.

Tato metoda ostřelování terčových jader vhodnými částicemi je často využívána pro výrobu krátkodobých radioizotopů, které vznikají jako produkty rozpadu jiných radioizotopů s delším poločasem rozpadu. Mateřský radioizotop je připravený v urychlovači nebo reaktoru a je snadno přepravitelný do vzdálených laboratoří. Zde může být postupně oddělován dceřiný krátkodobý radioizotop, který je pak k dispozici po delší dobu. Celý proces se uskutečňuje v radionuklidovém generátoru, který obsahuje pevně vázaný mateřský izotop s delším poločasem rozpadu. Dceřiný izotop s kratším poločasem rozpadu může být oddělen chemicky, hydrodynamicky nebo profukováním vzduchem. Radionuklidové generátory umožňují

používat krátkodobé radioizotopy i v laboratořích, které nejsou umístěny přímo u urychlovače nebo reaktoru.

V Tabulce 2 je uvedeno několik nejčastěji používaných radionuklidových generátorů i s poločasy rozpadu mateřských radionuklidů.

Při aplikaci radiofarmak je důležité umět stanovit časovou závislost aktivity radiofarmaka v těle pacienta. Pokles aktivity v těle pacienta způsobují dva mechanismy, fyzikální rozpad radionuklidu s poločasem rozpadu $T_{½}$ (viz také kapitola 2.2.4) a tzv. biologický poločas T_b, což je doba potřebná k vyloučení poloviny množství látky z organismu. V těle pacienta se tedy aktivita radionuklidu snižuje těmito dvěma mechanismy – fyzikálním rozpadem radionuklidu a jeho vylučováním z organismu.

Výsledný vztah pro pokles aktivity v těle pacienta vyjadřuje tzv. efektivní poločas T_{ef}, pro který platí

$$\frac{1}{T_{ef}} = \frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}$$

Pro praktické účely se používá tzv. pravidlo deseti poločasů, kdy po deseti poločasech rozpadu lze aktivitu považovat na prakticky zanedbatelnou, viz příklad výpočtu pro ^{18}FDG aplikovanou pacientovi s aktivitou 370 MBq a poločasem přeměny 109 minut (10 × 109 min =1090 min = 18,16 hod):

$$370\ \text{MBq} \div 2^{10} = 0{,}36\ \text{MBq}$$

Aktivita ^{18}FDG se tedy v těle pacienta za deset poločasů rozpadu sníží na hodnotu maximálně 360 kBq. Pokud ještě započítáme biologický poločas, bude zůstatková aktivita ^{18}F v jeho těle ještě mnohem menší a z praktického hlediska ji již můžeme považovat za marginální.

Tabulka 2: *Nejčastěji používané radionuklidové generátory* (Ullman, 2009)

Mateřský radionuklid (T1/2)	Typ rozpadu	Dceřiný radionuklid (T1/2)	Typ rozpadu	Výsledný nuklid
^{68}Ge (275 d)	EC→	^{68}Ga (1,14 hod)	β^+, EC,γ →	^{68}Zn
^{81}Rb (4,7 hod)	β^+, EC→	^{81m}Kr (13 sec)	γ →	^{81}Kr
^{82}Sr (25 dní)	EC→	^{82}Rb (75 sec)	β^+, EC,γ →	^{82}Kr
^{90}Sr (28 roků)	β^-→	^{90}Y (2,6 dne)	β^-→	^{90}Zr
^{99}Mo (2,78 dne)	β^-→	^{99m}Tc (6 hod)	γ →	^{99}Tc
^{113}Sn (115 dní)	EC→	^{113m}In (1,66 hod)	γ →	^{113}In
^{188}W (69,4 dní)	β^-→	^{188}Re (16,98 hod)	β^-→	^{188}Os
^{227}Ac (21,77 roků)	α,β^-řada→	^{227}Th (18,7 dne), ^{223}Ra (11,4 dne)	α,β^-řada→	^{207}Pb

2.3 Radiofarmaka využívaná pro PET

Radiofarmaka jsou chemické sloučeniny značené vhodným radionuklidem a obecně patří do kategorie léčivých přípravků. Každé radiofarmakum obsahuje radiačně účinnou látku ve formě specifického radionuklidu s vhodnými fyzikálními vlastnostmi pro zobrazování požadovaného děje nebo pro léčebný účinek, která je navázána na biologicky účinnou látku (nosič). Při biologicky/medicínsky důležitém procesu, který chceme zobrazit nebo terapeuticky ovlivnit, pak odpovídá distribuce radiofarmaka distribuci značeného nosiče. Při diagnostice pomocí radiofarmak lze studovat všechny farmakokinetické děje (liberace, absorpce, distribuce, metabolismus a eliminace).

Biologicky účinná látka – nosič, na kterou je radionuklid navázán, se zapojuje do metabolismu a je různě specificky nebo nespecificky vychytávána různými orgány a tkáněmi, případně se účastní různých patologických procesů (například fagocytóza, navázání na hormonální receptory, zvýšený či změněný metabolismus). Těchto nosičů je k dispozici široké farmakochemické spektrum a jejich složení a vlastnosti se volí s ohledem na jejich použití. Výběr závisí především na výpovědní hodnotě požadované diagnostické informace získávané při vyšetření, ceně a dostupnosti radiofarmaka. Biologicky účinná složka radiofarmaka může být dodávána také v tzv. kitech, což jsou zpravidla lyofilizované látky v uzavřených sterilních lahvičkách (penicilinkách). Značení radionuklidem je pak prováděno přímo na oddělení nukleární medicíny před vlastní aplikací pacientovi. Tento postup je považován za individuální příprava radiofarmak ve smyslu zákona o léčivech. Biologicky účinná látka však může být dodávána na oddělení nukleární medicíny již označená radionuklidem z výroby – potom hovoříme o hromadně vyráběném radiofarmaku jako je například ^{123}I-MIBG.

Celý proces, který přípravy radiofarmaka zahrnuje několik klíčových kroků:

- Produkci požadovaného radionuklidu.
- Přípravu a značení biologicky účinné látky.
- Tvorbu požadované lékové formy.
- Kontrolu kvality připraveného radiofarmaka.
- Měření aktivity před podáním vyšetřovanému.

Obecně může být radiofarmakem jednoduchá anorganická látka, složitější organická látka nebo i celá buňka či krevní element. V některých případech se více uplatňují fyzikální vlastnosti nosiče. Radionuklid je v radiofarmaku v iontové podobě, případně je vázán kovalentně nebo ve formě komplexní sloučeniny. Radiofarmakum musí splňovat všechna kritéria v souladu

s planými požadavky pro léčiva, tj. musí být sterilní, apyrogenní, izotonické, minimálně toxické a minimálně antigenní. Současně musí být při práci s radiofarmakem dodržena specifická pravidla práce s otevřenými radionuklidovými zdroji v radiochemické laboratoři (radiační ochrana pracovníků, vymezení kontrolovaného pásma atd.) Radiofarmaka se zpracovávají do různých lékových forem k aplikaci jako injekce, plyny, aerosoly, roztoky, kapsle a další.

Podle poločasu rozpadu lze radiofarmaka rozdělit do následujících skupin:

- Radiofarmaka s delším poločasem přeměny (dny, týdny), která se zpravidla vyrábějí hromadně, jsou dopravována na pracoviště nukleární medicíny a je možné je bez dalších úprav aplikovat pacientovi.
- Radiofarmaka s krátkým poločasem přeměny (hodiny) se obvykle připravují přímo na oddělení nukleární medicíny, protože mají krátkou dobu použitelnosti.
- Výjimkou jsou radiofarmaka pro PET vyšetření, která sice také obsahují radionuklidy s krátkým poločasem přeměny, ale dodávají se na oddělení většinou v již hotové formě.

Z hlediska použití lze dále radiofarmaka rozdělit na dvě hlavní skupiny – diagnostická a terapeutická. Pro diagnostická vyšetření jsou vhodné radionuklidy emitující elektromagnetické záření γ nebo pozitrony e^+. Pro terapeutické účely se používají především zářiče α, β^- a zářiče emitující Augerovy elektrony (Kubinyi et al., 2018).

2.3.1 [^{18}F] – radiofarmaka

Při PET vyšetření se používá nejčastěji FDG, metabolický indikátor deoxyglukózy značený ^{18}F, díky němuž je možno v těle lokalizovat místa s nepřirozeně zvýšenou či naopak sníženou metabolickou aktivitou. PET pomocí FDG je v současnosti nejvyužívanější diagnostická metoda pro detekci primárních tumorů a metastáz. Přestože je FDG vysoce citlivá pro lokalizaci lézí, trpí určitou nespecifičností. Místa s probíhajícím zánětlivým procesem vykazují zvýšený příjem. Navzdory tomu nemusí být nalezené místo s vyšším příjmem vždy nádor. Omezena je také schopnost FDG posoudit odezvu na léčbu, protože nemusí rozlišit hojící se tkáň od viabilního, proliferujícího nádoru. Mezi výhody FDG patří velmi propracovaná a odladěná technologie syntézy, která dosahuje vysokého výtěžku a čistoty výsledného produktu díky specializovaným, robustním syntézním modulům ušitým na míru právě této syntéze. Při distribuci radiofarmak značených ^{18}F je třeba zohlednit jeho poločas rozpadu $T \approx 109$ minut – doba transportu by tedy neměla překročit jednotky hodin tak, aby zbyl použitelný zůstatek

aktivity radiofarmaka. Vedle FDG byl v roce 2009 nejčastěji používaným fluorovaným PET radiofarmakem také [^{18}F] značený fluorid sodný (Adam, et al. 2014).

Radiofarmakum [^{18}F]fluorid sodný má při PET vyšetření mnohem větší citlivost pro detekci kostních lézí než [^{99m}Tc]MDP při planární scintigrafii, což je doloženo mnoha studiemi a případy pacientů s různými typy primárních nádorů rakoviny prostaty, plic, štítné žlázy a prsu (Kontrová, 2015).

V nedávné době se rapidně zvýšil zájem o [^{18}F]fluorcholin, který eliminuje hlavní nevýhody FDG pro diagnostiku karcinomu prostaty – blízkost močového měchýře a malé rozměry cílového orgánu. V současnosti se [^{18}F]fluorcholin stal hlavním PET radiofarmakem pro diagnostiku karcinomu prostaty a počet vyšetření s tímto radiofarmakem v okolních zemích zaujímá druhé místo hned za FDG. Jeho využití však není omezeno pouze na karcinom prostaty. Díky novým možnostem syntézy na kazetových modulech se situace stabilizovala i u [^{18}F]fluor-L-thymidinu, který je užitečný pro hodnocení nádorové odpovědi na probíhající terapii. Velký nárůst se projevil u indikátoru hypoxie [^{18}F]fluormisonidazolu (FMISO) a látky vhodné pro vizualizaci nádorů mozku [^{18}F]fluoretyltyrosinu (FET) (Adam, et al. 2014).

FET je podobně jako [^{11}C]metionin příkladem radionuklidem značené aminokyseliny. Jedná se o analog aminokyseliny tyrosinu značený ^{18}F, která se přednostně hromadí v mozkových nádorech typu gliom. Ke zvýšenému vstřebávání FET v gliomech dochází k díky vyššímu výskytu L-aminokyselinových přenašečů, které jsou posléze metabolizovány do proteinů, FET nevstupuje do metabolismu bílkovin a z těla se vylučuje nezměněn (Kontrová, 2015).

Určitou komplikaci představuje potřeba uzavřít současně dva reaktory, které v současnosti produkují přibližně 70 % ^{99}Mo, matečného nuklidu pro techneciové generátory. To by mohlo vést k jeho výraznému nedostatku, tzv. techneciové krizi. A to může vést k dalšímu nárůstu zájmu o PET radiofarmaka, která by mohla nahradit nebo doplnit vyšetření založená na [^{99m}Tc]-SPECT. Mezi tyto radiofarmaka patří například [^{18}F]fluorid sodný. Další klasické fluorované radiofarmakum, [^{18}F]fluor-L-DOPA, používané v neurologii a onkologii, zaznamenalo určitý vzestup díky zlepšení dostupnosti, ale očekává se pokles zájmu v důsledku nárůstu alternativních radiofarmak, zejména na bázi ^{68}Ga, které jsou stále více dostupné a používané v onkologii pro vyšetření neuroendokrinních tumorů (Adam, et al. 2014).

2.3.2 [^{11}C] - radiofarmaka

Izotop uhlíku ^{11}C použitelný pro PET má poločas přeměny 20,4 minut. Radiofarmaka značená ^{11}C jsou vědeckou obcí často chápana jako čistě výzkumná. Nicméně existuje opodstatněný

důvod k tomuto postoji – kvůli krátkému poločasu přeměny lze tyto látky využívat pouze v zařízeních, která mají jak výrobní, tak zobrazovací technologie na jednom místě. Transportovatelnost takových radiofarmak je omezena na řád jednotek kilometrů, což znamená jedno město. V onkologii se využívá [^{11}C]cholin, který slouží jako indikátor růstu buněk. Tento indikátor má v některých směrech lepší vlastnosti než fluorovaný derivát cholinu. Dalším používaným radiofarmakem je [^{11}C]metionin, který slouží jako indikátor syntézy proteinů, a [^{11}C]acetát, což je marker oxidativního metabolismu, který má také aplikace v kardiologii. Nejčastěji používaným [^{11}C]radiofarmakem je neonkologický marker [^{11}C]PiB, první radiofarmakum (a první in vivo metoda vůbec), který umožňuje vizualizovat β-amyloidové depozity v mozku a tak posuzovat stav pacientů s Alzheimerovou demencí (Adam, et al. 2014).

2.3.3 [^{68}Ga] - radiofarmaka

V oblasti PET diagnostiky se nedávno začal používat jiný významný radionuklid ^{68}Ga. Přibližně 89 % přeměny tohoto nuklidu probíhá β^+ přeměnou s maximální energií 1,92 MeV a jeho poločas přeměny $T_{½}$ = 68 minut. Tento nuklid byl poprvé využit v oblasti nukleární medicíny již v 60. letech a poté opět v 90. letech. Skutečné významné využití však začalo až po roce 2010, kdy se metoda PET/CT již stala rutinně používanou zobrazovací metodou, byl zprovozněn žádoucí počet PET/CT skenerů a také se podařilo dosáhnout uspokojivé úrovně čistoty a produkce u hlavního zdroje radionuklidu ^{68}Ga – tedy germanium-galliových generátorů (^{68}Ge/^{68}Ga). Uplatnila se také nová a účinnější radiochemická metoda značení, která nahradila předchozí otevřené chelátory makrocyklickými strukturami, které umožňují odstínění galiového iontu od sérového proteinu transferinu, který má k němu vysokou afinitu. Díky jejich vysoké termodynamické stabilitě a efektivitě značení se otevřely nové klinické možnosti. Nejvýznamnější aplikací ^{68}Ga je značení somatostatinových analogů pro diagnostiku neuroendokrinních nádorů. Velkou praktickou výhodou je možnost využití generátoru ^{68}Ge/^{68}Ga, který umožňuje využití tohoto radionuklidu i na pracovištích, na která by ji jinak nebylo možno transportovat s dostatečným zůstatkem aktivity (Adam, et al. 2014).

Při diagnostickém využití ^{68}Ga bylo zapotřebí překonat několik obtíží. Výsledný produkt stále ještě vyžaduje náročné postupy zpracování, a to i přes dílčí vylepšení použité technologie ^{68}Ge/^{68}Ga generátorů. Ve srovnání s klasickými molybden-techneciovými generátory nelze jen provést prostou eluci roztoku ^{99m}Tc a smísit ho s lyofilizovaným kitem. Je to způsobeno následujícími příčinami:

- získaná forma ^{68}Ga není přímo chemicky použitelná pro spojení s chelátorem a navázání na požadovanou biomolekulu,
- roztok obsahuje stále poměrně významné množství matečného ^{68}Ge.

Pro koncového uživatele, jakým je například oddělení nukleární medicíny v nemocnici, může být zpracování eluátu z ^{68}Ge/^{68}Ga generátoru zásadním problémem. Tento proces vyžaduje nejen kvalifikovaný personál, ale také specifické vybavení nezbytné k dodržení správné praxe při produkci finální lékové formy. Vše musí být navíc stíněno proti anihilačnímu záření γ, které při zpracování vzniká. V uplynulých letech tak mnoho výrobců syntézních modulů uvedlo na trh specializované moduly nebo mikromoduly, které byly cíleny na úpravu eluátu ^{68}Ga (Adam, et al. 2014).

Radionuklid ^{68}Ga lze vyrobit také ostřelováním zinkového terče protony v cyklotronu při energii protonů 13,2 MeV. Výsledný produkt lze separovat pomocí iontově-výměnné kolony a znečištění ^{68}Ge je tak téměř vyloučeno. Vhodným sorbentem lze odstranit také zinkové a měděné ionty, což zjednodušuje postup. Situaci však komplikuje krátký poločas rozpadu ^{68}Ga ($T_{½}$ = 68 minut), což vyžaduje speciální logistická řešení pro značení a vyšetření a tento postup je tak vhodný zejména pro centra, kde jsou výrobní cyklotron a PET kamera blízko sebe (Adam, et al. 2014).

Radionuklid ^{68}Ga prakticky nezastupitelný při výzkumu nízkomolekulárních biomolekul, jako jsou oligopeptidy a proteinové fragmenty. V některých okolních zemích jsou ^{68}Ga okreotátové skeny prováděny ve stejné míře jako skeny s jinými radiofarmaky, jako je například ^{18}FDG nebo fluorcholin. Existuje mnoho potenciálních nosičů, které lze značit ^{68}Ga. Studie s PSMA (prostate-specific-membrane antigen) a bombesinem (tumorový marker pro malobuněčný karcinom plic, neuroblastomy a nádory žaludku) jsou prvními příklady nové generace specifických PET radiofarmak, která mají velkou budoucnost (Adam, et al. 2014).

2.3.4 [^{89}Zr] - radiofarmaka

Dalším radionuklidem s vynikajícími vlastnostmi pro značení monoklonálních protiláteka jejich následnou vizualizaci pomocí PET je ^{89}Zr. Tento izotop má poločas přeměny 78,4 hodin, lze jej tedy transportovat na větší vzdálenosti a je velmi vhodný pro použití v protilátkových aplikacích PET. ^{89}Zr lze použít jak v podobě přečištěného produktu určeného k značení, tak i ve formě již hotové značené protilátky. Delší poločas fyzikální přeměny ^{89}Zr je srovnatelný s biologickým poločasem přeměny podobným jako u protilátek, což je důležité pro dosažení optimálního poměru mezi aplikovaným radiofarmakem a tkáněmi pacienta. Výhodou použití

^{89}Zr je také to, že PET obraz není rušen vedlejšími produkty přeměny jádra – u jiných radioaktivních izotopů, např. u ^{124}I, vznikají vedlejší produkty jaderné přeměny s energiemi výrazně bližšími k energii 511 keV anihilačních fotonů detekovaných PET kamerou, což může způsobovat rušení obrazu. Avšak ^{89}Zr produkuje pouze 23 % β^+ přeměn s doprovodným γ zářením o energii 909 keV, které s 511 keV anihilačními fotony neinterferuje. Další výhodou je, že po internalizaci protilátky se ^{89}Zr udržuje v buňce, což jej opět odlišuje od ^{124}I. Problémem je však vznik radiochemických nečistot, např. ^{88}Y, ^{88}Zr a mateřské ^{89}Y. Proto je nutné výsledný produkt podrobit purifikaci, aby byly vzniklé nečistoty odstraněny. Schopnost ^{89}Zr vázat se prakticky na jakoukoli protilátku z něj dělá velmi účinný nástroj k diagnostice. Umožňuje také určit potenciální citlivosti daného nádoru na zvolenou biologickou léčbu. Existuje mnoho preklinických i klinických aplikací radioizotopu ^{89}Zr, při kterých se tento nuklid standardně používá jako značka terapeutických protilátek a metoda PET se využívá k ověření účinnosti léčby a sledování jejího průběhu. Možnosti značení monoklonálních látek ^{89}Zr jsou omezeny pouze jejich dostupností. Technologie produkce protilátek se však rozvíjejí a radiofarmaka značená ^{89}Zr jsou tak dostupná většímu počtu medicínských zařízení. Největší obtíží v ČR a v okolních zemích je tak zřejmě dočasná absence zařízení s adekvátními podmínkami pro manipulaci s radioaktivním a biologickým materiálem za dodržení platných předpisů a správných laboratorních postupů. V následujících letech však lze očekávat rostoucí využití PET indikátorů značených ^{89}Zr (Adam, et al. 2014).

2.3.5 Nejčastěji používané radiofarmakum

V současné době je nejčastěji používaným radiofarmakem pro PET/CT vyšetření FDG značená ^{18}F. Příjem FDG je indikátorem tkáňového příjmu glukózy, což souvisí s některými typy tkáňového metabolismu. Pracovišť vybavených PET/CT skenery postupně přibývá. Nově jsou PET/CT vyšetření pomocí FDG prováděna např. na pracovišti nukleární medicíny Oddělení zobrazovacích metod Pardubické nemocnice, na kterém se jiné radiofarmakum zatím ani nepoužívá.

3 INDIKACE PACIENTA K PET/CT VYŠETŘENÍ

Nukleární medicína má v diagnostickém procesu v některých případech zcela nezastupitelné místo. Hlavním cílem vyšetření není určit strukturu cílové patologické léze, ale její biologický charakter. Metody nukleární medicíny se s metodami radiodiagnostickými doplňují. Vidíme to například u hybridního zobrazování, kde se obě informace – strukturální i molekulární – s výhodou získávají během jednoho vyšetření.

Přitom je potřeba konstatovat, že podobně jako v radiodiagnostice i v nukleární medicíně došlo k přesunu některých vyšetřovacích metod na jiné modality, které nevyužívají ionizující záření. Například došlo k významnému snížení počtu scintigrafií štítné žlázy, mozku, jater, ledvin a dalších orgánů. U většiny lze potřebnou informaci získat ultrazvukovým vyšetřením. Ejekční frakce srdce se stanovuje převážně rovněž pomocí ultrazvukového vyšetření, nikoliv pomocí radionuklidové ventrikulografie, jak tomu bylo dříve.

Na druhé straně se před nukleární medicínou otevírá nová perspektiva v široké oblasti skutečně molekulárního zobrazení, kde princip „výměny původních atomů za radioaktivní“ umožňuje včasné objevení, sledování a posouzení určité chorobné změny. Nukleární medicína by tak měla dokázat odpovědět na otázky o funkčnosti buněk, o poruchách metabolizmu, o počtu a funkci receptorů, o patologickém hromadění některých substrátů a o dalších biologicky důležitých dějích. Navíc molekulární zobrazování má proti strukturálnímu zobrazování tu velkou výhodu, že dokáže zobrazit změny výrazně dříve předtím, než se vyvinou poruchy struktury detekovatelné některou ze strukturálních zobrazovacích metod (Kubinyi et al. 2018).

3.1 Onkologické indikace

Radioterapie je hlavní léčebnou modalitou pro mnoho typů rakoviny. Nádorová odpověď hodnocená během radioterapie nabízí slibnou příležitost přizpůsobit léčebný plán sníženému nebo zvýšenému cílovému objemu, specificky zacílit podobjemy s relevantními biologickými charakteristikami (metabolismus, hypoxie, proliferace atd.) a dále ušetřit ohrožené orgány. Pozitronová emisní tomografie kombinovaná s počítačovou tomografií poskytuje kromě své úlohy v diagnostice a počátečním stagingu funkční informace, a proto je atraktivní pro hodnocení odpovědi nádoru. ^{18}F-FDG PET/CT má dobře zavedenou roli v klinické rutině po definitivní chemoradioterapii u lokálně pokročilého karcinomu hlavy a krku. ^{18}F-cholin PET/CT je indikován u pacientů s karcinomem prostaty s biochemickým selháním. ^{18}F-FDG PET/CT je volitelné za mnoha jiných okolností a klinické přínosy hodnocení odpovědí nádoru pomocí PET/CT zůstávají oblastí velmi aktivního výzkumu. Kombinace PET s magnetickou

rezonancí (PET/MRI) se může ukázat jako cenná u ozářených karcinomů rekta a děložního čípku. Nádorovou odpověď lze hodnotit pomocí PET/CT s klinickými důsledky v mnoha situacích, zejména u rakoviny mozku, krku a prostaty, po radioterapii. U většiny rakovin je stále zapotřebí další klinické hodnocení, pravděpodobně ve spojení s MRI

Mezi vhodné typy nádorů určené pro PET/CT vyšetření patří: bronchogenní karcinom, kolorektální karcinom, lymfom, maligní melanom, karcinom ovaria, karcinom prsu, karcinom oblasti hlavy a krku, další nádory, zvláště s rychlým růstem (Decazes, et al. 2018).

3.2 Neonkologické indikace

Horečka neznámého původu je definována jako tělesná teplota vyšší než 38,3 °C trvající déle než tři týdny, u níž se nepodařilo zjistit příčinu do týdne od přijetí do nemocnice. Bylo hlášeno více než 200 příčin, které lze rozdělit do čtyř kategorií: infekce, zánětlivá onemocnění, onkologické procesy a různé stavy.

Neinvazivní diagnostické techniky se používají v 69,2 % případů a invazivní ve zbývajících 30,8 %. Strukturální zobrazovací techniky ukazují morfologické změny z infekčních, zánětlivých a nádorových procesů, ale neumožňují detekci časných změn způsobených těmito procesy. Metabolické informace poskytované ^{18}F-FDG PET/CT mají u těchto pacientů slibnou roli. Vychytávání ^{18}F-FDG je založeno na využití glukózy buňkami jako zdroje energie, takže ji lze pozorovat u infekčních, zánětlivých a nádorových procesů.

Mezi další uznávané neonkologické indikace pro ^{18}F-FDG PET/CT patří sarkoidóza, osteomyelitida, spondylodiscitida, horečka neznámého původu a vaskulitida. Dohromady tvoří více než 85 % studií (García, 2017).

4 PŘÍPRAVA PACIENTA PŘED VYŠETŘENÍM

Příprava pacienta před hybridním PET/CT vyšetřením zahrnuje požadavky nutné pro správné provedení a hodnocení PET i CT komponenty vyšetření, přičemž některé požadavky jsou společné pro obě vyšetření (lačnění), jiné (protialergická příprava či normoglykemie) jsou specifické. Do přípravy pacienta spadá zjištění anamnézy, lačnění, dostatečná hydratace, udržení hladiny cukru v krvi na nízkých hodnotách, perorální a intravenózní aplikace kontrastních látek nutných ke správnému hodnocení CT vyšetření a protialergická příprava pacienta z důvodu snížení rizika možné alergické reakce na jodové kontrastní látky. Pacientům je třeba jasně a srozumitelně vysvětlit, jak se na vyšetření mají připravit a co musí dodržet tak, aby drahé vyšetření (viz výše) přineslo co nejlepší diagnostickou informaci a nebylo částečně nebo zcela znehodnoceno nedodržením postupů při přípravě pacienta na vyšetření. Pacienti musí instrukce k vyšetření pochopit s porozuměním tak, aby je mohli správně dodržet.

4.1 Lačnění

Lačnění je základním předpokladem správně provedeného a dobře hodnotitelného PET/CT vyšetření. Postačující je šestihodinová pauza od posledního jídla. Metabolismus glukózy tak lze udržet na bazální úrovni a vyvarovat se zvýšené akumulace FDG ve fyziologických strukturách a falešně nízké akumulace FDG v nádorových buňkách. Výjimkou je vyšetření viability myokardu, kdy naopak pacient lačnit nesmí.

4.2 Hydratace

Pacient by minimálně 6 hodin před vyšetřením pomocí FDG měl lačnit a vyvarovat se všemu co obsahuje cukr. Před vyšetřením je vhodné pít dostatečné množství tekutin, alespoň 1 litr. Doporučován je příjem nesladkých nápojů bez mléka až do samotného vyšetření. Dostatečná hydratace pacientů je důležitá pro snížení radiační zátěže z radiofarmaka a řádné distribuce radiofarmaka. Zároveň je nutná pro prevenci možných nefropatií po aplikaci jodové kontrastní látky intravenózně. Doporučované je pití vody až do vlastního vyšetření.

4.3 Glykemie a inzulinemie

Důležitým faktorem ovlivňujícím kvalitu metabolické části vyšetření je hladina glukózy v krvi. V onkologické diagnostice je hyperglykemie nežádoucí, neboť zvyšuje kompetici mezi glukózou a ^{18}F-FDG a zhoršuje výsledný obraz zmenšením kontrastu mezi nádorem a pozadím. Měření glykemie se provádí bezprostředně před aplikací FDG, respektive ještě před zavedením intravenózní kanyly. Dle dostupných informací zatím neexistuje jednotná horní hranice glykemie, kdy lze ještě vyšetření provést. Na většině pracovišť je arbitrárně stanovena hranice

10 mmol/l a při jejím překročení se provádí korekce hladiny cukru intravenózním podáním několika jednotek krátkodobě působícího inzulinu.

V některých indikacích je naopak vysoká hladina inzulinu potřebná. Například pro zobrazení myokardu, jehož buněčné membrány obsahují proteinové transportéry závislé na inzulinu, je výhodná vysoká hladina inzulinu v krvi při normální hladině glukózy. Vyšetření probíhá v tzv. hyperinzulinemicko-euglykemické fázi.

4.4 Příprava střeva před CT vyšetřením

Na CT skenech je střevo odlišitelné od peritoneálního a retroperitoneálního tuku. V místech těsného kontaktu s orgány, které mají se střevem shodnou či podobnou denzitu, je střevo odlišitelné obtížně či je zcela neodlišitelné. Proto je před CT vyšetřením podávána kontrastní látka perorálně, perrektálně (cílené vyšetření tračníku), eventuálně duodenální sondou do dvanáctníku (cílené vyšetření tenkého střeva hyperosmotickou kontrastní látkou).

K odlišení žaludku a střevních kliček v CT obraze je frakcionovaně podávána perorální kontrastní látka v průběhu 60–90 min. před vlastním vyšetřením. U starších lidí s pomalou střevní peristaltikou se osvědčilo začít s perorální přípravou již večer před vyšetřením. Užívá se dle indikace pozitivní či negativní kontrastní látka ředěná vodou v celkovém množství 1–2 litry. V případě cíleného vyšetření střeva je doporučována intravenózní aplikace myorelaxancia.

Nejčastěji používanými pozitivními perorálními kontrastními látkami jsou jodové roztoky. Ředí se přibližně 40 ml kontrastní látky s koncentrací jodu 300 mg/ml do 1 litru vody. K dispozici jsou i speciální baryové suspenze určené pro CT vyšetření.

Z negativních kontrastních látek se využívá 2–2,5% roztok manitolu nebo sorbitolu, duodenální sondou lze aplikovat 0,5 % karboxymethylcelulózu. Výhodou uvedených hyperosmotických kontrastních látek je výborná hodnotitelnost jemných reliéfových změn na sliznici střeva na CT a minimální množství artefaktů v PET obraze, které mohou koncentrované pozitivní látky vyvolat. Určitou nevýhodou výše uvedených osmoticky aktivních roztoků je vyvolání průjmu, a to zvláště u sorbitolu.

Pro zviditelnění orálních úseků trávicí trubice je výhodné podání vody těsně před vyšetřením nebo ještě během ukládání pacienta na vyšetřovací stůl. Dobře se tak zobrazí jícen, žaludek a duodenum a odliší se naléhající orgány, především hlava a těla pankreatu, žaludek a levý lalok jater. V dalších úsecích trávicí trubice se voda vstřebává a ke zviditelnění střeva nepomůže.

Perrektálně lze aplikovat jak pozitivní, tak negativní kontrastní látku, nejrozšířenější je dnes insuflace vzduchu.

Denzní kontrastní látka ve střevech bývá příčinou překorigování výsledných PET obrazů a zdrojem možných artefaktů. Proto jsou pro hybridní zobrazování výhodnější negativní kontrastní látky.

4.5 Příprava pacienta před intravenózní aplikací jodové kontrastní látky

Rizikovým pacientům podáváme neionické kontrastní látky, které vyvolávají méně nežádoucích reakcí. Pacienty s prokázanou těžkou alergií na jodové kontrastní látky vyšetřujeme postkontrastně pouze v případě nevyhnutelné indikace za přítomnosti anesteziologa po dlouhodobé přípravě, která činí 24–48 hodin. K přípravě pacienta s jinými typy alergických reakcí v anamnéze je doporučováno podání prednisonu 40 mg 12–18 hodin před aplikací jodové kontrastní látky (JKL) a 20 mg 6–9 hodin před aplikací JKL. V akutním případě, kdy není možné pacienta připravit předem, podáváme kortikoidy a antihistaminikum intravenózně.

Dle staršího doporučení se podávají 1–2 tablety bisulepinu (Dithiaden) před vyšetřením nebo 200 mg prednisonu 3× po 6 hodinách před vyšetřením, eventuálně 200 mg hydrokortisonu intravenózně jednu hodinu a těsně před vyšetřením.

Pacientům s prokázanou renální insuficiencí se aplikuje izoosmolární kontrastní látka s nízkou viskozitou jako prevence před dalším možným poškozením ledvin. Nejlepší prevencí postkontrastní nefropatie je dostatečná hydratace pacienta.

Aplikaci JKL je třeba se vyhnout u nemocných s thyreotoxikózou a u nemocných, kde se očekává vyšetřování nebo léčba radioaktivním jodem.

U pacientů s mnohočetným myelomem hrozí po aplikaci JKL precipitace bílkovin v ledvinách. Jako prevence je doporučována vydatná hydratace dostatečně dlouho dobu před vyšetřením. Díky hybridnímu zobrazování však lze často od kontrastního CT vyšetření ustoupit, neboť aktivitu a rozsah procesu citlivě mapuje intenzita metabolismu glukózy.

Rizikové skupiny pacientů, u kterých se doporučuje podání neionické kontrastní látky: děti do 15 let, věk nad 75 let, polyvalentní alergie, předchozí reakce na JKL + premedikace kortikoidy, renální insuficience, výkon bez zajištění řádné přípravy, nestabilní klinický stav, akutní cévní mozková ischemická příhoda, kumulace kontrastních vyšetření, diabetes mellitus, mnohočetný myelom a osoby s transplantovanou ledvinou.

4.6 Aplikace jodové kontrastní látky

Ke zlepšení kontrastu CT obrazů, zviditelnění cévních struktur a hodnocení vaskularizace fyziologických i patologických struktur je nutná intravenózní aplikace kontrastní látky. Podává se většinou přetlakovým injektorem v množství 80–100 ml JKL s koncentrací jodu 300–400 mg/ml rychlostí 1–6 ml/s bezprostředně před CT vyšetřením, eventuálně zároveň se skenováním. Rychlost aplikace kontrastní látky je závislá na klinickém požadavku zviditelnění určitých struktur a na technických parametrech CT přístroje, určujících možnou rychlost snímání. Čím kratší je čas snímání, tím musí být rychlost podání určeného objemu kontrastní látky vyšší. V hybridním zobrazení PET/CT je prakticky vždy rozsah snímání od baze lební po horní polovinu stehen, proto je třeba u přístrojů s pomalejší akvizicí dat naprogramovat aplikaci JKL do více fází s rozdílnými průtoky.

4.7 Aplikace radiofarmaka

Nejčastěji užívaná FDG se vzhledem k potřebě dostatečného akumulačního času podává 30 minut před vyšetřením metabolismu neuronů (u epilepsie), v ostatních případech 60–90 min. před vyšetřením většinou do kubitální žíly, eventuálně do periferní žíly na hřbetu ruky či nohy. Pokud je použita kanyla, je nutný řádný proplach 10–20 ml fyziologického roztoku.

Aktivita aplikovaného radiofarmaka se na různých pracovištích liší (okolo 370 MBq/70 kg hmotnosti) (Votrubová et al., 2009).

Diagnostické referenční úrovně (DRÚ) jsou úrovněmi ozáření, jejichž překročení se při vyšetření dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg při použití standartních postupů neočekává.

Pracoviště nukleární medicíny si stanoví místní diagnostické referenční úrovně (MDRÚ). Snaha aplikovat přesnou aktivitu, která byla danému pacientovi předepsána, by v nukleární medicíně mohla vést k provozním komplikacím a ke zvýšení radiační zátěže personálu – proto je v charakteristice chybného ozáření pacienta podle vyhlášky č 422 /2016 Sb. uvedena poměrně velká tolerovaná nepřesnost aktivity aplikované při diagnostickém lékařském ozáření – za významně odlišnou aktivitu se považuje ta, která se liší od předepsané o 40 % (Bělíková, 2019).

Po aplikaci FDG setrvává pacient v klidu tak, aby se ve zvýšené míře nehromadilo radiofarmakum v kosterním svalstvu. V případě vyšetření mozku je vhodné uložení pacienta do šeré a klidné místnosti na 10 minut před aplikací a po dobu akumulační fáze (Votrubová et al., 2009).

5 VÝZKUMNÁ ČÁST

5.1 Hlavní cíl

Cílem je vytvořit informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření.

5.2 Dílčí cíl

Dílčím cílem je zjistit, jak je laická veřejnost seznámena s fyzikálními jevy, které se uplatňují při diagnostice metodami nukleární medicíny.

5.3 Výzkumná otázka

Zjistit, jak je laická veřejnost seznámena s průběhem vyšetření PET/CT a s fyzikálními jevy, které se při vyšetření uplatňují.

5.4 Dílčí výzkumné otázky

a) Zjistit, zda pacienti považují informace poskytované zdravotníky před vyšetřením za srozumitelné.
b) Zjistit, zda pacienti ví, zda je jejich tělo po provedení vyšetření zobrazovacími modalitami radioaktivní.
c) Zjistit, zda pacienti ví, s kým by neměli být v kontaktu po vyšetření PET/CT a po jakou dobu.

5.5 Výzkumná metodika

Data pro dílčí cíl bakalářské práce byla získána pomocí kvantitativní výzkumné metody dotazníkového šetření. Dotazník se skládal celkem z 19 položek a byl sestaven pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření. Tento dotazník je přiložen v Příloze C předložené práce.

Úvodní položky dotazníku jsou popisné (pohlaví respondenta, věk, vzdělání). Následují položky, pomocí kterých byla zjišťována informovanost pacienta o PET/CT vyšetření, o jeho průběhu a přípravě na ně. Dotazníkové položky byly koncipovány jako otázky s volbou odpovědí z jedné nebo z více možností – pokud bylo možno současně volit více možností, bylo to u položky výslovně uvedeno. Příkladem položky s jednou možnou odpovědí je položka č. 5 *Obdrželi jste při nástupu Informace pro pacienty? (Jedná se o dokument, ve kterém se dočtete, co to vlastně PET/CT je a co od něj můžete čekat.)* s alternativami a) Ano; b) Ne.

Příkladem položky s více možnými odpověďmi je položka č. 14: *S kým byste po aplikaci radiofarmaka neměli být v těsném kontaktu? (Zvolte libovolný počet odpovědí.)* s alternativami a) Děti; b) Dospělí; c) Těhotné ženy; d) Můžu být v kontaktu s kým chci. Položka číslo 14 byla zařazena proto, abych zjistil, zda si jsou pacienti vědomi toho, že by po vyšetření mohli svou přítomností ohrozit děti a těhotné ženy (respektive plod).

Příkladem položek, pomocí kterých byly zjišťovány všeobecné znalosti pacientů o vyšetření pomocí zdrojů ionizujícího záření jsou položky č. 16: *Myslíte si, že je Vaše tělo po aplikaci radiofarmaka radioaktivní?* a položka č. 17: *Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?* Dvojice otázek 16 a 17 byla zařazena proto, abych zjistil, zda si pacienti uvědomují rozdíl mezi mechanismem působení ionizujícího záření z generátoru ionizujícího záření (rentgenky) a z radionuklidového zdroje (radiofarmaka). Dotazník obsahoval také položky s volnou textovou odpovědí, příkladem je položka č. 13: *Vyskytly se během vyšetření někdy nějaké komplikace? Pokud ano, tak jaké?*

Dotazník byl zcela anonymní a v tištěné formě rozdáván personálem PET/CT oddělení Fakultní nemocnici Hradec Králové v zimě r. 2021. Celkem z 50 rozdaných dotazníků jich bylo respondenty vyplněno 38. Návratnost dotazníku tedy byla 0,76. Tito respondenti dotazník vyplnili před svým PET/CT vyšetřením ve FNHK.

Vyplněné dotazníky mi byly předány vedením oddělení NUM ve FNHK. Data jsem zpracoval formou základní popisné statistiky v programu Microsoft Excel, ve kterém jsem vytvořil dále uvedené tabulky.

Výsledky tohoto dotazníku mi pomohly k vytvoření Informačního systému pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření, což je hlavní cíl mé bakalářské práce.

5.6 Výsledky dotazníkového šetření

Dotazník vyplnilo celkem 38 respondentů. Jednalo se o 19 mužů (50 %) a 19 žen (50 %) v různém věkovém rozmezí viz Tabulka 3.

Tabulka 3: *Věk respondentů*

Věk [rok]	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Do 18	0	0
19–30	1	2,6
31–45	4	10,5
46–60	12	31,6
nad 60	21	55,3
Celkem	38	100

Z Tabulky 3 je zřejmé, že převládající věkovou skupinou je skupina respondentů, kterým je více než 60 let a kterých byla nadpoloviční většina. Za zmínku také stojí skupina ve věku

46–60 let, která tvoří téměř jednu třetinu respondentů. Z těchto výsledků vyplývá že k PET/CT vyšetření jsou častěji indikování starší pacienti, což je v souladu s očekáváním onkologických indikací k PET vyšetřením u vyšších věkových skupin.

Otázka č. 3: Nejvyšší dosažené vzdělání

Tabulka 4: *Nejvyšší dosažené vzdělání*

Nejvyšší dosažené vzdělání	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Základní	6	15,8
Střední s maturitou	16	42,1
Střední bez maturity	13	34,2
Vysokoškolské technické	1	2,6
Vysokoškolské přírodovědné	1	2,6
Vysokoškolské jiné	1	2,6
Celkem	38	100

Vzhledem k věkovým skupinám mých respondentů lze předpokládat, že vysokoškolské vzdělání nebude tak běžné a bude převahovat vzdělání středoškolské. Z toho plyne, že poučení pro pacienty musí být formulováno jednodušeji, na úrovni maximálně středoškolských poznatků a vědomostí tak, aby mu porozuměl každý. Složitější a preciznější výklad bude primárně určen jen pro malou část pacientů s vysokoškolským vzděláním.

Otázka č. 4: Jste na PET/CT vyšetření poprvé?

Tabulka 5: *Jste na PET/CT vyšetření poprvé?*

Jste na PET/CT vyšetření poprvé?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano, jsem.	12	31,6
Ne, už jsem byl/a dříve.	26	68,4
Celkem	38	100

Podle výsledků z Tabulky 5 vidíme, že 26 respondentů (68,4 %) už na PET/CT vyšetření někdy bylo a 12 (31,6 %) jich bylo v době plnění mého dotazníkového šetření na vyšetření poprvé.

Otázka č. 5: Obdrželi jste při nástupu Informace pro pacienty? (Jedná se o dokument, ve kterém se dočtete, co to vlastně PET/CT je a co od něj můžete čekat.)

Tabulka 6: *Obdrželi jste při nástupu Informace pro pacienty?*

Obdrželi jste při nástupu Informace pro pacienty?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	38	100
Ne	0	0
Celkem	38	100

Potvrdilo se, že Informace pro pacienty skutečně obdrželi všichni pacienti a že pravidla informování pacientů jsou dodržována.

Otázka č. 6: Pokud jste odpověděli ne, tak pokračujte k otázce číslo 8, pokud ano, odpovězte na tuto otázku: Přišel vám dokument srozumitelný a lehce pochopitelný?

Tabulka 7: *Přišel vám dokument srozumitelný a lehce pochopitelný?*

Přišel vám dokument srozumitelný a lehce pochopitelný?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano, pochopil/a jsem všechno.	31	81,6
Zhruba jsem pochopil/a.	7	18,4
Ne, nic jsem z něho nepochopil/a.	0	0
Celkem	38	100

Tabulka 7 ukazuje, že Informační systém pro pacienty, kteří jdou na PET/CT vyšetření ve FNHK je dostatečně srozumitelný pro cca 4/5 pacientů. Naopak 1/5 pacientů uvedla, že instrukce pochopila jen zhruba. Z 38 respondentů se nenašel nikdo, pro koho by byly instrukce zcela nepochopitelné.

Otázka č. 7: Přidali byste do Informací pro pacienty nějakou informaci, která Vám osobně chyběla? (Pokud ano, tak dopište.)

Tabulka 8: *Přidali byste do Informací pro pacienty nějakou informaci, která Vám osobně chyběla?*

Přidali byste do Informací pro pacienty nějakou informaci, která Vám osobně chyběla?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	0	0
Ne	38	100
Celkem	38	100

Z Tabulky 8 vyplývá, že všichni pacienti, kteří jdou na PET/CT vyšetření ve FNHK, se domnívají, že Informační systém pro pacienty je informačně dostačující. Nikomu z 38 respondentů nechyběla žádná informace ohledně vyšetření. Současně však 20 % pacientů uvedlo v otázce č. 6, viz Tabulka 6, že dokument pochopili jen zhruba. Problém by mohl být ve složitosti formulací, které by tedy mohly být lépe a výstižněji formulovány.

Otázka č. 8: Byli jste před aplikací radiofarmaka seznámeni s možnými komplikacemi?

Tabulka 9: *Byli jste před aplikací radiofarmaka seznámeni s možnými komplikacemi?*

Byli jste před aplikací radiofarmaka seznámeni s možnými komplikacemi?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	33	86,8
Ne	5	13,2
Celkem	38	100

Podle Tabulky 9 uvedlo téměř 13 % respondentů, že nebylo seznámeno s možnými komplikacemi týkajících se aplikovaných radiofarmak, což je nedostatek, ke kterému by nemělo docházet. Zbylý počet respondentů byl o možných komplikacích předem informován. Seznámeni mohli být buď personálem nebo z Informací pro pacienty.

Otázka č. 9: Setkali jste se před vyšetřením někdy s informacemi o radiofarmakách? (internet, televize, různé články, z doslechu atd.) Popřípadě kde?

Tabulka 10: *Setkali jste se před vyšetřením někdy s informacemi o radiofarmakách?*

Setkali jste se před vyšetřením někdy s informacemi o radiofarmakách?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	10	26,3
Ne	28	73,7
Celkem	38	100

Zhruba jedna čtvrtina respondentů uvedla, že se před vyšetřením někdy setkali s informacemi o radiofarmakách a mezi zdroje informací uvedli televizi, internet, školu, doslech a zkušenosti v rodině. Zbylí respondenti se s radiofarmaky nikdy nesetkali nebo o nich neslyšeli.

Otázka č. 10: Vyhledávali jste si další informace o vašem vyšetření? (v odborné literatuře, na webu nemocnice, na webu Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, dotazy u odborníků, nebo jinde?)

Tabulka 11: *Vyhledávali jste si další informace o vašem vyšetření?*

Vyhledávali jste si další informace o vašem vyšetření?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	9	23,7
Ne	29	76,3
Celkem	38	100

Tabulka 11 znázorňuje, že si téměř 25 % respondentů vyhledávalo další informace o svém vyšetření a jako příklady uvedli lékaře a wikipedii. Z toho vyplívá, že některé pacienty vyšetření zajímá více, než jak se o něm dozvěděli z Informací pro pacienty. Zbytek respondentů si informace nevyhledávalo. Ukazuje se tedy, že by Informace pro pacienta mohla být doplněna kvalifikovanými odkazy na doplňující informací.

Otázka č. 11: Bylo Vám před vyšetřením zopakováno, jaký bude jeho průběh?

Tabulka 12: *Bylo Vám před vyšetřením zopakováno, jaký bude jeho průběh?*

Bylo Vám před vyšetřením zopakováno, jaký bude jeho průběh?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	36	94,7
Ne	2	5,3
Celkem	38	100

Výsledky otázky číslo 11 jsou alespoň pro mě zarážející. Dva respondenti, tj. 5 % uvedli, že jim před vyšetřením nebyl zopakován průběh jejich vyšetření. Podrobnosti neznáme. Pacient mohl na vyšetření být už po několikáté a průběh zopakovat nechtěl. Každopádně by se průběh vyšetření měl pacientovi vždy opakovat.

Otázka č. 12: Komunikovali s Vámi zdravotníci během vyšetření?

Tabulka 13: *Komunikovali s Vámi zdravotníci během vyšetření?*

Komunikovali s Vámi zdravotníci během vyšetření?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	38	100
Ne	0	0
Celkem	38	100

Výsledky otázky číslo 12 naznačují, že personál FNHK odvádí svou práci dobře a pacienty nezanedbává a komunikuje s nimi. Všech 38 respondentů (100 %) uvedlo, že s nimi personál během vyšetření komunikoval.

Otázka č. 13: Vyskytly se během vyšetření někdy nějaké komplikace? Pokud ano, tak jaké?

Tabulka 14: *Vyskytly se během vyšetření někdy nějaké komplikace?*

Vyskytly se během vyšetření někdy nějaké komplikace?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	1	2,6
Ne, vše proběhlo v pořádku.	37	97,4
Celkem	38	100

Na otázku číslo 13 uvedl jediný respondent, že se během vyšetření vyskytly komplikace. Tento respondent bohužel neuvedl, o jakou komplikaci se jednalo.

Otázka č. 14: S kým byste po aplikaci radiofarmaka neměli být v těsném kontaktu? (Zvolte libovolný počet odpovědí.)

Tabulka 15: *S kým byste po aplikaci radiofarmaka neměli být v těsném kontaktu? (Zvolte libovolný počet odpovědí)*

S kým byste po aplikaci radiofarmaka neměli být v těsném kontaktu? (Zvolte libovolný počet odpovědí)	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Děti	35	47,9
Dospělí	1	1,4
Těhotné ženy	37	50,7
Můžu být v kontaktu s kým chci.	0	0
Celkem	73	100

Tabulka 15 ukazuje, že lidé jsou správně informováni (až na 1 případ) o tom, s kým by se po aplikaci radiofarmaka neměli stýkat. Celkem bylo zaznamenáno 73 odpovědí, což odpovídá 1,92 odpovědím na 1 respondenta. Správně byly odpovědi s dětmi a těhotnými ženami.

Otázka č. 15: Jak dlouho byste po aplikaci radiofarmaka neměli být s osobu uvedenou v předchozí otázce v těsném kontaktu?

Tabulka 16: *Jak dlouho byste po aplikaci radiofarmaka neměli být s osobou uvedenou v předchozí otázce v těsném kontaktu?*

Jak dlouho byste po aplikaci radiofarmaka neměli být s osobou uvedenou v předchozí otázce v těsném kontaktu?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Hodinu	1	2,6
Do večera	13	34,2
Den	23	60,5
Záleží na druhu radiofarmaka	1	2,6
Mohu být hned v těsném kontaktu	0	0
Celkem	38	100

Otázka číslo 15 směřovala na to, jestli pacienti ví, jak dlouho nesmí být v kontaktu s rizikovými skupinami. Záleží na množství aplikované aktivity a poločasu přeměny radiofarmaka. Například po aplikaci 370 MBq ^{18}FDG je aktivita zanedbatelná až po 18 hodinách, viz příklad v kapitole **2.2.1 Umělé radionuklidy.**

Otázka č. 16: Myslíte si, že je Vaše tělo po aplikaci radiofarmaka radioaktivní?

Tabulka 17: *Myslíte si, že je Vaše tělo po aplikaci radiofarmaka radioaktivní?*

Myslíte si, že je Vaše tělo po aplikaci radiofarmaka radioaktivní?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	34	89,5
Ne	4	10,5
Celkem	38	100

Správná odpověď na otázku číslo 16 byla „Ano“. V informacích o radiofarmakách by tahle skutečnost měla být uvedena.

Otázka č. 17: Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?

Tabulka 18: *Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?*

Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	18	47,4
Ne	20	52,6
Celkem	38	100

Otázka číslo 17 byla zařazena do dotazníkového šetření jen ze zvědavosti, jak je veřejnost obeznámena s rozdílem mezi radiodiagnostikou a nukleární medicínou. Z Tabulky 18 vidíme, že si nadpoloviční většina respondentů správně myslí, že po RTG ozáření nejsou radioaktivní. Skoro polovina respondentů si naopak myslí, že jsou po ozáření RTG přístrojem radioaktivní, což je omyl. Svědčí to o špatném pochopení mechanismu působení rentgenového záření na lidské tělo a v navrženém Informačním systému by tento aspekt měl být zdůrazněn.

Otázka č. 18: Vyšetření je časové náročné. Co při čekáni děláte? (Zvolte libovolný počet odpovědí.)

Tabulka 19: *Vyšetření je časově náročné. Co při čekání děláte? (Zvolte libovolný počet odpovědí)*

Vyšetření je časově náročné. Co při čekání děláte? (Zvolte libovolný počet odpovědí)	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Čtu si tisk / knihy / elektronické zprávy	20	40
Komunikuji v sociální síti	4	8
Poslouchám hudbu	3	6
Sleduji TV/Video	9	18
Jiné	14	28
Celkem	50	100

V Tabulce 19 jsou uvedeny činnosti, kterými si respondenti krátí čas při čekání na vyšetření. Jeden respondent mohl vyznačit více správných odpovědí. Nejvíce respondentů si čte 40 %, dále mezi nejvíce prováděné aktivity patří „Jiné“ 28 %. Mezi jiné může patřit úplně cokoliv (1 respondent uvedl, že sleduje provoz v čekárně). 18 % respondentů sleduje televizi nebo video, 8 % komunikuje v sociální síti a 6 % poslouchá hudbu. Pacienti mají trávit čas tak, aby byli v klidu a aby distribuce radiofarmaka odpovídala klidovému stavu.

Otázka č. 19: Nosíte si na oddělení svačinu?

Tabulka 20: *Nosíte si na oddělení svačinu?*

Nosíte si na oddělení svačinu?	Počet respondentů	
	Absolutní počet [n]	Relativní četnost [%]
Ano	4	10,5
Ne	34	89,5
Celkem	38	100

Tahle otázka byla zařazena čistě z mé zvědavosti. Na PET/CT vyšetření se chodí dle instrukcí na lačno (také mi to tam jeden respondent i připsal), ale má otázka byla myšlena tak, že po celém dnu lačnění bude mít pacient po vyšetření hlad a bude chtít něco sníst. 89,5 % respondentů odpovědělo, že si svačinu nenosí. 10,5 % bylo předvídavých a svačinu si s sebou vzali.

6 NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU

Na základě studia odborné literatury, inspirací z informačních letáků pro pacienty a dat získaných z dotazníkového šetření byl vypracován Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření. Tento systém je vytvořen v podobě základního hypertextového Google dokumentu a obsahuje odkazy na videosekvence a vysvětlující nebo doplňující odkazy na jiné stránky v druhé vrstvě. Jako informační zdroje druhé vrstvy jsem zvolil stránky wikipedie, web Dr. Ullmanna, odborné položky uvedené v použitých zdrojích a také tématické dokumenty, které jsem na základě odborných citovaných zdrojů vytvořil sám. Tento informační systém je dostupný pomocí QR kódu (viz obr. č. 2) a odkazu:

https://docs.google.com/document/d/109DE1JfDSeVFiyVGxPj8flWRPZVJ_lo9Q0gs-qdN0Zo/edit?usp=sharing

Obrázek 2 *QR kód*

Příloha A nabízí k nahlédnuti část hlavního vlákna Informačního systému, zatímco Příloha B zobrazuje ukázku hypertextového odkazu, kterých je v systému obsaženo více, psanou v cloudovém Google dokumentu. Zbylé hypertextové odkazy přesměrují pacienty na wikipedii, web Dr. Ullmanna a použité zdroje, které byly použity jako věrohodné zdroje při tvorbě tohoto systému. Celkový rozsah systému je 2338 slov.

7 DISKUZE

Výzkumným cílem práce bylo zjistit, jak je laická veřejnost seznámena s průběhem vyšetření PET/CT a s fyzikálními jevy, které se při vyšetření uplatňují. Informovanost pacientů byla posuzována na základě dotazníkového šetření a v této kapitole jsou diskutována získaná data.

Dílčí výzkumná otázka č. 1 – Zjistit, zda pacienti považují informace poskytované zdravotníky před vyšetřením za srozumitelné.

První dílčí výzkumnou otázku jsem zvolil proto, že se domnívám, že některým pacientům mohou instrukce obsažené v informacích k vyšetření připadat příliš složité a pro ně nesrozumitelné. Odpověď na tuto dílčí výzkumnou otázku jsem hledal pomocí dotazníkových položek č. 6 a č. 7. Položka č. 6 navazovala na položku č. 5, ve které byli pacienti dotazováni, jestli dostali při nástupu informace pro pacienty. Všech 38 respondentů odpovědělo, že při nástupu tento dokument obdrželi, takže po formální stránce bylo provedeno informování pacientů v souladu s legislativou – poskytovatel zdravotních služeb zajistil, aby byl pacient srozumitelným způsobem v dostatečném rozsahu informován o svém zdravotním stavu a o navrženém léčebném postupu a všech jeho změnách. Navazující položka č. 6 směřovala k pochopení informací pro pacienty a byla formulována následovně: „Pokud jste odpověděli ne, tak pokračujte k otázce číslo 8, pokud ano, odpovězte na tuto otázku: Přišel vám dokument srozumitelný a lehce pochopitelný?“ Na tuto otázku odpovědělo 31 respondentů „Ano, pochopil/a jsem všechno“ a 7 pacientů odpovědělo, že zhruba všechno pochopili.

Pomocí dotazníkové položky č. 7 jsem nedostatky, které informace pro pacienty z jejich hlediska mají. Položka umožňovala napsat volnou odpověď, nicméně tuto možnost nevyužil žádný pacient –všichni vyznačili, že jim žádná informace osobně nechyběla.

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že respondenti v informacích k vyšetření sice nic nepostrádali, nicméně část z nich se domnívala, že informace pochopili jen zhruba, přibližně. To lze částečně vysvětlit strukturou věku a vzdělání pacientů, což bylo zjišťováno v položkách č. 2 a č. 3. Většina pacientů byla ve vyšší věkové skupině, z 38 se jich bylo 12 ve věku mezi 46–60 lety a 21 respondentům bylo nad 60 let. Dále, u položky č. 3 týkající se nejvyššího dosaženého vzdělání respondentů převažovalo základní a středoškolské vzdělání a jen 3 respondenti z 38 dosáhli vzdělání vysokoškolského. Určitou míru nejistoty, resp. nepochopení informací pro pacienty by tedy bylo možno vysvětlit více příčinami, jednak samotným vyšším věkem části pacientů, ve kterém se již může projevit oslabení kognitivních schopností, jednak jejich nižším vzděláním, tj. slabší průpravou k pochopení složitějších

textových informací. Ukazuje se tedy, že základní struktura informací pro pacienty by měla více respektovat specifika cílové skupiny, tj. vyšší věk a spíše nižší vzdělání.

Dílčí výzkumná otázka č. 2: Zjistit, zda pacienti ví, zda je jejich tělo po provedení vyšetření různými zobrazovacími modalitami radioaktivní.

Druhý dílčí cíl byl vyhodnocen na základě dotazníkových položek č. 16 a č. 17. Pomocí dotazníkové položky č. 16 bylo zjišťováno, zda-si jsou pacienti vědomi, že po absorbování radiofarmaka v jejich těle vyzařují ionizující záření a tím pádem je jejich tělo po určitou dobu radioaktivní. Z 38 respondentů přesto 4 odpověděli, že si myslí že radioaktivní nejsou. Ukazuje se tedy, že tito pacienti špatně pochopili informace o radioaktivitě, radiofarmakách a poločase rozpadu, což by mohlo vést například k tomu, že by tito respondenti mohli být po dobu přetrvávání radioaktivity svého těla v kontaktu s dětmi nebo těhotnými ženami.

Pomocí položky č. 17 „Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?“ bylo zjišťováno, zda pacienti chápou a rozumí mechanismům vzniku radioaktivity, resp. tomu, že při diagnostice pomocí rentgenového záření se v jejich tělech nemůže indukovat radioaktivita. Výsledky byly překvapivé, téměř polovina, tj. 18 z 38 respondentů uvedlo, že si myslí že po ozáření rentgenovým přístrojem radioaktivní jsou. Z fyzikální podstaty jevů, které se uplatňují při interakci rentgenového záření s tkáněmi vyplývá, že po ozáření rentgenovým přístrojem nemůže být příčinou vzniku radioaktivity v těle pacienta. Pacient tedy nemusí dodržovat omezení kontaktu s rizikovými skupinami a může pokračovat v každodenním životě. Současně by zvídavý pacient mohl mít např. pochybnosti, zda v instrukcích k vyšetření metodami rentgenové diagnostiky nebylo upozornění na nebezpečí kontaktu s těhotnými ženami nedopatřením vynecháno. Ukazuje se tedy, že část pacientů si neuvědomuje všechny rozdíly mezi vyšetřením metodami radiodiagnostiky a nukleární medicíny. Takové zjištění jsem jako student oboru radiologický asistent neočekával – bylo pro mne dalším podnětem k tomu, že informace pro pacienty je žádoucí formulovat srozumitelně a v širším kontextu.

V mém informačním systému je tento problém v oddíle Radiofarmaka jasně a jednoduše vysvětlen a domnívám se, že by tato problematika měla být zdůrazněna ve všech informacích pro pacienty vyšetřované pomocí zobrazovacích metod.

Dílčí výzkumná otázka č. 3: Zjistit, zda pacienti ví, s kým by neměli být v kontaktu po vyšetření PET/CT a po jakou dobu.

Odpověď na tuto výzkumnou otázku byla zjišťována pomocí položek č. 14 a č. 15. U dotazníkové položky č. 14 pacienti odpovídali, zda si jsou vědomi toho, s kým po vyšetření nemají být v kontaktu. Mohli volit z alternativ: a) Děti; b) Dospělí; c) Těhotné ženy; d) Můžu být v kontaktu s kým chci. Pacienti mohli označit libovolnou kombinaci položek a celkový počet odpovědí byl 73. Ukázalo se, že většina pacientů byla správně informována a pamatovala si, že nesmí být v kontaktu s dětmi (35 respondentů) a těhotnými ženami (37 respondentů). Jen jeden pacient se domníval, že nesmí být v kontaktu s dospělými osobami, což je zanedbatelná četnost a mohlo se jednoduše jednat o lidskou chybu. Důležité je, že naprostá většina respondentů zvolila správně děti a těhotné ženy, jelikož ti jsou kvůli radioaktivitou těla pacienta nejvíce v ohrožení. U těhotných žen je v ohrožení hlavně plod.

Pomocí dotazníkové položky č. 15 bylo zjišťováno, zda pacienti vědí, po jaké době je bezpečné se s rizikovými skupinami opět bezpečně stýkat. Z 38 respondentů 23 odpovědělo „den“, 13 uvedlo, že „do večera“ a po jednom respondentovi uvedli „hodinu“ a „záleží na druhu radiofarmaka“. Až na odpověď „hodinu“ by se daly považovat všechny odpovědi za správné, protože záleží na druhu radiofarmaka, aplikované aktivitě a také poločasu přeměny radiofarmaka. V praxi se využívá pravidla 10 poločasů, kdy se za 10 poločasů přeměny a při zohlednění biologického poločasu poklesne aktivita aplikovaného radiofarmaka na zanedbatelnou a bezpečnou hodnotu. Současně je žádoucí, aby pacient vypil dostatečné množství tekutin, aby se určitá část radiofarmaka vyloučila močí. Alternativy „do večera“ a „den“ lze tedy také považovat za správné, protože při stanovení času (do večera/den) je třeba u radiofarmak pro PET s poločasy rozpadu přibližně desítky minut až dvě hodiny zohlednit i to, zda k aplikaci došlo ráno, dopoledne či večer. Samozřejmě, z hlediska radiační ochrany je delší odhad bezpečnější.

Z výše uvedených informací lze učinit závěr, že respondenti byli o problematice přiměřeně informování a vědí, s kým nemají být v bližším kontaktu a po jakou dobu. Není ovšem zřejmé, zda by pacienti uměli použít pravidlo 10 poločasů a ani to, proč mají po vyšetření pít větší množství tekutin.

Problematika ochrany blízkých osob a použití pravidla deseti poločasů je v informačním systému podrobněji uvedena tak, aby se pacienti mohli ještě lépe poučit.

Ukázalo se, že by informační systém měl být formulován takovým stylem, aby ho pochopil úplně každý a o to jsem se snažil. Podrobněji vysvětlené informace jsou pro pacienty dostupné v rozklikávacích hypertextových vrstvách, které je zavedou na odborný informační zdroje,

kde je vše podrobněji vysvětleno – weby, wikipedie anebo další cloudový dokument s vysvětlením.

Hlavní výzkumná otázka – Zjistit, jak je laická veřejnost seznámena s průběhem vyšetření PET/CT a s fyzikálními jevy, které se při vyšetření uplatňují.

Míra informovanosti pacientů, kteří jsou indikováni k PET/CT vyšetření, vychází z výsledků provedeného dotazníkového šetření a také ze závěrů dílčích výzkumných otázek. Informovanost pacientů byla v jistých ohledech dostačující – např. respondenti s vysokou spolehlivostí vědí, s kým se po vyšetření nemají stýkat po dobu, po kterou je jejich tělo radioaktivní. Současně šetření ukázalo na některé nejasnosti, resp. nedorozumění – někteří pacienti si myslí, že po aplikaci radiofarmaka nejsou radioaktivní, ale jsou si vědomi že si mají držet odstup od dětí a těhotných žen. To je protichůdný závěr, který svědčí o tom, že respondenti dobře nerozumí mechanismu působení radiofarmaka. Někteří respondenti také nerozumí dobře rozdílu mezi radiodiagnostickým vyšetřením a vyšetřením pomocí radiofarmak, tj. mezi metodami radiodiagnostiky a nukleární medicíny, neboť někteří z nich se domnívají, že jsou po rentgenovém ozáření radioaktivní. Také tento aspekt jsem podrobněji uvedl v navrženém informačním systému.

Ukázalo se, že dotazník k informacím o vyšetření by mohl být rozsáhlejší a podrobnější, mohl by být doplněn o položky na téma zavodnění, lačnosti a důvodů, proč tyto instrukce musí pacienti dodržovat – lačnění je základním předpokladem správně provedeného a dobře hodnotitelného PET/CT vyšetření a postačující je šestihodinová pauza od posledního jídla, aby metabolismus pacienta nebyl ovlivněn žádnými rušivými podněty.

7.1 Návrh kontrolního seznamu

Ukázalo se, že někteří pacienti neporozuměli dobře obsahu informačního letáku, resp. Instrukcím, jak se připravit na PET/CT vyšetření tak, aby toto vyšetření přineslo co nejlepší diagnostickou informaci. Možným řešením by byl jednoduchý a srozumitelný kontrolní seznam obsahující základní položky, jejichž splnění by si pacient označil zatržením, např. v průběhu 6 hodin před vyšetřením jsem nic nesnědl, v průběhu 24 hodin před vyšetřením jsem vypil alespoň 2 litry tekutin apod. Další položky by se mohly týkat žádanky, kontraindikací k vyšetření atd. Takový seznam by mohl být užitečnou pomůckou jak pro pacienty, tak pro zdravotníky, kteří kontrolují anamnézu pacienta a průběh jeho přípravy na vyšetření. Vyznačení všech položek by pacienta i personál přehlednou formou informovalo o tom, že pacient splnil

požadavky správné přípravy na vyšetření a nedocházelo by ke komplikacím až tehdy, když se pacient na vyšetření dostaví a jsou zjištěny nesrovnalosti a chyby.

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření. Systém byl vytvořen autorem práce na základě studia odborné literatury, inspirací z informačních letáků pro pacienty a dat získaných z dotazníkového šetření. Má podobu víceúrovňového cloudového dokumentu na platformě Google a je dostupný online pomocí své URL adresy v textové formě nebo v grafické formě QR kódu.

Dílčím cílem práce bylo pomocí kvantitativní výzkumné metody dotazníkového šetření získat data o tom, co pacienti o svém vyšetření ví a co by se ještě dozvědět měli. Tato data byla využita při tvorbě Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření. Informovanost pacientů před vyšetřením a porozumění informacím jsou velmi důležité, neboť dobře připravený pacient je základním předpokladem pro získání co nejlepší diagnostické informace získané při PET/CT vyšetření. Naopak špatně připravený pacient může vyšetření zkomplikovat, a dokonce i znehodnotit, pokud nepostupuje podle instrukcí a odchylky nejsou zjištěny, resp. je pacient zdravotníkům nevědomě či vědomě zatají. Vyšetření v ceně desítek tisíc Kč pak může přijít vniveč.

Přínos své práce vidím hlavně ve vytvoření vlastního informačního systému, na který lze pacienta odkázat prostřednictvím URL adresy či QR kódu, které by byly doplněny do dokumentu *Poučení pro pacienta* zasílaného společně s anamnestickým dotazníkem a informovaným souhlasem pacientovi indikovanému k PET/CT vyšetření. Pacient, který by se chtěl ke svému vyšetření dozvědět více podrobností, tak bude mít k dispozici informační zdroj obsahující věrohodné údaje a nebude je muset obtížně vyhledávat v různých, někdy méně důvěryhodných zdrojích.

9 POUŽITÁ LITERATURA

ADAM, Jan, et al. *Současné trendy ve využívání PET radiofarmak k onkologické diagnostice* [online]. Brno: Klin Onkol, 2014, 8 s. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/186/4505.pdf

BĚLÍKOVÁ, H. *Národní Radiologické Standardy Nukleární medicína* [online]. In: *is.muni.cz*. Brno: Masarykova Univerzita, 2019, 27 s. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/med/jaro2019/ARADc/um/NRS_prednaska_2019.pdf

BĚLOHLÁVEK, Otakar, FENCL, Pavel. *Hybridní zobrazování výpočetní a pozitronovou emisní tomografií*. In: *internimedicina.cz* [online]. Solen, 2004 [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2004/02/03.pdf

DECAZES P, et al. *How to use PET/CT in the evaluation of response to radiotherapy*. Q J Nucl Med Mol Imaging. 2018 Jun;62(2):152-164. doi: 10.23736/S1824-4785.17.03033-3. Epub 2017 Nov 28. PMID: 29186937.

FAKULTNÍ NEMOCNICE HRADEC KRÁLOVÉ. *PET/CT = pozitronová emisní a rtg počítačová tomografie*. Hradec Králové: FN HK, 2011 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: https://www.fnhk.cz/fs306/co-je-to-pet.doc

GARCÍA, JR. *Febrile syndrome of unknown origin: Indications for ^{18}F-FDG PET/CT in inflammatory and infectious processes*. Radiologia. 2017 May-Jun;59(3):253-263. English, Spanish. doi: 10.1016/j.rx.2016.07.007. Epub 2016 Sep 23. PMID: 27671947.

HAŠKOVCOVÁ, Dana. *Kontrastní látky.* Praha: Vysoká škola zdravotnická, 2015 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: https://is.vszdrav.cz/el/vsz/leto2021/ZZRARO1981/2A_Kontrastni_latky.ppt

KONTROVÁ, Kateřina. 2015. ^{18}F-fluorid sodný. In: *radiomedic.cz* [online]. Copyright 2015 RadioMedic [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: https://www.radiomedic.cz/odborne-info/18fnaf/

KONTROVÁ, Kateřina. 2015. O-(2-[^{18}F]fluorethyl)-L-tyrosin. In: *radiomedic.cz* [online]. Copyright 2015 RadioMedic [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: https://www.radiomedic.cz/odborne-info/18ffet/

KOZUBÍKOVÁ, Petra a Martin HORÁK. *POROVNÁNÍ KLASICKÉHO REKONSTRUKČNÍHO ALGORITMU FILTROVANÉ ZPĚTNÉ PROJEKCE (FBP) A ALGORITMU ITERATIVNÍ REKONSTRUKCE (IRIS)*. In: *cesradiol.cz*, Česká Radiologie, 2011, 65(3), 177–182 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1103_177_182.pdf

KUBINYI, Jozef, SABOL Jozef, VONDRÁK, Andrej. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. 302 s. ISBN 978-80-271-0168-9.

KUPKA, Karel, et al. *Nukleární medicína.* Praha: P3K, 2015, 160 s. ISBN 978-80-87343-54-8.

NEMOCNICE JIHLAVA. *Komplexní analýza efektivnosti investičního projektu PET centrum Nemocnice Jihlava*. Jihlava: Kraj Vysočina, 2015, 7 s. [cit. 2022-02-09]. Dostupné z:

http://extranet.kr-vysocina.cz/samosprava/soubory/rada/materialy/2015/05/RK-05-2015-28pr01.pdf

PÁNKOVÁ, Olga. *Výpočetní tomografie* [online]. In: *is.muni.cz*. 2021, 12 s. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/med/jaro2021/BRPR0422p/Zobrazovaci_systemy_-_CT.pdf

PARDUBICKÁ NEMOCNICE, *Pokyny pro přípravu pacienta k vyšetření PET/CT.* Pardubice: Pardubická Nemocnice, 2021 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: https://pardubice.nempk.cz/uploads/facilitywing/426/doc/informace-pro-pacienty-petct-nov-1.doc

Přispěvatelé Wikipedie, Kardiologie [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 2. 08. 2021, [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kardiologie&oldid=20262858

Přispěvatelé Wikipedie, Neurologie [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2022, Datum poslední revize 26. 03. 2022, [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Neurologie&oldid=21078488

Přispěvatelé Wikipedie, Onkologie [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 17. 08. 2021, [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Onkologie&oldid=20394655

Přispěvatelé Wikipedie, Patologie [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 6. 03. 2021, [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Patologie&oldid=19579086

Přispěvatelé Wikipedie, Pneumologie [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2017, Datum poslední revize 23. 10. 2017, [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pneumologie&oldid=15486949

Přispěvatelé Wikipedie, Urologie [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 3. 08. 2021, [cit. 2022-04-10]. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Urologie&oldid=20276318

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Radiační ochrana v nukleární medicíně – systém kontrol detekční a zobrazovací techniky*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2019, 71 s. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Doporuceni_NM/pracovni_verze_pristrojova_technika.pdf

SÚKUPOVÁ, Lucie. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech – to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2018, 280 s. ISBN 978-80-271-0709-4.

TICHÝ, Lubomír. *Vyšetřovací metoda – PET/CT*. Medicína pro praxi. Solen, 2009, 6(1), 46–49. Dostupné také z: https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf

TOWNSEND, David. Dual-Modality Imaging: Combining Anatomy and Function. In: *jnm.snmjournals.org*. Society of Nuclear Medicine, 2008, 49(6), 938–955. ISSN 0161-5505. DOI: https://doi.org/10.2967/jnumed.108.051276

ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. [cit. 2022-03-26]. Dostupné také z: https://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm

VOTRUBOVÁ, Jana, et al. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, 2009, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.

10 PŘÍLOHY

Příloha A – *Ukázka hlavního vlákna Informačního systému* 60

Příloha B – *Ukázka hypertextového odkazu z hlavního vlákna Informačního systému* 61

Příloha C – *Otázky k průzkumu* 62

Príloha A – *Ukázka hlavního vlákna Informačního systému*

Radiofarmaka

Radiofarmakum je radioaktivní chemická sloučenina farmaka, která je označena vhodným radionuklidem (podrobnější výklad naleznete např. na webu dr. Ullmanna). V případě PET vyšetření je právě radiofarmakum zdrojem ionizujícího záření. To je detekováno při vlastním vyšetření a je také zdrojem malého ozáření Vašeho těla a případně osob ve Vašem okolí. Zejména těhotné ženy a děti jsou na takové ozáření citlivější, a proto je žádoucí vyšetření omezit kontakt s nimi na nejnižší možnou míru, resp. mu zcela zabránit.

Záření nutné k PET diagnostice vychází z radiofarmaka ve Vašem těle a proto je Vaše tělo po určitou dobu radioaktivní. To je rozdíl oproti rentgenovému, resp. CT vyšetření, při kterém ionizující rentgenové záření vzniká v rentgence, Vaším tělem jen prochází a zčásti se v něm absorbuje. Přitom však nedochází k vytváření žádné radioaktivity a po vyšetření vaše tělo není radioaktivní.

^{18}F-fluorodeoxyglukóza: Neboli zkráceně FDG je nejčastěji používaná látka. Je to radioaktivním fluorem značená glukóza (cukr), která je přednostně vychytávána v nádorových buňkách, které pro svůj metabolismus potřebují více glukózy než ostatní zdravé buňky.

Další používaná radiofarmaka naleznete zde.

Každé radiofarmakum má vlastní poločas rozpadu (za 1 poločas přeměny se rozpadne polovina jader) a různou aktivitu (více o aktivitě), proto je nutné po určitou dobu po vyšetření omezit kontakt s rizikovými skupinami, které by mohlo záření z Vás ohrozit a těmi skupinami jsou děti a těhotné ženy (plod). Využívá se pravidla 10 poločasů, kdy po 10 poločasech přeměny je bezpečné být s těmito skupinami v kontaktu. Část radioaktivity se v některých případech vyloučí močí, proto je dobré hodně pít.

Více o rozpadu se dozvíte zde.

U nás je zajímavý postup aplikace radiofarmaka injektorem MEDRAD® Intego PET Infusion System firmy Bayer.

Odkaz na video ukázku postupu aplikace zde.

PET/CT vyšetření

Vlastní PET/CT vyšetření má dvě fáze. První je metabolická, která trvá zhruba hodinu. V této fázi se radiofarmakum zapojí do metabolismu glukózy v orgánech a tkáních. Následuje druhá fáze, při které je pořízen vlastní sken (snímek) těla a která trvá přibližně půl hodiny.

Příloha B – *Ukázka hypertextového odkazu z hlavního vlákna Informačního systému*

Aktivita radionuklidu

Aktivita radionuklidu vyjadřuje počet přeměn za určitý časový interval. Její jednotka je 1 Becquerel [Bq], který představuje aktivitu rovnou jedné přeměně za sekundu. V praxi se ale s tak nízkými jednotkami nepracuje. Aktivita medicínsky používaných radionuklidů se pohybuje v řádech kilo [kBq] až megaBecquerelů [MBq]. Dříve používanou jednotkou aktivity byl 1 Curie [Ci], rovný aktivitě jednoho gramu 228radia - přibližně se tedy rovnala 37 GBq.

Hodnota aktivity závisí na velikosti vzorku (počtu jader radionuklidu) a čase uplynulém od vzniku radionuklidu. Čím více jader radionuklidu vzorek obsahuje, tím více se jich za sekundu rozpadne (vyšší aktivita). Naopak s časem se snižuje celkový počet jader schopných přeměny (nižší aktivita).

Aktivita je důležitá veličina v nukleární medicíně. Je proto nezbytné znát její hodnotu u podávaných radiofarmak. Jednak z toho důvodu, aby nedocházelo ke zbytečnému zatěžování organismu, jednak abychom věděli, jak velkou aktivitu bude mít radiofarmakum v okamžiku měření.

Příloha C – *Otázky k průzkumu*

Otázky k průzkumu

Informační systém pro pacienty indikované k PET/CT vyšetření

1. **Pohlaví:**

   a) Muž
   b) Žena

2. **Věk:**

   a) Do 18 let
   b) 19-30 let
   c) 31-45 let
   d) 46-60 let
   e) Nad 60 let

3. **Nejvyšší dosažené vzdělání:**

   a) Základní
   b) Střední s maturitou
   c) Střední bez maturity
   d) Vysokoškolské technické
   e) Vysokoškolské přírodovědné
   f) Vysokoškolské jiné

4. **Jste na PET/CT vyšetření poprvé?**

   a) Ano, jsem.
   b) Ne, už jsem byl/a dříve.

5. **Obdrželi jste při nástupu Informace pro pacienty? (Jedná se o dokument, ve kterém se dočtete, co to vlastně PET/CT je a co od něj můžete čekat.)**

   a) Ano
   b) Ne

6. **Pokud jste odpověděli ne, tak pokračujte k otázce číslo 8, pokud ano, odpovězte na tuto otázku: Přišel vám dokument srozumitelný a lehce pochopitelný?**

   a) Ano, pochopil/a jsem všechno.
   b) Zhruba jsem pochopil/a.
   c) Ne, nic jsem z něho nepochopil/a.

7. **Přidali byste do Informací pro pacienty nějakou informaci, která Vám osobně chyběla? (Pokud ano, tak dopište.)**

   a) Ano, chybělo mi:
   _____
   _____
   _____

   b) Ne

8. **Byli jste před aplikací radiofarmaka seznámeni s možnými komplikacemi?**

   a) Ano
   b) Ne

9. **Setkali jste se před vyšetřením někdy s informacemi o radiofarmakách? (internet, televize, různé články, z doslechu, atd.) Popřípadě kde?**

   a) Ano:
   _____
   _____

   b) Ne

10. Vyhledávali jste si další informace o vašem vyšetření? (v odborné literatuře, na webu nemocnice, na webu Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, dotazy u odborníků, nebo jinde?)

a) Ano:
_____
_____

b) Ne

11. Bylo Vám před vyšetřením zopakováno, jaký bude jeho průběh?

a) Ano
b) Ne

12. Komunikovali s Vámi zdravotníci během vyšetření?

a) Ano
b) Ne

13. Vyskytly se během vyšetření někdy nějaké komplikace? Pokud ano, tak jaké?

a) Ano:
_____
_____

b) Ne, vše proběhlo v pořádku.

14. S kým byste po aplikaci radiofarmaka neměli být v těsném kontaktu? (Zvolte libovolný počet odpovědí.)

a) Děti
b) Dospělí
c) Těhotné ženy
d) Můžu být v kontaktu s kým chci.

15. Jak dlouho byste po aplikaci radiofarmaka neměli být s osobu uvedenou v předchozí otázce v těsném kontaktu?

a) Hodinu
b) Do večera
c) Den
d) Záleží na druhu radiofarmaka
e) Mohu být hned v těsném kontaktu

16. Myslíte si, že je Vaše tělo po aplikaci radiofarmaka radioaktivní?

a) Ano
b) Ne

17. Myslíte si, že je Vaše tělo po vyšetření na rentgenovém přístroji radioaktivní?

a) Ano
b) Ne

18. Vyšetření je časové náročné. Co při čekáni děláte? (Zvolte libovolný počet odpovědí.)

a) Čtu si tisk / knihy / elektronické zprávy
b) Komunikuji v sociální síti
c) Poslouchám hudbu
d) Sleduji TV/Video
e) Jiné

19. Nosíte si na oddělení svačinu?

a) Ano
b) Ne

Děkuji, že jste si našli chvíli na vyplnění mého dotazníku a tímto bych Vám chtěl popřát pevné zdraví a hlavně úspěšnou léčbu.

Pavel Václavík, 3.RA **Univerzita Pardubice**