



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Hybridní diagnostické zobrazovací metody

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: **SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ**

Autor: Petr Kladenský

Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Freitinger Skalická, Ph. D.

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou/diplomovou práci s názvem „*Hybridní diagnostické zobrazovací metody*“ jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 2. května 2018

.....

Petr Kladenský

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval mé vedoucí práce Mgr. Zuzaně Freitinger Skalické, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při zpracování mé bakalářské práce.

Hybridní diagnostické zobrazovací metody

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je analyzovat možnosti využití hybridních zobrazovacích metod v radiologii, radioterapii a nukleární medicíně. Analyzovat počet vyšetření hybridními přístroji.

Data potřebná k vypracování praktické části bakalářské práce jsem čerpal z Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR z let 2007 – 2015.

V teoretické části bakalářské práce jsou popisovány jednotlivé hybridní zobrazovací metody. Ve stručnosti je zde vysvětlen jejich princip, využití v medicíně, indikace a kontraindikace.

V praktické části jsou analyzovány dostupné hybridní přístroje využívané v České republice z let 2007 – 2015. Graficky jsou zde zpracovány počty vyšetření na jednotlivých hybridních přístrojích a také jejich celkový počet v ČR ve vybraném období. Klasifikace a zhodnocení silných a slabých stránek hybridních zobrazovacích metod pomocí SWOT analýzy.

Odpověď na výzkumnou otázku „Stoupá počet hybridních přístrojů?“, zní: „Ano, stoupá.“ V dnešní době jsou hybridní zobrazovací metody nedílnou součástí moderní medicíny, a proto roste jejich počet ve zdravotnických zařízeních.

Bakalářskou práci lze využít jako studijní materiál pro obor Radiologický asistent. Součástí výsledků je zpracování přehledného výukového materiálu ve formě prezentace.

Klíčová slova

pozitronová emisní tomografie; hybridní zobrazovací metody; výpočetní tomografie; magnetická rezonance; jednofotonová emisní tomografie

Hybrid medical imaging techniques

Abstract

The aim of my bachelor thesis is to analyse possibilities of using hybrid imaging methods in radiology, radiotherapy and nuclear medicine. Analyse the number of tests by hybrid devices.

The data needed to elaborate the practical part of the bachelor thesis was drawn from the Institute of Health Information and Statistics of the Czech Republic from 2007 - 2015.

The theoretical part of the bachelor thesis describes individual hybrid imaging methods. In brief, their principles, their use in medicine, indications, and contraindications are explained here.

The practical part analyses the available hybrid devices used in the Czech Republic from the years 2007 - 2015. Graphically there are processed the number of examinations on individual hybrid devices and their total number in the CR in the selected period. Classification and evaluation of strengths and weaknesses of hybrid imaging methods using SWOT analysis.

The answer to the research question "Does the number of hybrid devices increase?" Says: "Yes, it rises." Nowadays, hybrid imaging methods are an integral part of modern medicine, and therefore their number increases in healthcare facilities.

The bachelor thesis can be used as a study material for the field of Radiology Assistant. A part of the results is processing of an educating material in the form of a presentation.

Key words

positron emission tomography; hybrid medical imaging techniques; computed tomography; magnetic resonance imaging; single-photon emission tomography

Obsah

ÚVOD.....	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 Hybridní diagnostické zobrazovací metody	9
1.2 PET/CT	11
1.2.1 Princip PET/CT	14
1.2.2 Indikace	16
1.2.3 Kontraindikace	18
1.2.4 Radiofarmaka pro PET	18
1.2.5 Příprava k vyšetření PET	20
1.2.6 Postup vyšetření PET	20
1.2.7 PET scanner	22
1.3 SPECT/CT	24
1.3.1 Princip SPECT/CT	27
1.3.2 Využití SPECT/CT	28
1.4 PET/MR.....	29
1.4.1 Indikace	32
1.4.2 Kontraindikace	33
2 CÍLE PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA	34
2.1 Cíle práce.....	34
2.2 Výzkumná otázka	34
3 METODIKA.....	35
4 VÝSLEDKY	36
4.1 CT.....	36
4.2 PET.....	37
4.3 PET/CT	38
4.4 SPECT.....	39
4.5 SPECT/CT	40
4.6 MR	41
4.7 PET/MR.....	42
5 DISKUSE.....	48
5.1 SWOT analýza.....	50
6 ZÁVĚR	52
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	53

8	SEZNAM ZKRATEK	56
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
10	PŘÍLOHY.....	59

ÚVOD

K diagnóze nemocí se používají konvenční zobrazovací metody, které jsou v současnosti doplněny hybridními zobrazovacími metodami. Jejich výhodou je kombinace dvou modalit v rámci jedné a vytvářejí tak úplně novou výkonnější zobrazovací techniku, která umožňuje získat více informací o struktuře i funkci orgánů a tkání v lidském organismu.

Hybridní přístroje slouží především k přesnější diagnostice a následně také k cílené léčbě a jsou nedílnou součástí moderní medicíny. Některé zobrazovací metody se využívají zejména k posouzení anatomických struktur orgánů a tkání, zatímco ostatní sledují funkční procesy v lidském těle, např. intenzitu perfuze, metabolismu a jiných funkcí.

V posledních letech tyto lékařské metody využívané k zobrazování anatomických struktur nebo funkčních procesů zaznamenaly velký progres. Snímky, které jsou získány pomocí hybridních zobrazovacích metod, poskytují významné diagnostické výhody. Dochází tak k vývoji dalších hybridních přístrojů a zároveň roste také jejich počet ve zdravotnických zařízeních.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Hybridní diagnostické zobrazovací metody

Diagnostické zobrazovací metody používané v medicíně se dají rozdělit na anatomicko-morfologické a funkčně-metabolické. Anatomické diagnostické metody zobrazují zejména velikost a strukturu orgánů a tkání v lidském těle, neumožňují však rozpoznat biologickou povahu zobrazené patologické struktury. Naopak metody funkční jsou využívány v oblasti nukleární medicíny, kde sledují intenzitu perfuze, metabolismus a další funkce orgánů, nedokážou rozpoznat přesnou lokalizaci patologického děje či ložiska v organismu. Další nevýhodou je fakt, že funkční zobrazení má nižší rozlišovací schopnost než zobrazení anatomické. Pro přesné určení diagnózy je ale třeba posoudit morfologické i funkční příznaky onemocnění. Právě proto došlo k vývoji hybridních systémů, které v sobě spojují výhody různých modalit založených na odlišných principech. Díky tomuto spojení lze rozpoznat jak biologický charakter patologického ložiska, tak i jeho přesnou lokalizaci.

Zobrazovací metody se v medicíně využívají už od konce 19. století, kdy byl zhotoven první rentgenový snímek. Postupným vývojem však doznaly řady změn jako např. digitálního zobrazení, dynamických a funkčních vyšetření výpočetní tomografie, magnetické rezonance, angiografie, ultrasonografie a také zdokonalení scintigrafických vyšetření. Poznatek, že kombinování a porovnávání snímků z různých modalit může nabídnout významné diagnostické výhody, dal impuls ke vzniku dalších hybridních zobrazovacích metod zobrazujících současně strukturu i funkci orgánů a tkání. V dnešní době už je k dispozici řada hybridních přístrojů umožňující softwarově upravovat snímky, které vznikají kombinací dvou modalit v rámci jednoho přístroje, tyto překrývající se snímky označujeme jako fúze. Zavedením těchto přístrojů do klinické praxe a jejich úspěchy v diagnostice zhoubných nádorů dnes stojí za tím, že hybridní diagnostické zobrazovací metody jako je PET/CT a SPECT/CT hrají významnou roli v onkologii, kardiologii a stagingu těchto onemocnění.

Hybridní diagnostické zobrazovací metody zaznamenaly jakýsi průlom v oblasti medicíny, protože dokážou současně zobrazit strukturu i funkci daného orgánu nebo tkáně. Právě proto je tento pojem v dnešní době nejčastěji užíván v souvislosti s přístroji PET/CT a SPECT/CT. Novější modalitou je pak hybridní přístroj PET/MR kombinující

výhody magnetické rezonance, která je jedna z nejdokonalejších metod pro zobrazení měkkých tkání a pozitronové emisní tomografie. Hybridní diagnostické zobrazovací metody poskytují komplementární obrazovou informaci získanou ze dvou nebo více zobrazovacích metod. Fúze těchto modalit vytváří úplně novou zobrazovací techniku, která je schopna rozpoznat přesnou lokalizaci i charakter ložiska.

Snímky pořízené hybridními zobrazovacími metodami se spolu porovnávají. Běžně se porovnávání provádí vizuálně prohlížením snímků vedle sebe. Díky rozvoji výpočetní techniky a dalších digitálních zobrazovacích metod je však pomocí speciálního softwaru možné provést fúzi snímků, jež se vzájemně překrývají v různých barevných kombinacích. Při zobrazení lze dynamicky měnit poměr zastoupení modalit v obraze, tzn. od zobrazení např. jen PET s postupným přidáváním složky CT zobrazení až po úplné potlačení PET a zobrazení jen CT. (Šámal, 2016)

Stávající hybridní diagnostické zobrazovací metody jsou:

- PET/CT (Positron-emission tomography/Computed tomography)
- SPECT/CT (Single-photon emission computed tomography/Computed tomography)
- PET/MR (Positron-emission tomography/Magnetic resonance imaging)
- EUS (Endoscopic ultrasonography)
- UZ/MR (Ultrasound/Magnetic resonance imaging)
- SPECT/MR (Single-photon emission computed tomography/Magnetic resonance imaging)
- UZ/CT (Ultrasound/Computed tomography)
- MR/CT (Magnetic resonance imaging/Computed tomography)

Mezi nejrozšířenější hybridní zobrazovací metody se v současné době řadí ty, které kombinují emisní tomografii s výpočetní tomografií. Zcela běžné už jsou dnes systémy PET/CT a SPECT/CT. Vznikají ale i hybridy v kombinaci s magnetickou rezonancí jako např. PET/MR, UZ/MR, SPECT/MR a další. Největší výhodou těchto metod je zvýšení přesnosti diagnostiky, informace o lokalizaci i charakteru léze, zrychlení diagnostického procesu, větší komfort pro pacienta a snížení radiační zátěže. (Weerakkody, et al., 2016)

1.2 PET/CT

PET má výjimečné uplatnění v onkologické diagnostice a je považován za nejdůležitější přístroj v této oblasti, v současné době je v diagnostice nádorových onemocnění metodou volby. Výhodou této modalit je možnost provedení celotělového vyšetření, které může odhalit patologická ložiska i v předem neznámé lokalizaci. Nevýhodou je ovšem nepřesnost v posouzení lokalizace detekovaného ložiska a neschopnost zobrazit strukturální podklad léze. Právě proto se v dnešní době využívá hybridní přístroj PET/CT, který umožňuje provést obě vyšetření v návaznosti.

PET/CT je moderní hybridní diagnostická zobrazovací metoda využívající dvou modalit v rámci jednoho přístroje, a to pozitronovou emisní tomografii v kombinaci s výpočetní tomografií. PET poskytuje funkční zobrazení, např. intenzivní glukózový metabolismus patologického ložiska, tzn. jak je nádor v těle aktivní. Zánětlivá a nádorová ložiska totiž ve zvýšené míře vychytávají glukózu. Výpočetní tomografie naopak umožňuje strukturální zobrazení, sděluje jak je patologické ložisko velké, jaký má tvar a kde se nachází. Kombinací těchto dvou modalit se získají lepší souhrnné informace o stavu pacienta především v onkologické diagnostice. Nezbytnou součástí k provedení vyšetření na tomto přístroji je podání radiofarmaka pro vyšetření PET. V současné době patří mezi nejčastěji využívaná radiofarmaka ^{18}F , dále ^{68}Ga , ale také ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , které mají krátký poločas rozpadu a jsou vyráběny v cyklotronu většinou mimo klinická pracoviště. Ke kvalitnímu vyšetření a lepšímu odlišení orgánů a cév při vyšetření CT je mnohdy zapotřebí podání většího množství kontrastní látky. Tento výkon umožňuje současně zobrazit funkci a strukturu orgánů v lidském těle.

Hybridní PET/CT skener je přínosný diagnostický nástroj, který má všechny výhody PET i CT a současně eliminuje nevýhody obou těchto modalit. Pacient vyšetřený pomocí tohoto přístroje absolvuje dvě vyšetření naráz při nižší radiační zátěži. Bez ohledu na velké množství dat, které je mnohdy časově náročné vyhodnocovat, nabízí tato modalita lepší a komplexnější diagnostické informace. Lékař tedy dostává k dispozici výsledek, který zásadně mění pohled na rozsah celkového onemocnění a usnadňuje mu práci při rozhodování o adekvátní terapii. (Bělohlávek, et al., 2004)

Tato možnost odhalit molekulární procesy in vivo a současně zachytit jejich anatomickou polohu lze právě pomocí hybridního přístroje PET/CT, který se stal jakýmsi průlomem v oblasti hybridních zobrazovacích metod a v roce 2000 byl dokonce v prestižním americkém magazínu Time vyhlášen lékařským vynálezem roku. PET/CT dosahuje kvalitnějších a přesnějších výsledků díky vysokému rozlišení a detailním anatomickým zázorněním CT s vysoce senzitivními informacemi metabolismu s PET. (Weerakkody, et al., 2016)

Česká republika v současné době disponuje patnácti hybridními přístroji PET/CT, které se nachází téměř v každém kraji po celém území ČR, chybí pouze v Karlovarském, Libereckém a Pardubickém kraji. Zde je seznam všech pracovišť vybavených touto hybridní zobrazovací modalitou (Obrázek 1).

Město	Zdravotnické zařízení
Praha	Všeobecná fakultní nemocnice v Praze
	Nemocnice Na Homolce (2x)
	Proton Therapy Center Czech s.r.o.
České Budějovice	Nemocnice České Budějovice, a. s.
Brno	Fakultní nemocnice Brno
	Masarykův onkologický ústav
Hradec Králové	Fakultní nemocnice Hradec Králové
Nový Jičín	Nemocnice Nový Jičín, a. s.
Ostrava	Fakultní nemocnice Ostrava
Olomouc	Fakultní nemocnice Olomouc
Plzeň	Fakultní nemocnice Plzeň - Lochotín
Ústí nad Labem	Krajská zdravotní, a.s. - Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, o.z.
Jihlava	Nemocnice Jihlava, p.o.
Zlín	Krajská nemocnice T. Bati, a. s.

Obrázek 1: Seznam pracovišť, kde se v České republice nachází PET/CT

Zdroj: ČSNM, 2017

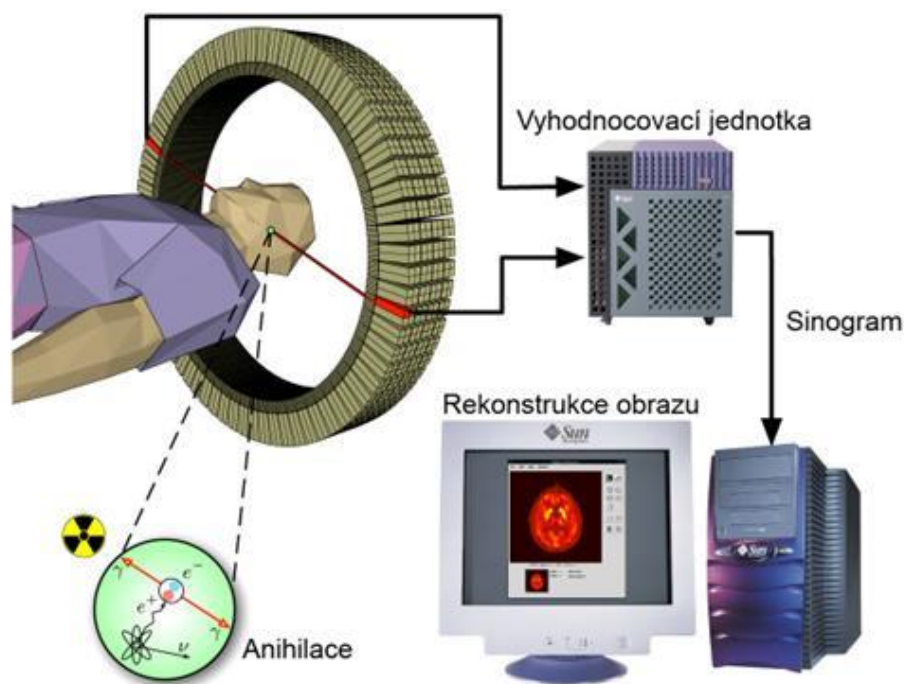


Obrázek 2: Současné rozmístění skenerů po území ČR. Všechny 15 PET/CT skenerů je vyznačeno tmavě červeně

Zdroj: ČSNM, 2017

1.2.1 Princip PET/CT

Pozitronová emisní tomografie je založena na indikátorovém neboli stopovacím (z angl. „tracer“) principu. Pacientovi se intravenózně aplikuje radiofarmakum, které se skládá ze dvou komponent. Signální komponenty, kterou je radioizotop a nosné komponenty, která má specifické farmakokinetické vlastnosti a určuje tak, do kterých tkání se tato označená látka dostane. Záření emitované v důsledku radioaktivních přeměn rozpadajícího se prvku je detekováno speciální kamerou a poté jsou rekonstruovány řezy vypovídající o rozložení aktivity v těle. Ložiska se zvýšenou akumulací radiofarmaka jsou barevně odlišitelná od normální tkáně. (Bělohávek, et al., 2004)



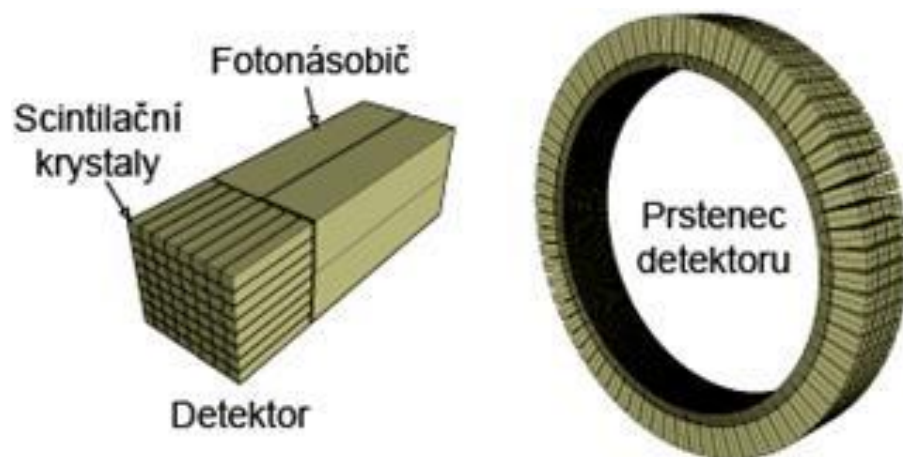
Obrázek 3: Schéma PET

Zdroj: Encyklopedie fyziky, 2017

PET využívá pozitronové zářiče, tj. radionuklidy emitující kladně nabitě částice pozitrony. V nestabilním jádře pozitronového zářiče dochází k přeměně protonu na neutron (β^+ rozpad), v důsledku toho vzniká pozitron (e^+), který je jakousi formou antihmoty. Pozitron se na konci své dráhy setká se svou antičásticí (e^-), čímž dochází k anihilaci provázené vznikem dvou fotonů γ o energii 511 keV. Tento moment se nazývá anihilační jev a je podstatou pozitronové emisní tomografie. Vzniklé fotony pak z místa anihilace odlétají opačným směrem (180°) po přímce, čehož se využívá při detekci. Detekuje se foton, ke kterému byl na detekčním prstenci zachycen i jeho

protějšek. Jedná se o koincidenční zapojení, kdy jsou dva protilehlé detektory zapojeny v koincidenčním obvodu. Výsledný tomografický obraz se poté rekonstruuje z několika takto zachycených párů. (Seidl, 2012)

K detekci vyšších energií anihilačního záření γ jsou zapotřebí scintilátory s vyšší hustotou. Dnes jsou standardem systémy s kruhově uspořádanými BGO a LSO detektory s vysokým počtem krystalů. Využívají se zejména díky vysoké detekční účinnosti a nepřiliš velké tloušťce krystalu (v prstencovém detektoru lze dosáhnout vysokého prostorového rozlišení lokalizace scintilací soustavou fotonásobičů). Vysoká absorpční schopnost BGO (bizmut-germanium-oxid) a množství krystalů tak systém činí vysoce citlivým s dobrým prostorovým rozlišením. Systém LSO (lutecium-orthosilikát aktivovaný cerem) má podobnou absorpční schopnost jako BGO, ale délka scintilace je podstatně kratší a umožňuje tak zpracovávat vyšší fotonové toky. (Bělohávek, et al., 2003)



Obrázek 4: Detektorový systém PET

Zdroj: Encyklopedie fyziky, 2017

1.2.2 Indikace

PET/CT se nejčastěji využívá v onkologii (ve více než 90 % indikací) k diagnostice nádorových onemocnění. V menší míře se pak využívá v kardiologii a neurologii. Indikací k vyšetření jsou i zánětlivé procesy nejasného původu. Ty také vykazují zvýšenou akumulaci ^{18}F FDG, což v některých případech může snižovat specificitu detekce nádorů. PET je vhodnou metodou u již diagnostikovaného nádorového onemocnění, ať už ke stagingu či restagingu onemocnění, posouzení efektu terapie nebo při podezření na možnou recidivu nádoru. Čím větší je odstup PET/CT vyšetření od chemoterapie, tím vyšší je citlivost metody (doporučuje se alespoň dvoutýdenní odstup). Hodnocení v ozářené oblasti může být zhoršeno několik měsíců (vhodný je odstup PET/CT vyšetření od radioterapie 3 měsíce). (Bernátek, 2012)

Obecné klinické indikace v onkologii:

- Diagnostika maligních lézí (velikosti nad 5 mm),
- Hodnocení rozsahu onemocnění (staging/restaging),
- Grading (stanovení stupně) malignity,
- Vyšetření nemocných s metastázemi při neznámém primárním ložisku,
- Lokalizace nejagresivnější části nádoru před biopsií,
- Plánování radioterapie (kurativní, paliativní),
- Hodnocení reakce nádoru na léčbu (chemoterapii, radioterapii) – účinná chemoterapie snižuje akumulaci ^{18}F FDG v nádorových buňkách. (Míková, 2008)

Nejčastější indikace při podezření na typy nádorů, které jsou vhodné k zobrazení na PET/CT:

- Bronchogenní karcinom,
- Kolorektální karcinom,
- Lymfom,
- Maligní melanom,
- Karcinom ovaria,
- Karcinom prsu,
- Karcinom oblasti hlavy a krku,
- Další nádory, zvláště s rychlým růstem. (Bernátek, 2012)

Neonkologické indikace:

- Zánětlivá onemocnění
 - FDG se akumuluje v infekčních i neinfekčních zánětlivých procesech,
 - PET/CT vyšetření je indikováno až po vyčerpání „konvenčních“ vyšetřovacích metod (laboratorních a zobrazovacích),
 - protrahované septické stavy s podezřením na infekci kloubní nebo cévní náhrady,
 - horečka neznámého původu,
 - nutnost lokalizace abscesu,
 - podezření na osteomyelitis centrálního skeletu (páteře) při sporném nálezu na magnetické rezonanci nebo při kontraindikaci magnetické rezonance,
 - vaskulitidy u systémových onemocnění (dg. a hodnocení odpovědi na terapii).
- Kardiologie
 - průkaz viability myokardu (FDG-PET vyšetření je považováno za zlatý standard).
- Neurologie
 - diferenciacie postoperační nebo postradiační jizvy od rezidua/rekurence nádoru,
 - detekce ložiska při fokální parciální epilepsii,
 - časná detekce Alzheimerovy choroby. (Míková, 2008)

Mezi nejčastější vyšetření na hybridním PET/CT se řadí:

- PET/CT trupu s FDG (fluorodeoxyglukóza) a i.v. nebo p.o. kontrastní látkou,
- PET/CT cílené vyšetření s FDG (se zaměřením na plíce a ORL oblast),
- PET/CT trupu s FCh (fluorocholin),
- PET/CT skeletu s NaF (natrium fluorid),
- PET/CT mozku s FDG,
- PET/CT mozku s FLT (fluorothymidin),
- PET/CT pro plánování radioterapie. (Proton Therapy Center, 2017)

1.2.3 Kontraindikace

Relativní kontraindikací k vyšetření je gravidita kvůli radiační zátěži. Dále dekompenzovaný diabetes mellitus nebo jeho čerstvý záchyt (proto je nutné před každým vyšetřením stanovit hodnotu glykémie), hyperglykémie nad 8,3 mmol/l zhoršuje schopnost metody zobrazit ložisko s utilizací glukózy pomocí ^{18}F FDG. Další kontraindikací mohou být pacienti, kteří trpí klaustrofobií a nedokáží tak po dobu vyšetření ležet v klidu. Pacienti s hmotností nad 200 kg, deformita hrudníku bránící v prostupu přes otvor gantry o průměru 80 cm. Dále to může být krátký odstup od onkologické terapie. U chemoterapie se uvádí odstup alespoň dvou týdnů a u radioterapie odstup třech měsíců. Časová limitace u radioterapie platí pro ozářenou oblast (hodnocení v ozářené oblasti může být zhoršeno), vzdálená místa mohou být zobrazena kdykoliv. (Bernátek, 2012)

1.2.4 Radiofarmaka pro PET

Množství aktivity radiofarmaka, které je zapotřebí aplikovat do organismu k diagnostickým účelům se řídí podle hmotnosti pacienta, výsledné koncentrace ve tkáni jsou ve stopovém množství. Tím se minimalizuje pravděpodobnost vzniku škodlivých účinků ionizujícího záření a také to, aby vyšetření nijak neovlivnilo vyšetřovanou funkci. Radiofarmaka používaná ve scintigrafii se značně liší od kontrastních látek používaných v radiodiagnostice, které svým objemem, koncentrací a chemickým složením mohou ovlivnit funkci vyšetřovaných orgánů v průběhu vyšetření. (Kupka, 2016)

Radiofarmaka určená pro PET se vyrábějí ve velkých produkčních cyklotronech, které jsou obvykle v dosažitelné vzdálenosti nebo jsou přímo součástí PET centra. Nejčastěji používaný pozitronový radionuklid je ^{18}F – Fluor, který má krátký poločas rozpadu ($T_{1/2}$ 110 min.). Ostatní pozitronové radionuklidy mají většinou velmi krátké poločasy rozpadu, takže je jejich využití limitováno vzdáleností. Jedná se o ^{11}C ($T_{1/2}$ 20 min.), ^{13}N ($T_{1/2}$ 10 min.), ^{15}O ($T_{1/2}$ 2,1 min.). Pomocí radionuklidového generátoru lze uměle vytvořit také radionuklid ^{68}Ga – Galium, který je se svým krátkým poločasem rozpadu ($T_{1/2}$ 68 min.) také velmi používaný. Veškerá individuální příprava radiofarmak podléhá přísným předpisům, tj. nutností přípravy ve sterilních podmínkách v laminárním boxu z důvodu radiační ochrany. Tu zajišťují silné vrstvy olova (25-50 mm) nebo wolframu. Před vydáním přípravku dochází ke kontrole kvality.

^{18}F -FDG – fluorodeoxyglukóza – nejčastěji se využívá v onkologické diagnostice, je vhodná zejména pro diagnostiku těchto nádorů: maligních lymfomů, plicních karcinomů, maligního melanomu, karcinomů zažívacího traktu, karcinomu prsu, karcinomů vaječníků, nádorů varlat, nádorů hlavy a krku, obecně u rychle rostoucích nádorů (např. sarkomů). Kromě onkologických indikací je ^{18}F -FDG využívána k odhalování zánětlivých ložisek (např. vaskulitid, abscesů, osteomyelitidy apod.), pro posuzování viability myokardu, ke sledování metabolismu glukózy v mozku, lokalizování epileptického ložiska apod. (Fakultní nemocnice Hradec Králové, 2012)

^{18}F -NaF – fluorid sodný – využívá se k zobrazování kostí, je vhodný pro scintigrafii kostních metastáz. Je citlivější než klasická scintigrafie skeletu. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a také vysoká radiační zátěž. ^{18}F -FLT – fluorthymidin – funguje jako ukazatel syntézy DNA a tedy i rychlosti buněčného dělení. Zobrazuje růstovou aktivitu tkáně (proliferaci buněk), tudíž je vhodný pro mozkové tumory. ^{18}F -DOPA – využívá se pro neuroendokrinní tumory, mozek a při suspekci na kongenitální hyperinzulinismus. ^{18}F -FCh – fluorocholin – k zobrazení karcinomu prostaty a jeho metastáz. (Lopci, et al., 2010)

^{68}Ga – značené peptidy jsou skupinou radiofarmak, které se vyznačují vysokou afinitou k cílové buněčné struktuře, rychlou vazbou a vhodnou clearencí. Mezi nejčastější patří: ^{68}Ga DOTATOC, ^{68}Ga DOTATE, ^{68}Ga DOTANOC. To jsou látky, které je možné použít k zobrazení a diferenciaci různých subtypů somatostatinových receptorů exprimovaných u mnoha neuroendokrinních tumorů. ^{68}Ga -DOTATOC – značené peptidy (derivát somatostatinu), které zobrazují neuroendokrinní tumory (karcinoid) a medulární karcinom štítné žlázy. (Adam, et al., 2014)

^{11}C -Methionin – využívá se k diagnostice mozku, stagingu a gradingu nádoru u pacientů s gliomem, při suspekci na recidivu a také k lokalizaci tumoru v příštítných tělískách. ^{11}C -Acetát – využívá se k zobrazení hepatocelulárního karcinomu. ^{11}C -Cholin – slouží k zobrazení karcinomu prostaty a hepatocelulárního karcinomu. ^{13}N -Amoniak – používá se k vyhodnocení perfuze myokardu nebo u pacientů s podezřením na ischemickou chorobu srdeční nebo onemocnění koronárních tepen. ^{15}O -Kyslík – slouží k zobrazení mozkového metabolismu a jeho spotřebě. ^{18}F -Florbetapir – využívá se u pacientů s kognitivní poruchou (např. Alzheimerovou chorobou), a k zobrazení mozku. (The Royal College of Physicians, 2013)

1.2.5 Příprava k vyšetření PET

Před provedením PET/CT vyšetření je pacient povinen dodržet následující pokyny k tomu, aby vyšetření mohlo být provedeno. Pacient přichází na lačno (minimálně 6-8 hod. lačnění). Den před vyšetřením je doporučeno jíst lehká, méně kalorická jídla (vyvarovat se sladkým a tučným pokrmům). Před vyšetřením by měl pacient vypít dostatečné množství tekutin, doporučená dávka je alespoň 1 litr tekutin v průběhu 2 hodin před vyšetřením (ideálně tekutiny bez příměsi cukru, např. voda nebo neslazený čaj). Vyvarovat se zvýšené fyzické námaze nebo intenzivnímu cvičení v posledních 24 hod., což by mohlo vést k falešně pozitivnímu vychytávání glukózy ve svalech (nahromadění tzv. „hnědého tuku“), který významně zhoršuje kvalitu obrazu. Dostatečný odstup od poslední chemoterapie, minimálně 2 týdny a odstup od radioterapie by měl být alespoň 3 měsíce (čím větší časový odstup, tím spolehlivější výsledek PET). Během akumulace radiofarmaka v organismu by měl pacient minimálně 30-60 min. před vyšetřením dodržovat tělesný a duševní klid, být v teple a minimalizovat tak možnost nachlazení.

Musí být co nejnižší hladina cukru v krvi při nízké hladině inzulínu. U diabetiků je nutná úprava hladiny glukózy v krvi, provádí se kontrola glykémie před aplikací. Diabetici mají užívat inzulín den před vyšetřením dle svého ošetřujícího lékaře, ráno v den vyšetření už by inzulín užívat neměli. Ranní dávku inzulínu spolu se snídaní si mohou vzít s sebou a po vyšetření si pak inzulín aplikují a nasnídají se. Jinak je příprava obdobná jako u pacientů bez cukrovky. (Kolektiv ONM a PET/CT KNTB, 2012)

1.2.6 Postup vyšetření PET

Nejprve je potřeba stanovit hladinu krevního cukru, která se získá odběrem kapky krve ze špičky prstu pacienta. Poté se pacientovi zavede periferní žilní katétr, kterým se intravenózně aplikuje radiofarmakum. Doba akumulace radiofarmaka je zhruba 60-90 minut, samotné vyšetření trvá přibližně 30-45 minut. (Nemocnice České Budějovice, a.s.)

V případě ^{18}F FDG-PET vyšetření se množství aktivity radiofarmaka určuje dle váhy pacienta a dle doporučení EANM v závislosti na druhu skeneru, klinických podmínkách a na době akvizice jedné „bed“ pozice. Při aplikaci radiofarmaka dětem se doporučuje stanovovat jeho podávanou aktivitu dle doporučení EANM (European Association of Nuclear Medicine). (Věstník MZ ČR, 2016)

Po i.v. aplikaci ^{18}F FDG dochází k akumulaci radiofarmaka v organismu. Mezitím je pacient odstíněn ve speciálním boxu. Během této doby je pacient v klidu a nesmí vykazovat jakoukoliv fyzickou aktivitu. Při vyšetření je pacient položen na vyšetřovací lůžko, které se s ním posouvá skrze detekční prsteneček v gantry přístroje. Během vyšetření je potřeba zůstat v klidu a nehýbat se, pacient zaujímá polohu vleže s rukama za hlavou. (Nemocnice České Budějovice, a.s.)

Snímání se provádí v odstupech 50-90 minut od podání radiofarmaka. Začíná se přehledným topogramem tzv. scout, který definuje rozsah snímání. Poté následuje celotělový scan (obvykle od baze lebky do poloviny stehů – torso) a bezprostředně poté i PET. Snímání CT trvá několik desítek sekund, PET necelou půlhodinu. Vznikají stovky řezů v obou modalitách, které se musí následně vyhodnotit. (Bělohávek, et al., 2004)

Radiační zátěž spojená s tímto vyšetřením je obdobná jako u většiny ostatních radiodiagnostických vyšetření. Příkladem může být nejčastěji prováděné vyšetření PET/CT trupu. Pro lepší zobrazení na CT mohou být použity kontrastní látky. (Nemocnice České Budějovice, a.s.)

Mezi nejčastější vyšetření na PET/CT se řadí ^{18}F -FDG PET/CT trupu

NRS ^{18}F -FDG PET/CT trupu

PET ^{18}F -FDG		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,13 močový měchýř	0,019
Děti 5 let	0,34 močový měchýř	0,056

Zdroj: Národní radiologické standardy

1.2.7 PET scanner

K registraci pozitronových radiofarmak jsou zapotřebí speciální PET kamery. Vzhledem k tomu, že krystal NaI(Tl) díky své nízké hustotě a velmi nízké citlivosti neumí detekovat vyšší fotonové toky, používají se dnes scintilační krystaly s vyšší hustotou a vyšším atomovým číslem. (Wieler, et al., 2000)



Obrázek 5: PET/CT scanner

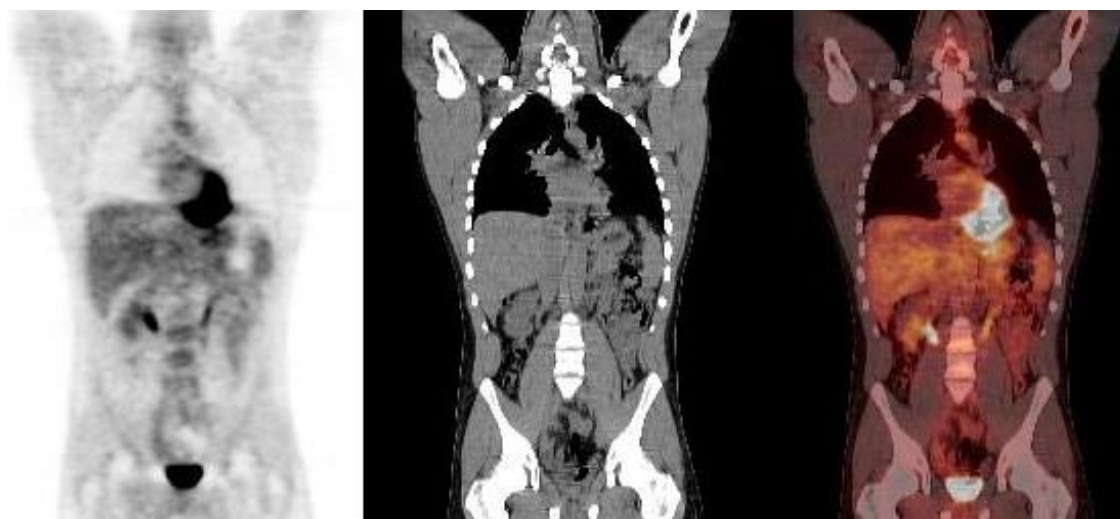
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Plzeň - Lochotín, 2017

V současné době jsou optimálním zařízením hybridní PET/CT skenery s velkým počtem kruhově uspořádaných scintilačních krystalů s dostatečnou detekční účinností pro anihilační záření γ o energii 511 keV. Jedná se např. o bismut-germanátové (BGO) krystaly nebo novější scintilační materiály, jako jsou lutetium-orthosilikátové (LSO) či gadolinium-orthosilikátové (GSO) krystaly, umožňující 3D snímání se spirálním multidetektorovým CT umožňujícím skenovat pacienta pomocí tzv. low-dose CT. Naopak nevhodné jsou skenery pracující pouze v 2D režimu, skenery s NaI(Tl) detektory a skenery bez CT zařízení. Krystaly z novějších scintilačních materiálů mají výrazně kratší dobu scintilačního záblesku (BGO 300 ns, LSO 40 ns), lze tedy detekovat vyšší četnosti impulsů. (Bělohávek, et al., 2003)

PET scanner dosahuje vysokého rozlišení cca 3-5 mm, oproti tomu SPECT 1 cm. PET je schopen diferencovat ložiska se zvýšeným metabolismem za pomoci výpočetní tomografie a poté lokalizovat jejich samotnou polohu. Následná tomografická rekonstrukce obrazu lze provádět dvěma různými způsoby. (Fakultní nemocnice Hradec Králové, 2012)

Rekonstrukce obrazu je složitý proces, který je založen na matematickém algoritmu vytváření příčných řezů z projekcí. K dispozici jsou dvě hlavní metody k vytváření příčných řezů. Rekonstrukce: filtrovaná zpětná projekce nebo iterativní rekonstrukce. Jednou z nich je filtrovaná zpětná projekce, která ovšem způsobuje hvězdicový artefakt, proto se u PET zobrazení využívá spíše metoda iterativní rekonstrukce, která je matematicky více komplexní a poskytuje lepší obraz. (Srna, 2009)

Emisní metody zobrazení nedosahují tak dobrého prostorového rozlišení, jako metody transmisní (RTG, CT). Prostorové rozlišení emisních metod bývá dostatečné, v některých případech může být provedena fúze obrazů, kdy dojde ke sloučení emisního PET obrazu s transmisním CT obrazem. Na obrázku č. 6 je emisní PET obraz, na kterém lze vidět černá místa s kumulací radiofarmaka, dále transmisní CT obraz a také fúze obou těchto obrazů. (Súkupová, 2012)



Obrázek 6: PET obraz, CT obraz a fúzovaný obraz

Zdroj: Sovereign Health Imaging

1.3 SPECT/CT

V nukleární medicíně se využívá emisní tomografie, kde emitované záření vychází z těla pacienta. RTG využívá transmisní tomografie, kde záření prochází vyšetřovanou strukturou. Emisní tomografii dělíme na:

- jednofotonovou neboli SPECT (Single-photon emission computed tomography)
- dvoufotonovou, jinak také PET (Positron-emission tomography)

Jednofotonová emisní tomografie neboli SPECT, je diagnostická zobrazovací metoda, která je schopna detekovat záření γ různých energií emitované mnoha různými izotopy, nejčastěji se využívá ^{99m}Tc . Jde o gama-zářiče emitující fotony γ , které jsou následně detekovány pomocí scintilačních kamer snímajících distribuci radiofarmaka v organismu. Radiofarmakum se akumuluje v místech zvýšeného metabolismu nebo vaskularizace. (Kupka, et al., 2007)



Obrázek 7: SPECT/CT

Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Plzeň - Lochotín, 2017

V současné době se využívají hybridní přístroje SPECT/CT, které kromě scintilační kamery disponují i výpočetní tomografií. SPECT stejně jako PET poskytuje informace o funkčním stavu orgánů a tkání v lidském těle, zatímco CT poskytuje anatomické informace o přesném uložení patologického ložiska. Po nasnímání SPECT vyšetření se vyšetřovací stůl s pacientem přesune o předem určenou vzdálenost do gantry, kde se nasnímá CT (v celém rozsahu zobrazení SPECT nebo jen v jeho části). Tím vznikne fúze dvou obrazů, které poskytují komplementární obrazovou informaci o stavu pacienta. Kromě získání anatomických informací slouží CT ke korekci zeslabení scintigrafického obrazu. Pro korekci na zeslabení stačí nízkodávkové low-dose CT, které dostačuje i pro základní anatomickou korelaci. Délka vyšetření trvá řádově desítky minut, ale jsou i taková vyšetření, která trvají podstatně kratší dobu. Po konci vyšetření vzniká velké množství projekčních dat, které se poté musí zpracovat, což lze dvěma způsoby, buď filtrovanou zpětnou projekcí, nebo iterativní rekonstrukcí. Prostorové rozlišení SPECT je přibližně 5-20 mm. (Míková, 2008)



Obrázek 8: Současné rozmístění skenerů po území ČR. Všech 25 SPECT/CT skenerů je vyznačeno černě

Zdroj: ČSNM, 2017

Město	Zdravotnické zařízení
<i>Praha</i>	<i>Všeobecná fakultní nemocnice v Praze</i>
	<i>Fakultní nemocnice v Motole</i>
	<i>Centrum nukleární medicíny s.r.o.</i>
	<i>Fakultní nemocnice Královské Vinohrady</i>
<i>České Budějovice</i>	<i>Nemocnice České Budějovice, a. s.</i>
<i>Blansko</i>	<i>Nemocnice Blansko, p.o.</i>
<i>Brno</i>	<i>Fakultní nemocnice Brno</i>
<i>Karlovy Vary</i>	<i>Karlovarská krajská nemocnice, a.s.</i>
<i>Hradec Králové</i>	<i>Fakultní nemocnice Hradec Králové</i>
<i>Liberec</i>	<i>Krajská nemocnice Liberec, a.s.</i>
<i>Opava</i>	<i>Slezská nemocnice v Opavě, p.o.</i>
<i>Ostrava</i>	<i>Fakultní nemocnice Ostrava</i>
<i>Chrudim</i>	<i>DIMED s.r.o. – pracoviště Chrudim</i>
<i>Plzeň</i>	<i>Fakultní nemocnice Plzeň - Lochotín</i>
<i>Kolín</i>	<i>Oblastní nemocnice Kolín, a. s., nemocnice Středočeského kraje</i>
<i>Mladá Boleslav</i>	<i>Oblastní nemocnice Mladá Boleslav, a.s., nemocnice Středočeského kraje</i>
<i>Příbram</i>	<i>Oblastní nemocnice Příbram, a.s.</i>
<i>Chomutov</i>	<i>Krajská zdravotní, a.s. – Nemocnice Chomutov, o.z.</i>
<i>Ústí nad Labem</i>	<i>Krajská zdravotní, a.s. - Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, o.z.</i>
<i>Havlíčkův Brod</i>	<i>Nemocnice Havlíčkův Brod, p.o.</i>
<i>Jihlava</i>	<i>Nemocnice Jihlava, p.o.</i>
<i>Nové Město na Moravě</i>	<i>Nemocnice Nové Město na Moravě, p.o.</i>
<i>Pelhřimov</i>	<i>Nemocnice Pelhřimov, p.o.</i>
<i>Uherské Hradiště</i>	<i>Uherskohradištská nemocnice, a. s.</i>
<i>Zlín</i>	<i>Krajská nemocnice T. Bati, a. s.</i>

Obrázek 9: Seznam pracovišť, kde se v České republice nachází SPECT/CT

Zdroj: ČSNM, 2017

1.3.1 Princip SPECT/CT

Pacientovi je podáno radiofarmakum, nejčastěji se jedná o ^{99m}Tc (metastabilní radionuklid) ve formě technicistanu sodného jako čistého gama-zářiče s energií fotonů 140 keV. ^{99m}Tc je dceřiný radionuklid, který vzniká přeměnou mateřského radionuklidu ^{99}Mo v tzv. molybden-techneciovém generátoru, odkud se získává vymýváním fyziologickým roztokem a dále využívá ke značení. ^{99m}Tc je se svým poločasem rozpadu ($T_{1/2}$ 6 hod.) a fyzikální charakteristikou záření optimální k detekci na scintilačních kamerách.

SPECT disponuje rotačními scintilačními kamerami, které mají jednu nebo více hlav, ty se při tomografickém vyšetření otáčejí ve zvoleném režimu kolem dlouhé osy pacienta a registrují četnost a rozložení impulsů v několika stop-pozicích. Následuje zpracování získaných dat. Nezbytnou součástí přístrojů je dnes výkonná výpočetní technika, která hraje významnou roli zejména při dodatečných úpravách a zpracování obrazů. Získaný scintigrafický obraz pak představuje rozložení impulsů registrovaných nad vyšetřovanou oblastí.

V diagnostice se využívají gama-zářiče s krátkým poločasem rozpadu (nízká radiační zátěž při zachování kvality obrazu), naopak v terapii je cílem dosáhnout co nejvyššího radiačního účinku v cílové tkáni. Radiofarmakum je buď tvořené pouze samotným radionuklidem (např. ^{99m}Tc jako pertechnetát, ^{131}I jako jodid sodný) nebo se radionuklidem označují sloučeniny, které určují farmakokinetiku radiofarmaka v organismu. Kromě chemických substancí lze radionuklidem značit i biologické látky, v praxi nejčastěji autologní krevní elementy. (Seidl, 2012)

1.3.2 Využití SPECT/CT

SPECT má široké uplatnění například v onkologii, kardiologii či neurologii. Stejně jako PET zobrazuje funkci orgánu nebo tkáně a současně dokáže zachytit ložisko se zvýšenou metabolickou aktivitou. (Navrátil, et al., 2005)

V kardiologii je nejčastějším vyšetřením perfuze myokardu a jeho metabolismu. Toto vyšetření se provádí ve dvou fázích, nejdříve zátěžové vyšetření a poté klidové. V neurologii se SPECT využívá k hodnocení prokrvení mozku. Tato metoda umožňuje včas lokalizovat postižené místo a určit tak správnou diagnózu onemocnění (např. demence, Alzheimerova choroba, Parkinsonova choroba) nebo se tato metoda uplatňuje k zjištění přesného místa před operací (epilepsie, dvojí vyšetření, před a při záchvatu). V onkologii SPECT umožňuje lokalizovat anatomickou polohu nádoru. Využívá se také k zobrazení kostí (skeletu), při lymfoscintigrafii pro vyšetření sentinelových uzlin nebo k lokalizaci zánětů.

Oproti planární scintigrafii má SPECT vyšší kontrast snímků a také možnost kvantifikace radiofarmaka ve tkáni. Samotný SPECT má nižší radiační zátěž než CT. Nevýhodou mohou být nepřesné výsledky kvantifikace vlivem atenuovaného (oslabeného) záření, které vzniká Comptonovým rozptylem nebo fotoelektrickým jevem. Radiační zátěž vyšetření závisí na podané aktivitě radiofarmaka a jeho efektivním poločasu. (Kupka, et al., 2007)

1.4 PET/MR

V lékařské diagnostice se stále více směřuje k získávání informací o biochemickém stavu tkáně až na molekulární úrovni. Moderní diagnostické zobrazovací metody jsou neinvazivní a jsou založeny na různých fyzikálně-chemických principech. Jednou z těchto metod je i zobrazování magnetickou rezonancí (magnetic resonance imaging). Princip magnetické rezonance je založen na změně chování jader atomů vodíku ^1H přítomných v molekule vody, umístěných v silném vnějším magnetickém poli.

Absorpcí radiofrekvenčního záření se jádra vodíku dostanou do excitovaného stavu. Poté se díky relaxačním procesům vrací do původního stavu a uvolňují přitom absorbovanou energii ve formě elektromagnetického záření, které je detekováno. (Kotek, et al., 2010)



Obrázek 10: PET/MR

Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Plzeň – Lochotín, 2017

Hybridní přístroj PET/MR slučuje dohromady dvě zobrazovací metody. Magnetickou rezonanci, která je jednou z nejdokonalejších metod pro zobrazení měkkých tkání a pozitronovou emisní tomografií pro zobrazení látkové přeměny. Pomocí tohoto hybridu je možné včasné odhalit neurodegenerativní změny, vyhledat ložiska vyvolávající epilepsii nebo diagnostikovat nádory mozku a jejich formy. Lze také zjistit i záněty a nádory v oblasti úst, obličeje, dutině břišní, prsu nebo pánvi, což se týká i karcinomu dělohy, konečníku, prostaty a dalších. V neposlední řadě toto vyšetření poskytuje informaci o metabolismu patologických procesů, např. prokrvení určité oblasti nebo hromadění patologických metabolitů.

Spojením obou těchto metod v rámci jedné se získá řada výhod. Jednou z nich je vysoká rozlišovací schopnost, lze detekovat i milimetrové léze, které nejsou jinými metodami detekovatelné. Největší výhodou je výrazné snížení radiační dávky oproti PET/CT, to se dá využít zejména u pacientů, kteří jsou během onkologické léčby opakovaně vystaveni radiační zátěži. Když se tato metoda správně indikuje, vede rychle k diagnóze a zahájení cílené terapie. U některých pacientů se tím redukuje počet vyšetření, které by museli za normálních okolností podstoupit. Příkladem může být rakovina prsu. Pokud má pacientka metastazující karcinom prsu a je třeba vyloučit metastázy v uzlinách a ve skeletu, je možné vyšetřit pacientku s využitím PET/MR pouze jednou. Tato metoda je výhodná i pro vyšetřování dětí, protože je chrání před opakovanými dávkami radiačního záření. (Medical Tribune, 2015)

Od začátku vývoje PET/MR skeneru se za největší technický problém považovala vzájemná existence mezi silným magnetickým polem a detekčním systémem PET. Součinnost obou metod podle fyzikálních zákonů využívaných v těchto zobrazovacích technikách není možná. Je to způsobeno zejména interakcí silného magnetického pole, elektromagnetickými změnami pole gradientním systémem cívek a radiofrekvenčními nehomogenitami s detektorovým systémem PET, konkrétně fotonásobiči.

Kvůli tomu, že se tyto subsystemy navzájem rušily, nebylo až doposud možné provést simultánní akvizici obrazů lidského těla s vysokým rozlišením. Pacienti museli být skenováni na každé metodě samostatně, takže mezi vyšetřeními vždy uplynula určitá doba. PET/MR je konstruován tak, aby umožnil průběh obou vyšetření současně. Systémy PET/MR využívají subsystemu magnetické rezonance o magnetické indukci 3 T a uvnitř gantry je uložen detektorový prstenec pro detekci koincidence anihilačního záření γ , který velmi dobře pracuje uvnitř systému. (Ferda, et al., 2017)

Detektorový prstenec PET je uložen mezi systém gradientních a radiofrekvenčních cívek. Tento materiál vyžaduje nízkou provozní teplotu a je nutné ho neustále chladit, aby byla zajištěna optimální odpověď detektoru. Také musí být odstíněn, aby nedocházelo ke vzájemné integraci detekčních systémů PET a MR. Kombinace obou těchto metod výrazně zkracuje čas, který byl zapotřebí pro vyšetření pacienta oběma metodami samostatně. (Strasmajerová, 2015)

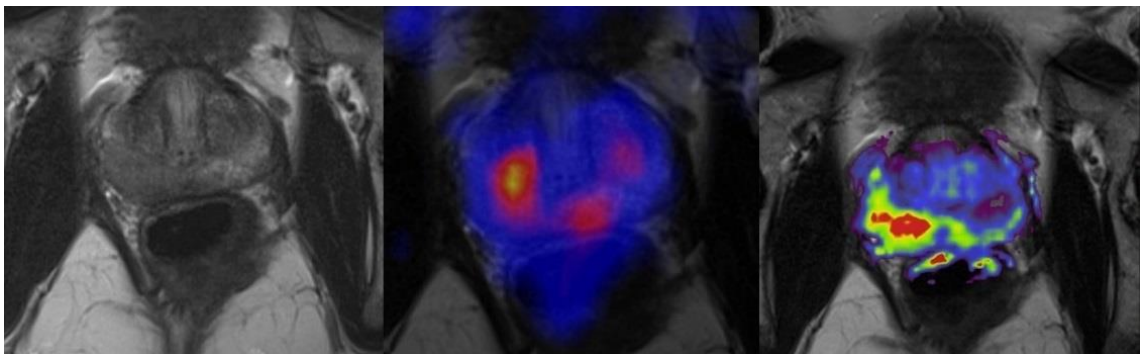


Obrázek 11: Současné rozmístění skenerů po území ČR. Oba PET/MR skenery jsou vyznačeny tmavě modře

Zdroj: ČSNM, 2017

1.4.1 Indikace

Stanovení diagnózy, staging onemocnění, kontrola účinku terapie či sledování po jejím ukončení. Především onkologicky nemocní pacienti s lymfomy nebo s nádory varlete. Výhodou je spojení vysoce kvalitního zobrazení měkkých tkání magnetickou rezonancí s metabolickým obrazem u nemocných, kdy se dosud používala obvykle kombinace PET/CT a MR. PET/MR zjednoduší předoperační zobrazení rozsahu a chování nádorů mozku nebo dutiny ústní, ale i přesné předoperační posouzení rozsahu postižení prsu karcinomem spolu s možností posouzení, zda nejsou přítomny metastázy. Zobrazování pánevních nádorových onemocnění, tj. nádorů dělohy nebo konečníku a zejména karcinomu prostaty.

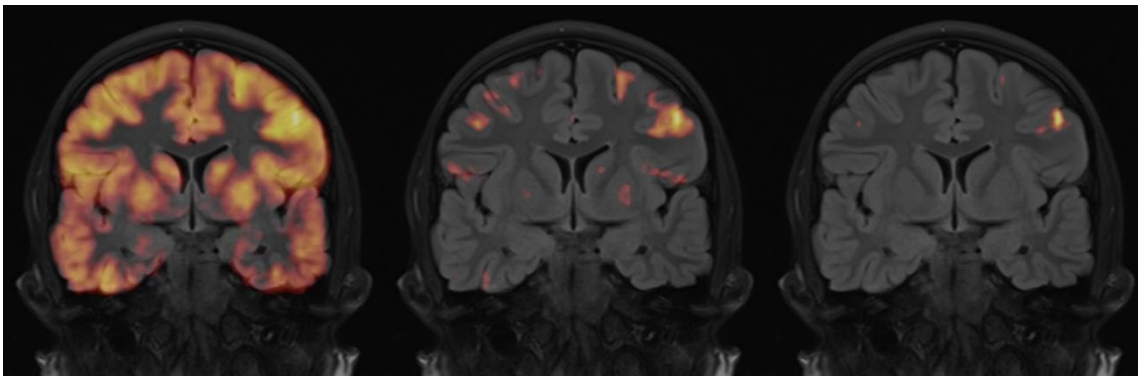


Obrázek 12: PET/MR - Prostata

Zdroj: Česká radiologie, 2017

Z hlediska nenádorových onemocnění je PET/MR velmi efektivní v oblasti neurologické indikace, zejména při včasném odhalení Alzheimerovy choroby a dále při vyhledávání ložisek, které vyvolávají epilepsii. PET/MR je přínosem pro diagnostiku srdečního svalu například při hodnocení viability myokardu u pacientů s ischemickou chorobou srdeční. I zde je výhodou kombinovat posouzení metabolismu s hodnocením

struktury tkáně magnetickou rezonancí. Hlavním účelem PET/MR je plánování protinádorové léčby a posouzení jejího účinku. (Strasmajerová, 2015)



Obrázek 13: PET/MR - Epilepsie

Zdroj: Česká radiologie, 2017

1.4.2 Kontraindikace

Vyšetření nemohou absolvovat pacienti se zabudovaným kardiostimulátorem, nebo s kochleárním implantátem. Kontraindikací k vyšetření je cokoli z magnetického kovu v těle pacienta, např. osteosyntéza, umělé kloubní náhrady apod. Pokud má pacient v těle jakýkoliv kovový předmět, je nutné ho před zahájením vyšetření neprodleně nahlásit obsluhujícímu personálu. V důsledku silného magnetického pole by mohlo dojít k poškození tkáně v okolí kovových předmětů, v případě implantovaného kardiostimulátoru dokonce k srdeční zástavě. Novější umělé kloubní náhrady jsou vyráběny z nemagnetických kovů, např. titan a vyšetření pacientů s těmito materiály by mělo být kompatibilní a je možné ho provést. Je však nutné doložit nezávadnost materiálu při vyšetření magnetické rezonance (uvádí výrobce). U fixních ortodontických aparátů (nesnímatelná rovnátka) je nutné dočasně odstranit pouze kovový oblouk. U pacientů trpících klaustrofobií je možné provést vyšetření v anestezii. (Ferda, et al., 2017)

2 CÍLE PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA

2.1 Cíle práce

- 1) Analyzovat možnosti využití hybridních zobrazovacích metod v radiologii, radioterapii a nukleární medicíně.
- 2) Analyzovat počet vyšetření hybridními přístroji.
- 3) Identifikovat silné a slabé stránky vybraných hybridních přístrojů pomocí SWOT analýzy.

2.2 Výzkumná otázka

Stoupá počet hybridních přístrojů?

3 METODIKA

Data potřebná k vypracování praktické části bakalářské práce jsem čerpal z Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR z let 2007 – 2015. Analýza dostupných hybridních přístrojů využívaných v České republice ve vybraném období. Popis dalších možností využití hybridních přístrojů. Popis indikací a kontraindikací těchto zobrazovacích metod. Klasifikace a zhodnocení silných a slabých stránek hybridních zobrazovacích metod pomocí SWOT analýzy.

SWOT analýza je velmi univerzální analytická technika, jejíž využití v praxi je opravdu velmi široké. Využívá se k zhodnocení vnitřních a vnějších faktorů ovlivňujících úspěšnost nějakého konkrétního záměru, např. uvedení nového hybridního přístroje. (Grasseová, 2006)

Autorem SWOT analýzy je americký podnikatel a konzultant v oblasti managementu Albert Humphrey, který ji vypracoval v šedesátých letech 20. století. SWOT je spojení počátečních písmen anglických názvů jednotlivých faktorů:

- Strengths – silné stránky,
- Weaknesses – slabé stránky,
- Opportunities – příležitosti,
- Threats – hrozby.

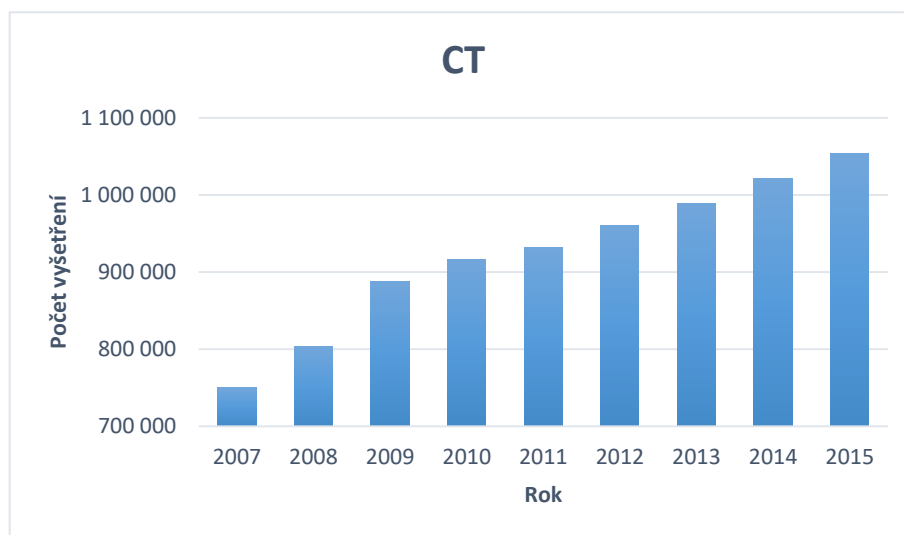
Podstatou SWOT analýzy je identifikovat silné a slabé stránky daného problému, znát příležitosti a také hrozby s ním spojené. Cílem SWOT analýzy je zhodnotit a podporovat silné stránky, omezit slabé stránky, hledat nové příležitosti a také znát hrozby. (Morrison, 2016)

Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, zkráceně ÚZIS, je organizační složka státu zřízená Ministerstvem zdravotnictví ČR. ÚZIS plní úkoly Národního zdravotnického informačního systému (NZIS) jako např. sběr dat, zpracování zdravotnických informací a vedení národních zdravotních registrů. Výsledky jsem zpracoval ze stručných přehledů činnosti oboru nukleární medicíny a oboru radiologie a zobrazovacích metod za období 2007-2015.

4 VÝSLEDKY

4.1 CT

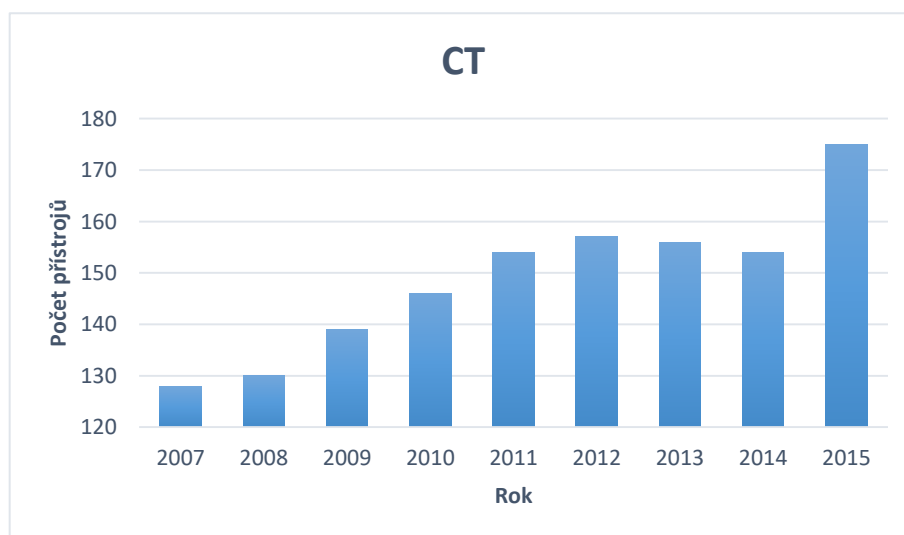
Výpočetní tomografie se využívá k diagnostice široké škály onemocnění, ale velký význam má také v urgentní medicíně. Počet vyšetření touto zobrazovací modalitou proto každým rokem stoupá.



Obrázek 14: Počet vyšetření CT ve vybraném období 2007-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

Všechny CT v České republice.

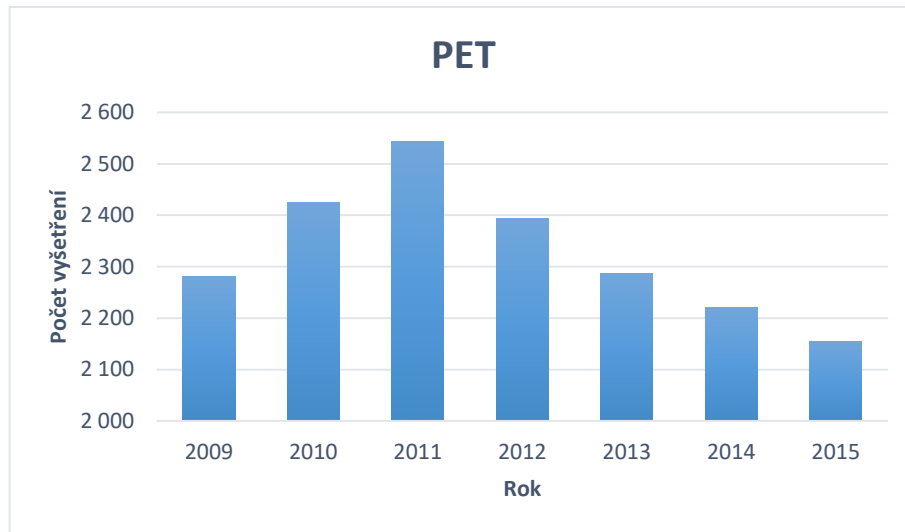


Obrázek 15: Počet přístrojů CT ve vybraném období 2007-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

4.2 PET

Počet vyšetření PET má v posledních letech klesající tendenci, v důsledku rozšíření hybridních PET/CT.



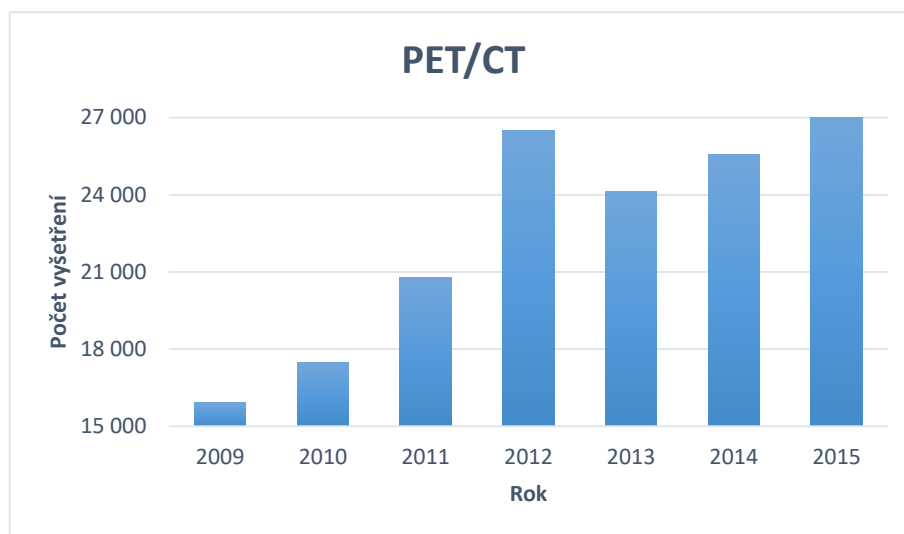
Obrázek 16: Počet vyšetření PET ve vybraném období 2009-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

V prvních dvou letech vybraného období byly k dispozici dva přístroje, poté už pouze jeden, úlohu převzal hybridní PET/CT.

4.3 PET/CT

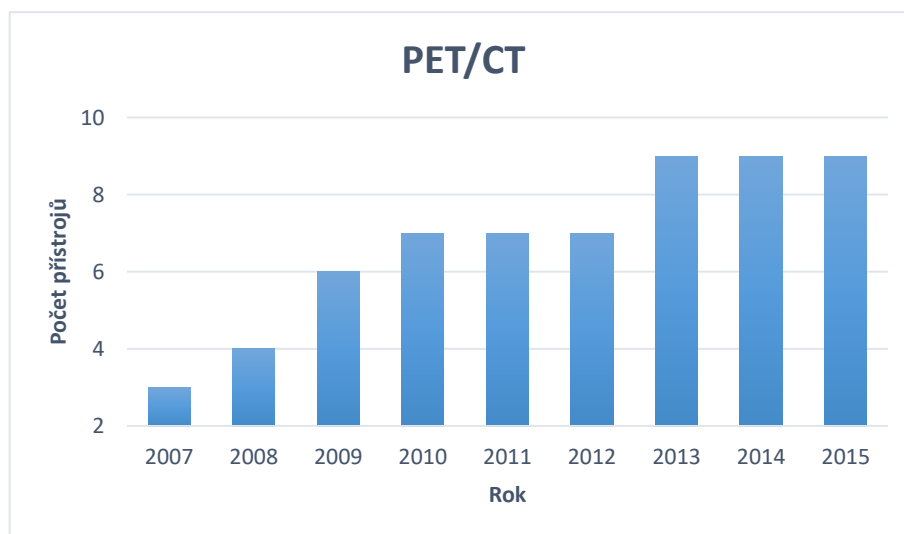
Počet vyšetření pomocí hybridního PET/CT stoupá, tato metoda je v České republice stále rozšířenější.



Obrázek 17: Počet vyšetření PET/CT ve vybraném období 2009-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

Počet přístrojů PET/CT ve zdravotnických zařízeních se během sledovaného období výrazně zvýšil.

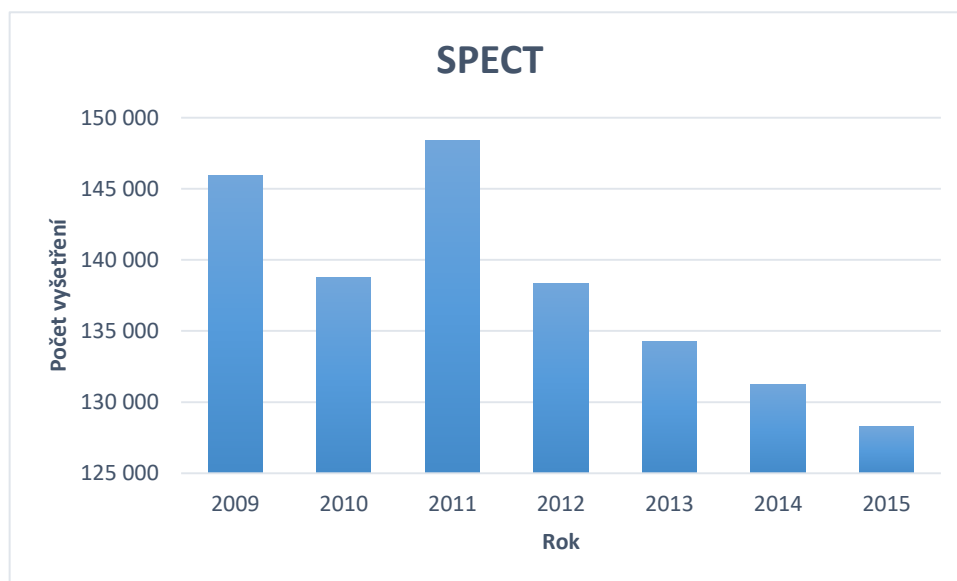


Obrázek 18: Počet přístrojů PET/CT ve vybraném období 2007-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

4.4 SPECT

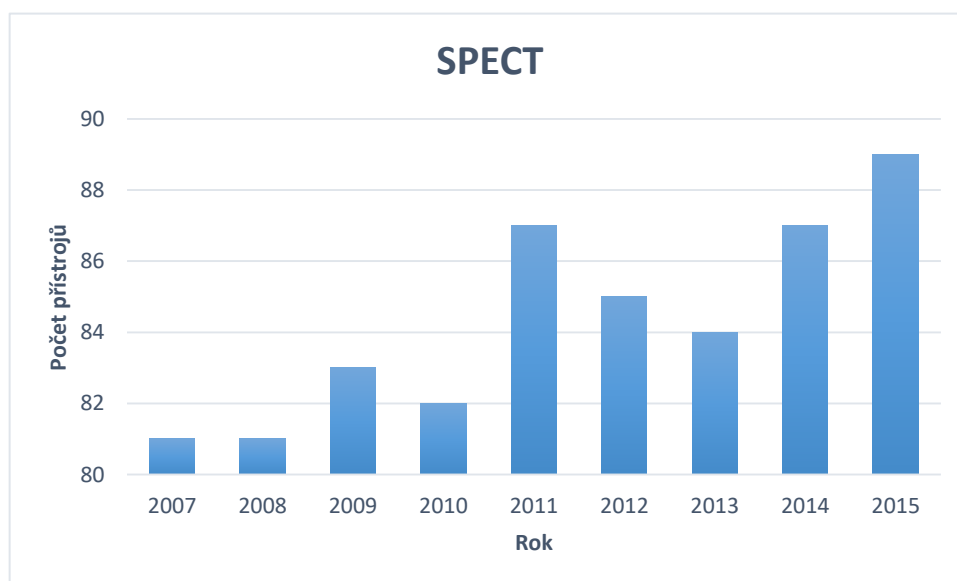
Počet vyšetření SPECT má klesající tendenci, v současné době se provádí vyšetření spíše pomocí hybridního SPECT/CT.



Obrázek 19: Počet vyšetření SPECT ve vybraném období 2009-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

Počet samostatných SPECT skenerů má ve vybraném období spíše kolísavou tendenci.

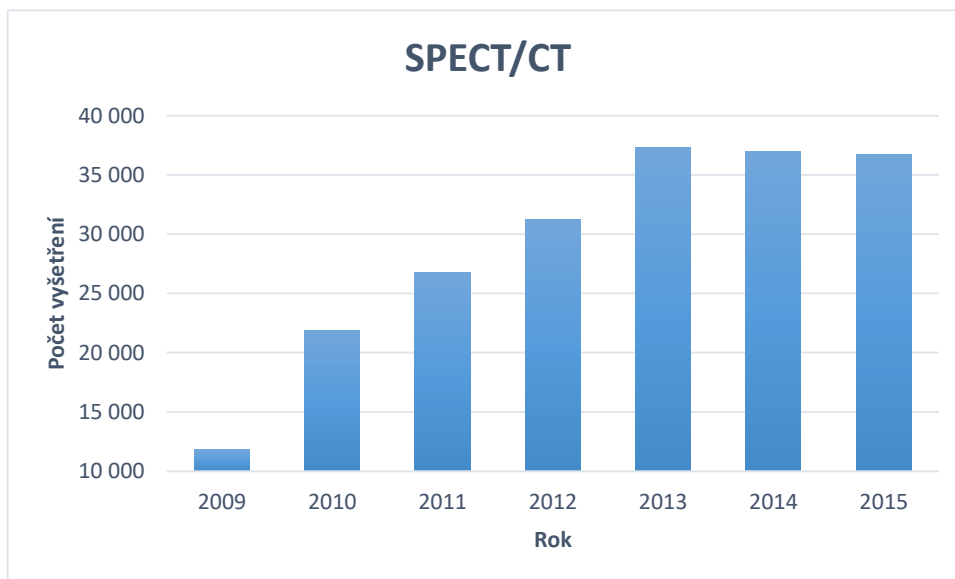


Obrázek 20: Počet přístrojů SPECT ve vybraném období 2007-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

4.5 SPECT/CT

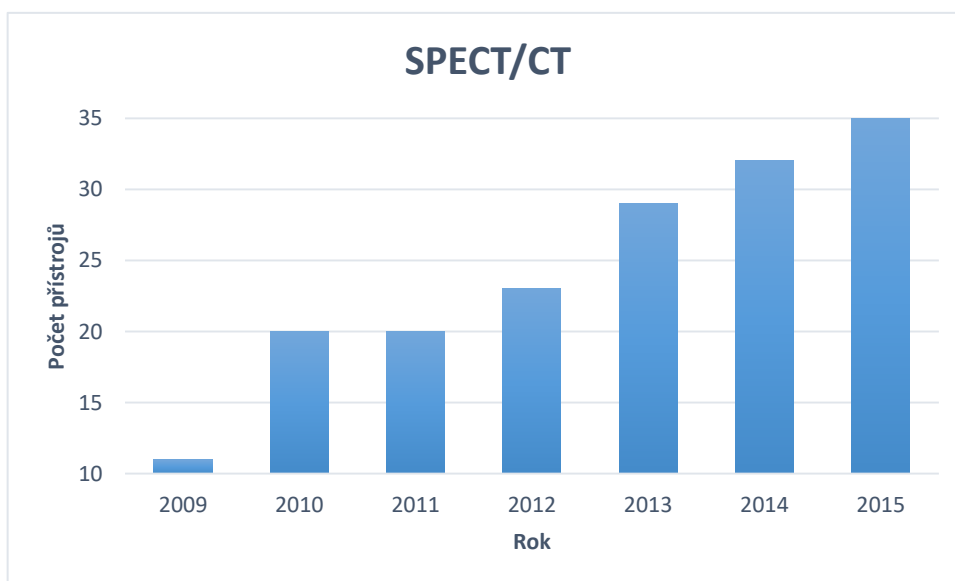
V současné době je výhodnější využívat hybridní SPECT/CT, v důsledku toho roste počet vyšetření touto hybridní zobrazovací modalitou.



Obrázek 21: Počet vyšetření SPECT/CT ve vybraném období 2009-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

Počet hybridních SPECT/CT přístrojů se během sledovaného období takřka zčtyřnásobil.

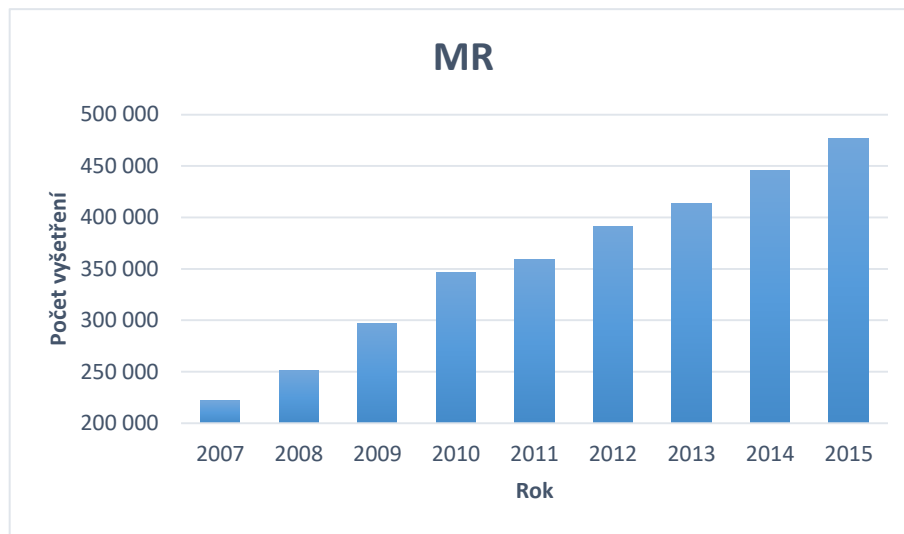


Obrázek 22: Počet přístrojů SPECT/CT ve vybraném období 2009-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

4.6 MR

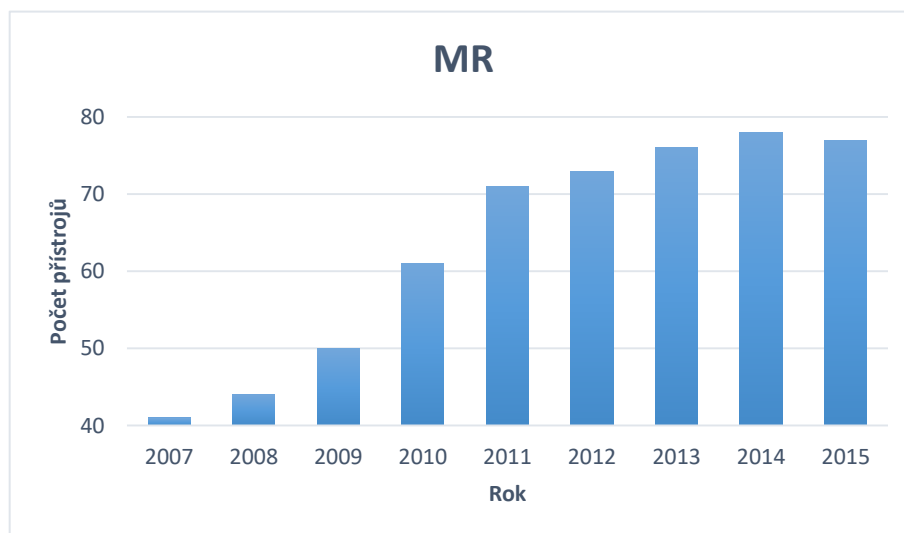
Počet vyšetření magnetickou rezonancí také strmě roste, v důsledku rozšíření přístrojů magnetické rezonance.



Obrázek 23: Počet vyšetření MR ve vybraném období 2007-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

Všechny MR v České republice.

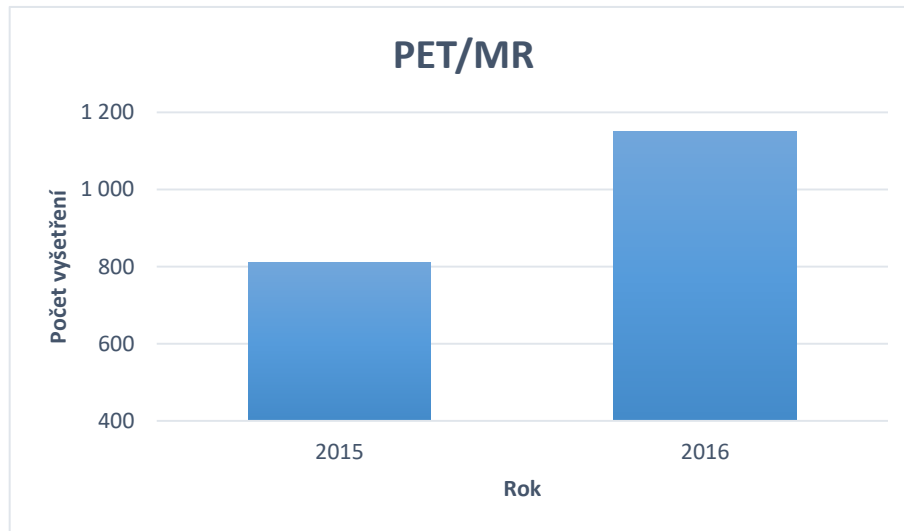


Obrázek 24: Počet přístrojů MR ve vybraném období 2007-2015

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS

4.7 PET/MR

PET/MR je nejnovější hybridní metoda zobrazování na molekulární úrovni. Ve Fakultní nemocnici v Plzni bylo v roce 2015 provedeno 811 vyšetření a v roce 2016 zde bylo provedeno 1150 vyšetření.



Obrázek 25: Počet vyšetření PET/MR v roce 2015 a 2016

Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Plzeň - Lochotín

V České republice jsou v současné době k dispozici dva přístroje, první PET/MR je v provozu od 7. dubna 2015 na Klinice zobrazovacích metod v Plzni, druhý PET/MR zahájil provoz 4. května 2016 ve Fakultní nemocnici v Brně.

Bakalářskou práci lze využít jako studijní materiál pro obor Radiologický asistent. Zde je zpracován přehledný výukový materiál ve formě prezentace aplikace PowerPoint, který je součástí kapitoly výsledků.

<p style="text-align: center;">Hybridní diagnostické zobrazovací metody</p> <p> Vypracoval: Petr Kládenský Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Freitinger Skalická, Ph. D. České Budějovice 2018</p>	<p style="text-align: center;">Úvod</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagnostické zobrazovací metody • Nástup hybridních zobrazovacích metod • Kombinace dvou modalit v rámci jedné → nová výkonnější zobrazovací technika • Možnost současně zobrazit strukturu i funkci daného orgánu nebo tkáně • V posledních letech nastal velký progres těchto metod → významné diagnostické výhody • Vývoj nových hybridních přístrojů (např. PET/MR), roste jejich počet ve zdravotnických zařízeních ↗
<p style="text-align: center;">Stávající hybridní diagnostické zobrazovací metody</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET/CT (Positron-emission tomography/Computed tomography) • SPECT/CT (Single-photon emission computed tomography/Computed tomography) • PET/MR (Positron-emission tomography/Magnetic resonance imaging) • EUS (Endoscopic ultrasonography) • UZ/MR (Ultrasound/Magnetic resonance imaging) • SPECT/MR (Single-photon emission computed tomography/Magnetic resonance imaging) • UZ/CT (Ultrasound/Computed tomography) • MR/CT (Magnetic resonance imaging/Computed tomography) 	<p style="text-align: center;">PET/CT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Využívá pozitronové emisní tomografie v kombinaci s výpočetní tomografií • PET má výjimečné uplatnění v onkologii • V diagnostice nádorových onemocnění je metodou volby • Možnost provedení celotělového vyšetření, které může odhalit patologická ložiska i v předem neznámé lokalizaci • Pozitronová emisní tomografie (PET) – poskytuje funkční zobrazení • Výpočetní tomografie (CT) – poskytuje strukturální zobrazení • Hybridní přístroj PET/CT umožňuje provést obě vyšetření v návaznosti
<p style="text-align: center;">Současné rozmístění PET/CT skenerů</p> <ul style="list-style-type: none"> • Česká republika v současné době disponuje patnácti hybridními přístroji PET/CT, které se nachází téměř v každém kraji po celém území ČR, chybí pouze v Karlovarském, Libereckém a Pardubickém kraji.  <p style="text-align: center;"><small>Zdroj: ČSNM, 2017</small></p>	<p style="text-align: center;">Princip PET/CT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Princip PET je založen na indikátorovém neboli stopovacím principu • Pacientovi se intravenózně aplikuje radiofarmakum (nejčastěji ¹⁸FDG) • Záření emitované v důsledku radioaktivních přeměn rozpadajícího se prvku je detekováno speciální PET kamerou • Poté jsou rekonstruovány řezy vypovídající o rozložení aktivity v těle • Ložiska se zvýšenou akumulací radiofarmaka jsou barevně odlišitelná od normální tkáně

Anihilační jev

- PET využívá pozitronové zářiče, tj. radionuklidy emitující kladně nabitě částice pozitrony
- V nestabilním jádře pozitronového zářiče dochází k přeměně protonu na neutron (β^+ rozpad), v důsledku toho vzniká pozitron (e^+), který je jakousi formou antihmoty
- Pozitron se na konci své dráhy setká se svou antičásticí (e^-) čímž dochází k anihilaci provázenou vznikem dvou fotonů v o energii 511 keV \rightarrow anihilační jev
- Vzniklé fotony pak z místa anihilace odletějí opačným směrem (180°) po přímce, čehož se využívá při detekci

7

Schéma PET

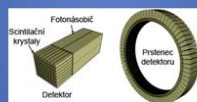


Zdroj: Encyklopedie fyziky, 2017

8

Detektorový systém PET

- K detekci vyšších energií anihilačního záření jsou zapotřebí scintilátory s vyšší hustotou. Dnes jsou standardem systémy s kruhově uspořádanými BGO a LSO detektory s vysokým počtem krystalů.



Zdroj: Encyklopedie fyziky, 2017

9

Indikace

Obecné klinické indikace v onkologii:

- Diagnostika maligních lézí (velikosti nad 5 mm)
- Hodnocení rozsahu onemocnění (staging/restaging)
- Stanovení stupně malignity (grading)
- Vyšetření nemocných s metastázami při neznámém primárním ložisku
- Lokalizace nejagresivnější části nádoru před biopsií
- Plánování radioterapie (kurativní, paliativní)
- Hodnocení reakce nádoru na léčbu (chemoterapii, radioterapii)

Neonkologické indikace:

- **Zjištění onemocnění**
 - FDG se akumuluje v velkých množství v zářivých procesech
 - Protrhování vaskulární stěny a porušení na infarkt myokardu nebo cévní stěny
 - Hrudní karcinomy plic
 - Infarkt myokardu
 - Poškození na osteomyelitidy, osteoartróza, dna, tuberkulóza
 - Vaskulitidy a systémových onemocnění
- **Kardiologie**
 - Průtok svalů myokardu
- **Neurologie**
 - Differenciace postoperativní nebo posttraumatické jizvy od metastatického onemocnění
 - Detekce lézí při fokální paroxysmální epilepsii
 - Genetické Alzheimerovy choroby

10

Indikace

Nejčastější typy nádorů, které jsou vhodné k zobrazení na PET/CT:

- Bronchogenní karcinom
- Kolorektální karcinom
- Lymfom
- Maligní melanom
- Karcinom ovaria
- Karcinom prsu
- Karcinom oblasti hlavy a krku
- Další nádory, zvláště s rychlým růstem (např. sarkom)

Mezi nejčastější vyšetření na hybridním PET/CT se řadí:

- PET/CT trupu s FDG (fluorodeoxyglukóza) a i.v. nebo p.o. kontrastní látkou
- PET/CT hlavy s vyšetření s FDG (se zaměřením na plíce a ORL oblast)
- PET/CT trupu s FDG (fluorocholin)
- PET/CT skeletu s NaF (natrium fluorid)
- PET/CT mozku s FDG
- PET/CT mozku s FT (fluorothymidin)
- PET/CT pro plánování radioterapie

11

Kontraindikace

- Gravidita z důvodu radiační zátěže
- Dekompenzovaný diabetes mellitus nebo jeho čerstvý záchyt
- Pacienti trpící klaustrofobií
- Pacienti s hmotností nad 200 kg
- Deformita hrudníku bránič v prostupu přes otvor gantry o průměru 80 cm
- Krátký odstup od onkologické terapie:
 - u chemoterapie se uvádí odstup alespoň dvou týdnů
 - u radioterapie se doporučuje odstup nejméně třech měsíců

12

Radiofarmaka pro PET

- ^{18}F -FDG – nejvíce využívána v onkologii pro zobrazování nádorů, odhalování zámetlivých ložisek apod.
- ^{22}Na F – zobrazování kostí, vhodný pro scintigrafii kostních metastáz
- ^{18}F -FLT – zobrazuje růstovou aktivitu tkáně (proliferaci buněk), vhodný pro mozkové tumory
- ^{18}F -DOPA – využívá se pro neuroendokrinní tumory, mozek a při suspekci na kongenitální hyperinzulinismus
- ^{18}F -FCM – k zobrazení karcinomu prostaty a jeho metastáz
- ^{68}Ga – značené peptidy (např. ^{68}Ga DOTATOC) – neuroendokrinní tumory, medulární karcinom štítné žlázy
- ^{11}C -Methionin – hodnocení rozsahu onemocnění u pacientů s gliomem, lokalizace tumoru v příšt. tělískách
- ^{11}C -Acetát – slouží k zobrazení hepatocelulárního karcinomu
- ^{11}C -Cholin – využívá se k zobrazení karcinomu prostaty a hepatocelulárního karcinomu
- ^{15}N -Amoniak – vyhodnocení perfuze myokardu, při podezření na ICHS nebo onemocnění koronárních tepen
- ^{15}O -Kyslík – k zobrazení mozového metabolismu a jeho spotřebě
- ^{18}F -Florbetapir – u pacientů s kognitivní poruchou (např. Alzheimerovou chorobou) a k zobrazení mozku

13

Příprava k vyšetření PET

- Před provedením PET/CT vyšetření je pacient povinen dodržet následující pokyny:
 - Pacient přichází na lačno (minimálně 6-8 hod. lačnění)
 - Den před vyšetřením je doporučeno jíst lehká, méně kalorická jídla
 - Před vyšetřením by měl pacient vypít dostatečné množství tekutin
 - Vyvarovat se zvýšené fyzické námaze nebo intenzivnímu cvičení v posledních 24 hod., což by mohlo vést k vychytávání glukózy ve svalu
 - Dostatečný odstup od poslední chemoterapie (čím větší časový odstup, tím spolehlivější výsledek PET)
 - Během akumulace radiofarmaka v organismu by měl pacient minimálně 30-60 min. před vyšetřením dodržovat tělesný a duševní klid

14

Postup vyšetření PET

- Nejprve je potřeba stanovit hladinu krevního cukru, která se získá odběrem kapky krve ze špičky prstu pacienta
- Poté se pacientovi zavede periferní žilní katétr, kterým se intravenózně aplikuje radiofarmakum (doba akumulace radiofarmaka je zhruba 60-90 minut)
- V případě ^{18}F -FDG-PET vyšetření se množství aktivity radiofarmaka určuje dle váhy pacienta a dle doporučení EANM v závislosti na druhu skeneru, klinických podmínkách a na době akvizice jedné „bed“ pozice
- Při aplikaci radiofarmaka dětem se doporučuje stanovit jeho podávanou aktivitu dle doporučení EANM (European Association of Nuclear Medicine)

15

NRS [^{18}F]-FDG PET/CT trupu

- Radiační zátěž spojená s tímto vyšetřením je obdobná jako u většiny ostatních radiodiagnostických vyšetření.

	PET [^{18}F]-FDG	
	Organ s nejvyšší absorbovanou dávkou [mSv/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,13 mSv/MBq	0,019
Děti 5 let	0,34 mSv/MBq	0,056

Zdroj: Národní radiologické standardy

16

PET scanner

- Optimálním zařízením jsou hybridní PET/CT skenery s velkým počtem kruhově uspořádaných scintilačních krystalů s dostatečnou detekční účinností
- Jedná se o bismut-germanátové (BGO), lutetium-orthosilikátové (LSO) či gadolinium-orthosilikátové (GSO) krystaly
- Nevhodné jsou skenery pracující pouze v 2D režimu, skenery s NaI(Tl) detektory a skenery bez CT zařízení
- Krystaly z novějších scintilačních materiálů jako LSO a GSO mají výrazně kratší dobu scintilačního záblesku (LSO 40 ns), lze tedy detekovat vyšší četnosti impulsů

17

PET scanner

- K registraci pozitronových radiofarmak jsou zapotřebí speciální PET kamery. Vzhledem k tomu, že krystal NaI(Tl) díky své nízké hustotě a velmi nízké citlivosti neumí detekovat vyšší fotonové toky, používají se dnes scintilační krystaly s vyšší hustotou a vyšším atomovým číslem.

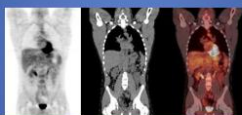


Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Pilsen – Lochotin, 2017

18

Fúze obrazů

- Fúze obrazů, kdy dojde ke sloučení emisního PET obrazu s transmisním CT obrazem. Na obrázku je emisní PET obraz, na kterém lze vidět černá místa s kumulací radiofarmaka, dále transmisní CT obraz a také fúze obou těchto obrazů.



Zdroj: Sovereign Health Imaging

19

SPECT/CT

- Emisní tomografii dělíme na:
 - jednofotonovou neboli SPECT (Single-photon emission computed tomography)
 - dvoufotonovou, jinak také PET (Positron-emission tomography)
- SPECT je diagnostická zobrazovací metoda, která je schopna detekovat záření v různých energiích emitované mnoha různými izotopy, nejčastěji se využívá ^{99m}Tc
- Jde o gama-zářiče emitující fotony γ , které jsou následně detekovány pomocí scintilačních kamer snímajících distribuci radiofarmaka v organismu
- Radiofarmakum se akumuluje v místech zvýšeného metabolismu nebo vaskularizace

20

SPECT/CT



Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Píseň - Lochotín, 2017

21

Současné rozmístění SPECT/CT skenerů



Zdroj: ČSNM, 2017

22

Princip SPECT/CT

- Pacientovi je podáno radiofarmakum, nejčastěji se jedná o ^{99m}Tc (metastabilní radionuklid) ve formě technicitanu sodného jako čistého gama-zářiče s energií fotonů 140 keV
- ^{99m}Tc je se svým poločasem rozpadu ($T_{1/2}$ 6 hod.) a fyzikální charakteristikou záření optimální k detekci na scintilačních kamerách
- SPECT disponuje rotačními scintilačními kamerami, které mají jednu nebo více hlav
- Ty se při tomografickém vyšetření otáčejí ve zvoleném režimu kolem dlouhé osy pacienta a registrují četnost a rozložení impulsů v několika stop-pozicích

23

Využití SPECT/CT

- Možnost lokalizace anatomické polohy nádoru, lokalizace zánětů
- Perfuzní scintigrafie myokardu (zátěžové a klidové vyšetření)
- Hodnocení prokrvení mozku
- Včasná lokalizace postiženého místa a určení správné diagnózy (např. Alzheimerova choroba, Parkinsonova choroba)
- Zjištění přesného místa před operací (epilepsie, dvoji vyšetření, před a při záchvatu)
- Zobrazování kostí (skeletu)
- Při lymfoscintigrafii pro vyšetření sentinelových uzlin

24

PET/MR

- PET/MR slučuje dohromady pozitronovou emisní tomografii a magnetickou rezonanci (PET pro zobrazení látkové přeměny, MR pro zobrazení měkkých tkání)
- Tato metoda umožňuje:
 - Včasné odhalit neurodegenerativní změny
 - Vyhledat ložiska vyvolávající epilepsii
 - Diagnostikovat nádory mozku a jejich formy
 - Zjistit záněty a nádory v oblasti úst, obličeje, dutině břišní, prsu nebo pánvi, což se týká i karcinomu dělohy, konečníku, prostaty, ad.
- Největší výhodou této metody je výrazné snížení radiční dávky oproti PET/CT

25

Princip PET/MR

- Princip magnetické rezonance je založen na změně chování jader atomů vodíku ^1H přítomných v molekule vody, umístěných v silném vnějším magnetickém poli
- Absorpci radiofrekvenčního záření se jádra vodíku dostanou do excitovaného stavu
- Poté se díky relaxačním procesům vrací do původního stavu a uvolňují přítomnou absorbovanou energii ve formě elektromagnetického záření, které je detekováno

26

PET/MR

- První přístroj PET/MR v České republice je v provozu od 7. dubna 2015 na Klinice zobrazovacích metod v Plzni.
- Druhý přístroj PET/MR saháji provoz 4. května 2016 ve Fakultní nemocnici Brno – Bohunice.



Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Plzeň – Lechačův, 2017

27

Indikace

- Stanovení diagnózy
- Staging onemocnění
- Kontrola účinku terapie či sledování po jejím ukončení
- Lymfomy nebo nádory varlete
- Předoperační zobrazení rozsahu a chování nádorů mozku nebo dutiny ústní
- Předoperační posouzení rozsahu postižení prsu karcinomem spolu s možností posouzení výskytu metastáz
- Zobrazování pánevních nádorových onemocnění, tj. nádorů dělohy nebo konečníku a zejména karcinomu prostaty

28

Kontraindikace

- Kardiostimulátor
- Kochleární implantát
- Předměty z magnetického kovu v těle pacienta (např. osteosyntéza, umělé kloubní náhrady apod.)
- Fixní ortodontické aparáty (nesnímatelná rovnátka) – lze dočasně odstranit pouze kovový oblouk
- Klaustrofobie – možnost provést vyšetření v anestezii

29

Závěr

- V současné době se nejčastěji využívají hybridní zobrazovací metody, které kombinují emisní tomografii s výpočetní tomografií jako je PET/CT a SPECT/CT
- Nejmodernějším hybridním přístrojem na molekulární úrovni je PET/MR
- Hybridní zobrazovací metody poskytují významné výhody:
 - Zvýšená diagnostická přesnost (informace o lokalizaci i charakteru léze)
 - Včasné zacílení léčby
 - Zrychlení diagnostického procesu (větší komfort pro pacienta)
 - Podstatné snížení radiční zátěže
- Počet hybridních přístrojů v České republice stoupá ↗

30

5 DISKUSE

Výpočetní tomografie je po klasické skiografii druhou nejvyžívanější zobrazovací metodou. Nárůst počtu vyšetření touto zobrazovací modalitou je proto každým rokem zřejmý. V posledních dvou letech let zkoumaného období překročil počet vyšetření milion ročně. Ze statistického přehledu vyplývá, že každým rokem se do zdravotnických zařízení v České republice pořídí několik nových přístrojů výpočetní tomografie. Na začátku vybraného období jich bylo evidováno 128 a na konci 175.

Samostatné PET skenery se již prakticky neinstalují, proto počet vyšetření PET zaznamenává v posledních letech klesající tendenci v důsledku rozšíření hybridních PET/CT. Maximum vyšetření bylo provedeno v roce 2011, ale od té doby se vytíženost PET velmi snižuje. V prvních dvou letech vybraného období byly k dispozici dva samostatné PET skenery, ale poté už pouze jeden, úlohu převzal hybridní PET/CT.

PET/CT patří v rámci hybridních zobrazovacích metod k nejmodernějším a je nejrychleji se vyvíjející zobrazovací modalitou na celém světě. Počet vyšetření pomocí PET/CT konstantně roste, v České republice je tato metoda stále rozšířenější a počet vyšetření se v posledních letech přiblížil k 30 000 za rok. V České republice se v současné době nachází patnáct hybridních přístrojů PET/CT, jsou téměř v každém kraji po celém území ČR, vyjma kraje Karlovarského, Libereckého a Pardubického. První hybridní přístroj PET/CT v České republice byl instalován v roce 2003 v Praze v Nemocnici Na Homolce, další dvě kamery byly instalovány v roce 2005 ve Fakultní nemocnici v Olomouci a v Plzni. Od té doby se počet přístrojů PET/CT rapidně zvýšil a ze statistických výsledků lze očekávat podobný průběh i v následujících letech.

Počet obyvatel České republiky: 10 278 545 (k 1. 1. 2018)

Počet přístrojů v České republice: 15 (k 1. 1. 2018)

- PET/CT: 15 (1,46 na 1 000 000 obyvatel ČR)
- PET/CT: 15 (1 na 685 236 obyvatel ČR)

SPECT je scintigrafická metoda, která stejně jako PET poskytuje informace o funkci orgánů a tkání. Počet vyšetření SPECT klesá, dnes už se využívá spíše hybridní SPECT/CT, který v kombinaci s výpočetní tomografií poskytuje informace i o anatomické struktuře. Počet samostatných SPECT skenerů se ve vybraném období pohyboval v rozmezí osmdesáti, až devadesáti za rok.

V současné době je výhodnější využívat hybridní SPECT/CT, v důsledku toho roste každým rokem počet vyšetření touto hybridní zobrazovací modalitou. V roce 2015 se jednalo přibližně o 40 000 vyšetření ročně. Počet hybridních přístrojů SPECT/CT se od začátku sledovaného období téměř zčtyřnásobil. Dnes se počet hybridních SPECT/CT přístrojů pohybuje kolem čtyř desítek.

Vyšetření pomocí magnetické rezonance má také strmý nárůst. Na začátku šetřeného období sčítalo vyšetření magnetickou rezonancí přes 200 000 pacientů ročně, ale v současné době už je to zhruba půl milionu, což je jasný ukazatel, že tato metoda zaznamenala také obrovský progres. Z dostupných výsledků je patrné, že se počet přístrojů magnetické rezonance zdvojnásobil.

PET/MR je nejmodernější hybridní zobrazovací metoda na molekulární úrovni. Tento přístroj ještě není tak rozšířený, proto jsou v České republice zatím jen dva, a to ve Fakultní nemocnici v Plzni a v Brně. První přístroj PET/MR v České republice je v provozu od 7. dubna 2015 na Klinice zobrazovacích metod v Plzni. Druhý přístroj PET/MR zahájil provoz 4. května 2016 ve Fakultní nemocnici Brno – Bohunice. Vzhledem k tomu, že jde o opravdu moderní a v České republice teprve nedávno instalovanou hybridní zobrazovací metodu, Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR bohužel zatím neposkytuje sběr dat. Z tohoto důvodu jsem získal výsledky počtů vyšetření pouze z Fakultní nemocnice v Plzni. V roce 2015, kdy byl přístroj v necelé půlce kalendářního roku spuštěn do provozu, bylo provedeno 811 vyšetření. V roce 2016 už počet vyšetření přesáhl 1 000, konkrétně se jednalo o 1150 vyšetřených pacientů.

5.1 SWOT analýza

Klasifikace a zhodnocení silných a slabých stránek hybridní zobrazovací metody PET/CT pomocí SWOT analýzy.

Silné stránky	Slabé stránky
STRENGTHS	WEAKNESSES
1 Vysoké rozlišení (až k 0,35 mm)	1 Technická náročnost PET
2 Detailní anatomické znázornění CT	2 Vysoká pořizovací cena přístroje
3 Zkrácení času pro celkový průběh vyšetření	3 Často nezbytné pořízení cyklotronu
4 Velká diagnostická přesnost	4 Sekvenční akvizice dat (není simultánní)
5 Prostorová rozlišovací schopnost	5 Radiační dávka z vyšetření
6 Využití biogenních prvků ve sledování metabolismu	6
7	7
Příležitosti	Hrozby
OPPORTUNITIES	THREATS
1 Zvýšení přesnosti diagnostiky	1 Dostupnost vyšetření
2 Vyšší detekční účinnost než SPECT	2 Erudice personálu
3	3 Cena vyšetření
4	4
5	5
6	6
7	7

Klasifikace a zhodnocení silných a slabých stránek hybridní zobrazovací metody PET/MR pomocí SWOT analýzy.

Silné stránky	Slabé stránky
STRENGTHS	WEAKNESSES
1 Synchronní vyšetření	1 Hlučnost vyšetření
2 Výborné prostorové rozlišení MR	2 Vysoká pořizovací cena
3 Výrazné snížení celkové radiační dávky	3 Technická náročnost
4	4 Implantovaný kardiostimulátor
5	5
6	6
7	7
Příležitosti	Hrozby
OPPORTUNITIES	THREATS
1 Chemická analýza	1 Erudice personálu
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7

6 ZÁVĚR

Hybridní diagnostické zobrazovací metody se zejména díky své unikátní schopnosti současně zobrazit strukturu i funkci daného orgánu nebo tkáně staly nedílnou součástí moderní medicíny. Z výsledků analýzy Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR vyplývá, že počet hybridních přístrojů v České republice stoupá. Důvodem jsou významné výhody, které tyto metody poskytují. Mezi ně se řadí především jejich vyšší diagnostická přesnost, včasné zacílení léčby a podstatné snížení radiační zátěže. V důsledku toho dochází k vývoji dalších hybridních zobrazovacích metod a zároveň k pořizování nových přístrojů do zdravotnických zařízení.

Mezi nejvyužívanější hybridní zobrazovací metody v současné době patří ty, které kombinují emisní tomografii s výpočetní tomografií, mezi něž patří PET/CT a SPECT/CT. Nejmodernějším hybridním přístrojem na molekulární úrovni je PET/MR. Kombinuje prvky magnetické rezonance, vhodné k zobrazování měkkých tkání a pozitronovou emisní tomografií poskytující funkční zobrazení. Největší přínos PET/MR spočívá zejména v absenci ionizujícího záření, což znamená výrazné snížení radiační zátěže.

Za hlavní důvod navýšení počtu hybridních přístrojů ve zdravotnických zařízeních lze označit vysokou úspěšnost v diagnostice a široké využití v klinické praxi. Hybridní zobrazovací metody zastupují významnou roli v onkologii, kardiologii a stagingu těchto onemocnění. V následujících letech lze tedy očekávat, že se udrží současný trend a nadále bude pokračovat vývoj a expanze hybridních zobrazovacích metod nejen v České republice.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Adam, J., a další. 2014. Současné trendy ve využívání PET radiofarmak k onkologické diagnostice. *Klinická Onkologie*. 2014, stránky 129-136.

Bailey, a další. 2014. *Nuclear Medicine Physics*. Vídeň : IAEA, 2014. ISBN 978-92-0-143810-2.

Bělohlávek, Otakar a Fencel, Pavel. 2004. Hybridní zobrazování výpočetní a pozitronovou emisní tomografií. *Interní medicína pro praxi*. 31. Prosinec 2004, Sv. 6, 2, stránky 61-63.

Bělohlávek, Otakar, a další. 2003. *Atlas pozitronové emisní tomografie*. 1. vyd. Praha : Lacomed, 2003. ISBN 80-902873-8-7.

Bernátek, Jaromír. 2012. OBECNÉ INDIKACE A KONTRAINDIKACE K PET/CT VYŠETŘENÍ NA ODDĚLENÍ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY KNTB, A.S., ZLÍN. *Krajská nemocnice T. Bati, a. s.* [Online] 2012. [Citace: 7. Duben 2017.] <http://www.kntb.cz/informace-pro-odbornou-verejnost-pet-ct>.

Bernátek, Jaromír. 2012. ZÁKLADNÍ INFORMACE O PET/CT. *Krajská nemocnice T. Bati, a. s.* [Online] 2012. [Citace: 7. Duben 2017.] <http://www.kntb.cz/informace-pro-odbornou-verejnost-pet-ct>.

Česká společnost nukleární medicíny. 2017. Pracoviště v ČR. *Česká společnost nukleární medicíny*. [Online] 2017. [Citace: 26. Březen 2017.] <https://www.csnm.cz/article/show/aboutDomain/czech-workplaces>.

Fakultní nemocnice Hradec Králové. 2012. PET/CT - pozitronová emisní a RTG počítačová tomografie. *Fakultní nemocnice Hradec Králové*. [Online] 2012. [Citace: 23. Březen 2017.] <https://www.fnhk.cz/onm-amb/pet-ct>.

Ferda, Jiří, Ferdová, Eva a Baxa, Jan. 2017. Hybridní zobrazení PET/MR. [editor] Jiří Ferda. *Česká radiologie*. Prosinec 2017, Sv. 71, 4, stránky 353-362.

Grasseová, Monika. 2006. Využití SWOT analýzy pro dlouhodobé plánování. *Obrana a strategie*. 2006, 2.

International Atomic Energy Agency. 2008. *Clinical Applications of SPECT/CT*. Vídeň : IAEA, 2008. ISBN 978-92-0-107108-8.

Kolektiv ONM a PET/CT KNTB. 2012. PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ 18F- FDG- PET/CT. *Krajská nemocnice T. Bati, a. s.* [Online] 2012. [Citace: 7. Duben 2017.] <http://www.kntb.cz/informace-pro-odbornou-verejnost-pet-ct>.

Kotek, Jan a Lukeš, Ivan. 2010. CHELÁTY PRO VYUŽITÍ V BIOMEDICÍNSKÝCH OBORECH. *Chemické listy*. 2010, Sv. 104, 12, stránky 1163-1174.

Kupka, Karel. 2016. Zobrazovací metody nukleární medicíny. *Ústav nukleární medicíny I.LF UK a VFN*. [Online] 2016. [Citace: 15. Březen 2017.] <http://unm.lf1.cuni.cz/zobrazov.html>.

Kupka, Karel, Kubinyi, Jozef a Šámal, Martin. 2007. *Nukleární medicína*. Příbram : P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2.

Lopci, Egesta, Nanni, Cristina a Castelulluci, Paolo, et al. 2010. Imaging with non-FDG PET tracers: outlook for current clinical applications. *Insights into Imaging*. Listopad 2010, Sv. 1, (5-6), stránky 373-385.

Management Mania. 2017. SWOT analýza. *Management Mania*. [Online] 22. Leden 2017. [Citace: 12. Únor 2018.] <https://managementmania.com/cs/swot-analyza>.

Medical Tribune. 2015. Nejlépe vybavené pracoviště zobrazovacích metod najdete v Plzni. *Medical Tribune*. [Online] 19. Květen 2015. [Citace: 12. Březen 2017.] <http://www.tribune.cz/clanek/36094-nejlepe-vybavene-pracoviste-zobrazovacich-metod-najdete-v-plzni>.

Míková, Vlasta. 2008. *Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. Praha : Galén, 2008. ISBN 978-80-7262-533-8.

Morrison, Mike. 2016. SWOT analysis (TOWS matrix) Made Simple. *RapidBi*. [Online] 20. Duben 2016. [Citace: 22. Březen 2018.] <https://rapidbi.com/SWOTanalysis/>.

Navrátil, Leoš a Rosina, Jozef, et al. 2005. *Medicínská biofyzika*. Praha : Grada, 2005. ISBN 80-247-1152-4.

Nemocnice České Budějovice, a.s. Vyšetření PET/CT. *Nemocnice České Budějovice, a.s.* [Online] [Citace: 19. Leden 2018.] <http://www.nemcb.cz/oddeleni/oddeleni-nuklearni-mediciny/>.

Professional Academy. MARKETING THEORIES – SWOT ANALYSIS. *Professional Academy*. [Online] [Citace: 12. Únor 2018.] <https://www.professionalacademy.com/blogs-and-advice/marketing-theories---swot-analysis>.

Proton Therapy Center. 2017. NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA – PET/CT. *Proton Therapy Center*. [Online] 2017. [Citace: 23. Březen 2017.] <http://www.ptc.cz/pro-pacienty/diagnosticka-vysetreni/>.

Reichl, Jaroslav. 2017. Částice a antičástice. *Encyklopedie fyziky*. [Online] 2017. [Citace: 12. Prosinec 2017.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/898-castice-a-anticastice>.

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

Srna, Michal. 2009. Metody rekonstrukce obrazu. *Webový portál PET - SPECT*. [Online] 22. Únor 2009. [Citace: 13. Březen 2018.] <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/pet/index.php/metody-rekonstrukce.html>.

Strasmajerová, Ivana. 2015. Hybridní zobrazovací přístroj PET/MRI v České republice. *Technický týdeník*. 15. Říjen 2015.

Súkupová, Lucie. 2012. Transmisní a emisní metody zobrazení. [Online] 29. Říjen 2012. [Citace: 27. Únor 2018.] <http://www.sukupova.cz/transmisni-a-emisni-metody-zobrazeni/>.

Šámal, Martin. 2016. Zobrazovací diagnostika budoucnosti - hybridní a molekulární zobrazení. *Ústav nukleární medicíny I.LF UK a VFN*. [Online] 2016. [Citace: 10. Březen 2017.] <http://unm.lf1.cuni.cz/zobrazov.html>.

The Royal College of Physicians. 2013. *Evidence-based indications for the use of PET-CT*. London : RCP, RCR, 2013. eISBN 978-1-86016-524-5.

Věstník MZ ČR. 2016. *Národní radiologické standardy*. Praha : Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2016.

Weerakkody, Yuranga a Pflieger, René, et al. 2016. Hybrid Imaging. *Radiopaedia*. [Online] 2016. [Citace: 16. Březen 2017.] <https://radiopaedia.org/articles/hybrid-imaging>.

Wieler, Helmut J. a Coleman, Edward R. 2000. *PET in Clinical Oncology*. Darmstadt : Springer, 2000. ISBN 3-7985-1219-1.

8 SEZNAM ZKRATEK

PET	Pozitronová emisní tomografie
SPECT	Jednofotonová emisní výpočetní tomografie
CT	Výpočetní tomografie
MR	Magnetická rezonance
EUS	Endoskopický ultrazvuk
UZ	Ultrazvuk
FDG	Fluorodeoxyglukóza
JKL	Jodová kontrastní látka
RF	Radiofarmakum
RTG	Rentgenové záření
keV	Kilo-elektronvolt
MBq	Mega-becquerel
EANM	European Association of Nuclear Medicine

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1: Seznam pracovišť, kde se v České republice nachází PET/CT
- Obrázek 2: Současné rozmístění PET/CT skenerů po území ČR
- Obrázek 3: Schéma PET
- Obrázek 4: Detektorový systém PET
- Obrázek 5: PET/CT scanner
- Obrázek 6: PET obraz, CT obraz a fúzovaný obraz
- Obrázek 7: SPECT/CT
- Obrázek 8: Současné rozmístění SPECT/CT skenerů po území ČR
- Obrázek 9: Seznam pracovišť, kde se v České republice nachází SPECT/CT
- Obrázek 10: PET/MR
- Obrázek 11: Současné rozmístění PET/MR skenerů po území ČR
- Obrázek 12: PET/MR - Prostata
- Obrázek 13: PET/MR - Epilepsie
- Obrázek 14: Počet vyšetření CT ve vybraném období 2007-2015
- Obrázek 15: Počet přístrojů CT ve vybraném období 2007-2015
- Obrázek 16: Počet vyšetření PET ve vybraném období 2009-2015
- Obrázek 17: Počet vyšetření PET/CT ve vybraném období 2009-2015
- Obrázek 18: Počet přístrojů PET/CT ve vybraném období 2007-2015
- Obrázek 19: Počet vyšetření SPECT ve vybraném období 2009-2015

Obrázek 20: Počet přístrojů SPECT ve vybraném období 2007-2015

Obrázek 21: Počet vyšetření SPECT/CT ve vybraném období 2009-2015

Obrázek 22: Počet přístrojů SPECT/CT ve vybraném období 2009-2015

Obrázek 23: Počet vyšetření MR ve vybraném období 2007-2015

Obrázek 24: Počet přístrojů MR ve vybraném období 2007-2015

Obrázek 25: Počet vyšetření PET/MR v roce 2015 a 2016

10 PŘÍLOHY

Příloha A: Informovaný souhlas

Příloha B: Anamnestický dotazník

Příloha C: Informace pro pacienta

Příloha D: Tabulky

Informovaný souhlas pacienta/pacientky s výkonem

18F-FDG PET/CT trupu

Vážená paní / vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu Vám bylo lékařem doporučeno vyšetření trupu pomocí PET/CT s radiofarmakem 18-FDG. PET/CT je moderní diagnostická metoda, která kombinuje dva vyšetřovací postupy. Pomocí pozitronové emisní tomografie (PET) lze získat informaci o funkčních vlastnostech tkání, pomocí počítačové tomografie (CT) informace o struktuře. Hlavními indikacemi 18-FDG PET/CT jsou nádorová onemocnění, horečnatá onemocnění nejasného původu a infekční onemocnění. Lze očekávat, že výsledek vyšetření ovlivní následný diagnosticko-terapeutický postup. Vyšetření nemá plnohodnotnou alternativu.

Vyšetření lze provést jen za předpokladu, že byla dodržena příprava, o které poučuje odesílající lékař a kterou připomínáme telefonicky den před vyšetřením.

Vyšetření je zahájeno stanovením hladiny krevního cukru, které obnáší vpich do špičky prstu a odběr kapky krve. Následuje zajištění žilního přístupu, obvykle zavedením periferního žilního katétru, tzv. hadičky. Do žíly je posléze aplikována vyšetřovací radioaktivní látka (18-FDG). Samotné vyšetření na přístroji PET/CT je zahájeno v odstavu 50-90 minut. Snímání je zahájeno skenováním CT, které je v indikovaných případech bezprostředně předcházeno nitrožilním podáním kontrastní látky. Následuje snímání PET. Snímání probíhá vleže na vyšetřovacím lůžku, po dobu vyšetření (až 30 min) je potřeba setrvat bez pohybu a respektovat pokyny personálu ONM. Po ukončení vyšetření je nutné setrvat na oddělení ještě dalších cca 30 minut.

Radiační zátěž spojená s vyšetřením je obdobná jako u většiny radiodiagnostických postupů. Radiofarmakum nemá žádné vedlejší účinky. Pro lepší CT zobrazení mohou být použity kontrastní látky. Perorální kontrastní látky jsou obvykle dobře snášeny. Určité komplikace se mohou objevit při použití intravenózní kontrastní látky. Nejčastější jsou alergické reakce, obvykle jde jen o lehké formy (pocit tepla, nevolnost, kýchání), vzácně může jít o vážné až život ohrožující komplikace. Intravenózní kontrastní látky také částečně zhoršují funkci ledvin, zejména u pacientů, u kterých byla funkce narušena již před vyšetřením.

Aby bylo možné snížit riziko možných komplikací, musíte před vyšetřením zodpovědně vyplnit tzv. anamnestický dotazník, který jste obdržel(a) společně s formulářem informovaného souhlasu.

Absolutní kontraindikací je těhotenství, pokud jste těhotná, nebo máte podezření, informujte nás o tom.

Po vyšetření se obvykle můžete plně zapojit do běžného života. Pokud se budete v den vyšetření pohybovat na místech s citlivými detektory záření (letiště, jaderná zařízení,...) vyžádejte si potvrzení o podstoupeném vyšetření. V den vyšetření je vhodné omezit těsný kontakt s dětmi a těhotnými ženami. V den vyšetření taktéž zvyšte příjem tekutin a častěji močte (snížíte tím negativní účinky vyšetřovacích látek na ledviny i celé tělo).

Zdroj: Nemocnice České Budějovice, a.s.

Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT

Jméno pacienta:

Rodné číslo:

Jste lačný(á)? – alespoň 6 hodin bez jídla	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
--	------------------------------	-----------------------------

Měl(a) jste někdy alergickou reakci na podání jodové kontrastní látky?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte alergii na jód?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte alergii na léky nebo kožní dezinfekci?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte jinou alergii? (např. potravinová, pyly, bodnutí hmyzem,...)	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte asthma bronchiale?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE

Máte cukrovku?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte závažné onemocnění ledvin se snížením jejich funkce?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte závažné chronické onemocnění jater?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte mnohočetný myelom?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte zvýšenou funkci štítné žlázy (hypertyreózu?)	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Máte naplánovanou léčbu radiojódem? (u onemocnění štítné žlázy)	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE

Podstoupil(a) jste operaci?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Kdy? Jakou?		
Podstoupil(a) jste chemoterapii?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Kdy byla ukončena?		
Podstoupil(a) jste ozáření (radioterapii)?	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
Kdy bylo ukončeno?		

U žen: Jsem těhotná nebo mám podezření	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
U žen: Kojím	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE

Mám strach z uzavřených prostor (klaustrofobii)	<input type="checkbox"/> ANO	<input type="checkbox"/> NE
---	------------------------------	-----------------------------

Zdroj: Nemocnice České Budějovice, a.s.

Informace a pokyny pro pacienty PET/CT v otázkách a odpovědích

Co je to PET/CT?

PET/CT je přístroj, který spojuje dvě vyšetřovací modalitty v jednu. Základem je pozitronová emisní tomografie (PET), při které je do žíly podáno malé množství radioaktivní látky a díky které lze prostorově zobrazit funkční vlastnosti orgánů a tkání. Při počítačové tomografii (CT) je tělo vystaveno rentgenovému záření, čímž lze získat přesnou informaci o struktuře tkání. V řadě případů je pro lepší CT zobrazení podána do žíly kontrastní látka.

Jak vypadá PET/CT vyšetření?

Před vyšetřením Vám bude ve většině případů kontrolně změřena hladina krevního cukru. Toto obnáší jen minimálně bolestivé bodnutí do špičky prstu a odběr kapky krve. Následně Vám bude do žíly zaveden žilní katétr („hadička“) a do něj bude aplikována vyšetřovací radioaktivní látka. Po aplikaci budete umístěni do čekacího boxu na pohodlné křeslo či lůžko. Zde v klidu vyčkáte na samotné vyšetření. V řadě případů budete popíjet větší množství tekutiny (tzv. perorální kontrastní látku). Na výzvu personálu se dojdete vymočit a odložíte si svrchní oblečení a kovové šperky a přistoupíte se k vyšetření na PET/CT přístroji. Obvykle v odstupu 50-90 minut od aplikace, ojedinele dříve, nebo dokonce bezprostředně po aplikaci. Při vyšetření na PET/CT přístroji bude v odůvodněných případech aplikována do žíly kontrastní látka. Vyšetření probíhá na lůžku, které se s Vámi bude v průběhu vyšetření posouvat detekčním prstencem PET/CT přístroje, tzv. tunelem. Po vyšetření budete umístěni do určené čekárny a po pokynu personálu PET/CT můžete oddělení nukleární medicíny opustit.

Jak dlouho celé vyšetření trvá?

Celé vyšetření zahrnuje přípravu před aplikací radiofarmaka, prodlevu mezi aplikací a samotným vyšetřením (až 90 min), samotné vyšetření na PET/CT přístroji (obvykle pod 30 minut) a čekání po vyšetření. Celkem je nutné počítat až se 3 hodinami!

Vzhledem ke skutečnosti, že radioaktivní vyšetřovací látka je vyráběna a dodávána externí firmou bezprostředně před Vaším vyšetřením, může se stát, že se dodávka opozdí nebo v extrémním případě nedorazí a tím dojde k opoždění (resp. zrušení) i Vašeho vyšetření. K obdobné situaci může dojít při náhlé technické poruše PET/CT přístroje. Obě situace jsou vzácné a v obou případech Vás prosíme o shovívavost. V případě potřeby Vám nabídneme co nejbližší možný náhradní termín.

Co mám dělat po vyšetření?

Po odchodu z oddělení se můžete plně zapojit do běžného života. Vyšetřovací látky na Vás nebudou mít žádný vliv. Množství radioaktivity ve Vašem těle bude malé a do druhého dne prakticky vymizí (část se rozpadne a část vymočíte, proto je vhodné zvýšit příjem tekutin). Pokud se budete bezprostředně pohybovat na místech, kde se používají citlivé detektory záření (jaderné elektrárny, letiště,...), vystavíme Vám na požádání potvrzení o absolvovaném vyšetření s podáním radioaktivní látky. Taktéž je vhodné udržovat do druhého dne odstup od dětí a těhotných.

Co se stane s výsledkem vyšetření?

Výsledek vyšetření bude poštou odeslán lékaři, který vyšetření doporučil.

Jak postupovat v případě těhotenství a kojení?

V případě těhotenství nebo při pouhém podezření informujte personál PET/CT ještě před injekcí vyšetřovací látky! Další postup bude volen individuálně.

Některé radioaktivní vyšetřovací látky se vylučují do mateřského mléka, proto v případě, že kojíte, informujte lékaře PET/CT a poradte se, jak postupovat, zda je nutné kojení přerušit a na jak dlouho.

Lze vyšetření provést u dětí?

Děti lze vyšetřovat. Redukuje se jak dávka aplikovaného radioaktivního radiofarmaka, tak dávka rentgenového záření CT, aby byla celková dávka záření co nejmenší. Nutná je minimální spolupráce dítěte ve smyslu vydržet bez pohybu po dobu snímání na PET/CT kameře (až 30 minut), v ostatních případech je nutná anestézie.

Mohu si s sebou vzít doprovod?

Samozřejmě ano, nikoliv však děti a těhotné. Doprovod Vás nemůže provázet celým vyšetřením, po injekci radioaktivní látky budete izolováni, Váš doprovod na Vás počká v čekárně. Pokud nejste zcela soběstační nebo jste omezeně mobilní, je dokonce doprovod žádoucí a může Vám být po dobu vyšetření k dispozici na personálem určeném místě.

Co mám udělat po příchodu do oddělení NM?

Po příchodu na oddělení nukleární medicíny se nahláste na recepci a předložte průkaz zdravotní pojišťovny. O dalším průběhu Vás bude informovat personál oddělení nukleární medicíny, který též zodpoví všechny Vaše další dotazy.

Vadí alergie na jodovou kontrastní látku?

Při vyšetření se v řadě případů aplikuje jodová kontrastní látka, alergie je tak relativní kontraindikací. U lehčích alergií může být v odůvodněných případech kontrastní látka použita, nutná je však specifická příprava, o které Vás poučí odesílající lékař. U těžších alergií je lepší se aplikaci kontrastní látky vyhnout.

Mám přestat užívat léky?

Naprostou většinu léků není potřeba vysazovat, výjimkou jsou ve většině případů léky na cukrovku. Pokud berete léky na epilepsii, v žádném případě je nevysazujte!

Co se ode mne očekává?

V první řadě se očekává, že se k vyšetření dostavíte včas! Vyšetřovací látka je dodávána k určitému času, a pokud se v daném čase nepoužije, je znehodnocena. Pokud se opozdíte, pravděpodobně nebudete vyšetřeni!

Taktéž pokud víte, že se k vyšetření nedostavíte, informujte nás o této skutečnosti co nejdříve.

K vyšetření se dostavte řádně připraveni, vezměte si s sebou jednoduché triko bez knoflíčků a kovových ozdob. Kovové šperky raději ponechte doma, před vyšetřením je budete muset odložit.

Pokud nejste plně soběstační, dostavte se s doprovodem.

Protože po aplikaci vyšetřovací radioaktivní látky se Vaše tělo stává po určitou dobu také radioaktivním, je potřeba této skutečnosti řadu věcí přizpůsobit. Po aplikaci radiofarmaka je nutné omezit kontakt s ostatními pacienty oddělení nukleární medicíny i jeho personálem. Proto budete umístěni do speciálního čekacího boxu, kde setrváte do samotného vyšetření. Pro Vaši bezpečnost budete monitorováni personálem PET/CT pomocí kamerového systému, vzájemně budete komunikovat pomocí komunikačního zařízení. I při samotném PET/CT vyšetření k Vám bude personál PET/CT přistupovat jen po nezbytnou dobu. Po vyšetření budete krátce přemístěni do určené čekárny, odkud můžete po pokynu personálu PET/CT dle vlastního uvážení odejít. Z oddělení odcházejte přímo, nikde se, prosím, zbytečně nezdržujte.

Samotné vyšetření (snímání) trvá do 30 minut a po tuto dobu je nezbytné vydržet ležet bez pohybu na vyšetřovacím lůžku. Toto je zcela nezbytný předpoklad úspěšně provedeného vyšetření. Lůžko se posouvá „tunelem“ PET/CT přístroje, proto pokud trpíte klaustrofobií, informujte o této skutečnosti personál oddělení nukleární medicíny již při příchodu na oddělení.

Je vyšetření nepříjemné?

Samotné vyšetření není nepříjemné, je však potřeba ležet po celou dobu snímání (max. 30 min) bez pohybu, obvykle s horními končetinami za hlavou. Jen minimálně bolestivý je odběr kapky krve po píchnutí do špičky prstu, zavedení kanyly („hadičky“) do žíly je obdobně bolestivé jako obyčejný odběr krve z žíly.

Je vyšetření bezpečné?

Radiační ozáření spojené s vyšetřením (aplikace radioaktivní látky a ozáření CT přístrojem) je nízké, obdobné jako u jiných rentgenových vyšetření.

Po podání radioaktivní látky ani při popíjení kontrastní tekutiny se komplikace prakticky nevyskytují. Jen po některých kontrastních tekutinách se může objevit průjem.

Komplikace se mohou objevit spíše po nitrožilním podání kontrastní látky. Nejčastěji jsou alergické, obvykle jen mírné (pocit tepla, kýchání, změny na kůži), vzácně mohou být závažné. U pacientů s narušenou funkcí ledvin může dojít k částečnému zhoršení. Pro minimalizaci nežádoucích komplikací přistupujeme u rizikových pacientů k preventivním opatřením, popřípadě kontrastní látku nepodáváme. V případě, že ve Vašem případě bude plánováno nitrožilní podání kontrastní látky, budete o tomto před vyšetřením informováni a dostatečně poučeni.

Musím se na vyšetření připravovat?

U většiny vyšetření je nezbytné dostavit se nalačno, tzn. 6 hodin před vyšetřením popíjet jen neslazené nápoje (voda, hořký čaj). K vyšetření byste se měli dostavit dostatečně zavodněni. Tři dny před vyšetřením omezte fyzickou námahu a den před vyšetřením a v den vyšetření se jí zcela vyhněte, je-li to možné. V den vyšetření se vyvarujte prochladnutí (v zimě se dostatečně oblékněte, pozor na klimatizaci v letních měsících). Buďte dostupní na telefonu, nejpozději v den před vyšetřením Vás budeme kontaktovat s připomínkou vyšetření i přípravy.

Jsem diabetik, jaká je u mne příprava?

U většiny vyšetření má příprava diabetika má dvě úrovně. První je dlouhodobá, cílem je, aby bylo onemocnění kompenzované. Se zvyšující se hladinou krevního cukru se totiž snižuje kvalita vyšetření a při hodnotách nad 11 mmol/l by mělo být odloženo – individuální přístup je možný jen do určité míry. Druhou úrovní je krátkodobá příprava. Stejně jako u pacienta bez cukrovky je nutné dostavit se nalačno, tzn. 6 hodin před vyšetřením nejíst, jen dostatečně pít neslazené nápoje (voda, hořký čaj). Obvykle je potřeba krátkodobě přerušit léčbu cukrovky (perorální antidiabetika, insulin), přesnou informaci obdržíte od odesílajícího lékaře.

Zdroj: Nemocnice České Budějovice, a.s.

Příloha D

POČET VYŠETŘENÍ	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CT	750 798	803 865	888 101	916 121	931 188	960 797	989 259	1 021 685	1 054 110	1 106 919
PET			2 280	2 424	2 544	2 394	2 287	2 221	2 155	1 620
PET/CT	220	0	15 904	17 461	20 772	26 493	24 110	25 557	27 004	31 599
MR	221 610	250 827	297 053	346 729	359 223	391 198	413 828	445 373	476 917	520 483
PET/MR									811	1 150
SPECT			145 932	138 740	148 380	138 342	134 288	131 269	128 249	119 896
SPECT/CT			11 804	21 832	26 728	31 225	37 311	37 006	36 700	46 206
POČET PŘÍSTROJŮ	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CT	128	130	139	146	154	157	156	154	175	169
PET	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PET/CT	3	4	6	7	7	7	9	9	9	13
MR	41	44	50	61	71	73	76	78	77	83
PET/MR									1	2
SPECT	81	81	83	82	87	85	84	87	89	79
SPECT/CT			11	20	20	23	29	32	35	38

Zdroj: Vlastní dle ÚZIS