



**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

**FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD**

**Ústav radiologických metod**

Zdeňka Ďulíková

**Možnosti využití F18 Fluorodeoxyglukózy a F18  
Fluoromethylcholinu u PET/CT diagnostiky karcinomu prostaty**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Miroslava Budíková, Ph.D.

Olomouc 2016

## ANOTACE

<b>Typ závěrečné práce:</b>	Bakalářská práce
<b>Téma práce:</b>	PET/CT
<b>Název práce v ČJ:</b>	Možnosti využití F18 Fluorodeoxyglukózy a F18 Fluoromethylholinu u PET/CT diagnostiky karcinomu prostaty
<b>Název práce v AJ:</b>	The possibility of using F18 Fluorodeoxyglucose and F18 Fluoromethylcholine in PET/CT prostate cancer diagnosis
<b>Datum zadání:</b>	4.10.2015
<b>Datum odevzdání:</b>	18.3.2016
<b>Vysoká škola:</b>	Univerzita Palackého v Olomouci
<b>Fakulta:</b>	Fakulta zdravotnických věd
<b>Ústav:</b>	Ústav radiologických metod
<b>Autor práce:</b>	Zdeňka Ďulíková
<b>Vedoucí práce:</b>	MUDr. Miroslava Budíková, Ph.D.
<b>Oponent práce:</b>	MUDr. Iva Metelková, Ph.D.
<b>Abstrakt v ČJ:</b>	<p>Cílem této přehledové bakalářské práce je předložit přehled o možnostech PET/CT vyšetření s využitím dvou radiofarmak: F18 Fluorodeoxyglukózy a F18 Fluoromethylholinu u diagnostiky karcinomu prostaty. Shrnout jejich příspěvek v diagnostice za pomoci řešerše odborných a vědeckých článků z českých i zahraničních publikací. Úvod práce popisuje Rtg záření a radiační ochranu. Dále se zaměřuje na princip PET/CT modality a užívaných radiofarmak, které jsou v jednotlivých kapitolách popsány technicky i medicínsky. Seznamuje s onemocněním karcinomem prostaty a jeho léčbou. Následně s přípravou a provedením vyšetření při využití obou radiofarmak. V závěru práce vyhodnocuje vhodnost použití uvedených radiofarmak pro diagnostiku tohoto onemocnění.</p>

**Abstrakt v AJ:**

The purpose of this review thesis is to present an overview of the possibilities of PET/CT scans using two radiopharmaceuticals, 18F- fluorodeoxyglucose and F18 - fluoromethylcholin, in prostate cancer, with the use of Czech as well as international research publications. The thesis begins with the description of the principles of X-ray radiation as well as radiation protection, moving on to the dynamics of PET/CT modality and radiopharmaceuticals in use, which are presented in a technical and medical way in separate chapters. The study further tackles the fundamentals of prostate cancer diagnosis and treatment, as well as it outlines ways of preparation and execution of tests using both radiopharmaceuticals. Finally, the thesis concludes with an evaluation of the appropriateness of use of the radiopharmaceuticals selected in the diagnosis of the disease.

**Klíčová slova v ČJ:**

PET/CT, karcinom prostaty, F18 Fluorodeoxyglukóza, F18 Fluoromethylcholin, PSA

**Klíčová slova v AJ:**

PET/CT, prostate cancer, F18 Fluorodeoxyglucose, F18 Fluoromethylcholine, PSA

**Rozsah práce:**

60 stran

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Přehled dohledaných informací</b> .....	<b>9</b>
2.1 Rtg záření .....	9
2.2 Radiační ochrana .....	11
2.3 PET/CT .....	14
2.3.1 CT .....	16
2.3.2 PET .....	20
2.4 Radiofarmaka .....	22
2.4.1 Fluorodeoxyglukóza .....	24
2.4.2 Fluoromethylcholin .....	26
2.5 Karcinom prostaty .....	27
2.6 PET/CT vyšetření .....	32
2.6.1 Příprava pacienta .....	32
2.6.2 Provedení PET/CT vyšetření .....	36
2.7 Zhodnocení vyšetření PET/CT .....	40
2.7.1 Využití Fluorodeoxyglukózy .....	40
2.7.2 Využití Fluoromethylcholinu .....	41
<b>3. Závěr</b> .....	<b>45</b>
<b>4. Seznam bibliografických a internetových zdrojů</b> .....	<b>47</b>
<b>5. Seznam zkratk</b> .....	<b>51</b>
<b>6. Seznam obrázků</b> .....	<b>53</b>
<b>7. Přílohy</b> .....	<b>54</b>

## **Poděkování**

Děkuji MUDr. Miroslavě Budíkové, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, cenné rady a trpělivost.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedených bibliografických a elektronických zdrojů.

Olomouc 18.3.2016 .....

.....

Zdeňka Ďulíková

# 1. Úvod

Zobrazovací metody mají nezastupitelné místo v medicíně z hlediska diagnostického i terapeutického. V dnešní době se neustále vyvíjí a zlepšuje technika, stejně tak se zkvalitňují diagnostické metody i zdravotní péče. Vyšetřovací metoda PET/CT s využitím radiofarmak F18 Fluorodeoxyglukózy a F18 Fluoromethylcholinu patří k nejmodernějším zobrazovacím metodám. Mají nezastupitelné místo v oblasti nukleární medicíny. Včasná diagnostika je prioritou při nastavení léčebného procesu u pacienta. Mnohdy umožní vynechat chirurgický zákrok, který by znamenal pro pacienta větší riziko. PET/CT je hybridním skloubením pozitronové emisní tomografie a multidetektorového CT. Umožňuje v jednom vyšetření nabýt data anatomická a současně funkční. Obě modalitivy se doplňují a napomáhají specifikaci diagnózy. PET/CT vyšetření se využívá v onkologii k diagnostice tumorózního ložiska, zhodnocení jeho biologické povahy, rozsahu nemoci, monitoraci terapie a detekci eventuální recidivy tumoru. V neurologii slouží v diferenciální diagnostice degenerativních onemocnění, k odhalení tumorózního nálezu a zacílení části mozku způsobující epileptické záchvaty. V kardiologii k diferenciaci viability srdce po infarktu myokardu a vyhodnocení efektu terapie chirurgické nebo transplantace kmenovými buňkami.

Na základě svých současných znalostí a zkušeností, týkajících se této modalitivy jsem formulovala základní problémy, kterým se věnuji ve své bakalářské práci:

1. Jaký je přínos použití F18 Fluoromethylcholinu oproti použití FDG u stagingu a restagingu PET/CT vyšetření karcinomu prostaty?
2. Jaký je výstup při použití F18 Fluoromethylcholinu pro pacienta a jeho léčbu?
3. Je PET/CT vyšetření F18 Fluoromethylcholinem u onemocnění karcinomu prostaty vhodnou metodou ke stanovení prognózy onemocnění při sledování PSA a bioptickém zacílení?

Z formulovaných problémů se odvíjí i korespondující cíle práce:

1. Sepsat dostupné poznatky k tematice a porovnat je.
2. Stanovení přínosu vyšetření a možností následné terapie pacienta.
3. Vyjádření vhodnosti preference vyšetření vztahující se k monitoraci a prognóze onemocnění.

Pro stanovení základních problémů a cílů bakalářské práce byla použita tato literatura:

- VOTRUBOVÁ, Jana, 2009. Klinické PET a PET/CT. 1. vyd. Praha: Galén, c2009, xi, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.
- FERDA, Jiří, Boris KREUZBERG a Milan NOVÁK, 2002. Výpočetní tomografie. 1. vyd. Praha: Galén, c2002, 663 s. ISBN 80-7262-172-6.
- FERDA, Jiří, 2015. Inovativní zobrazovací metody. Praha: Galén, 2015, 140 stran. ISBN 978-80-7492-186-5.
- VÁLEK, Vlastimil a Pavel ELIÁŠ, 1998. Moderní diagnostické metody. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1998, 84 s. ISBN 80-7013-2949.

Pro přehled dohledaných poznatků byla provedena rešerše z recenzovaných publikací a odborných článků. Pro jejich vyhledávání byly použity knižní databáze Ústřední knihovny University Palackého, Lékařské knihovny, knihovny Masarykova onkologického ústavu a databáze Medvik, Pub Med.

Základním vyhledávacím jazykem byl jazyk český, slovenský a anglický. Klíčová slova pro vyhledávání byla: PET/CT, karcinom prostaty, PSA, F18 Fluorodeoxyglukóza, F18 Fluoromethylcholin. Při použití těchto klíčových slov bylo nalezeno 15 bibliografických zdrojů, 24 článků v jazyce českém, 4 v jazyce slovenském a 73 v jazyce anglickém. Použito bylo 15 bibliografických zdrojů a 22 článků. Vyhledané a prostudované články, které nebyly použity pro tvorbu práce, zpravidla neodpovídaly požadavkům na strukturu práce nebo se odchylovaly od tématu kapitol, případně z důvodu shody informací s knižní literaturou.



## 2. Přehled dohledaných informací

### 2.1 RTG záření

#### Historie

Německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen změnil náhodným objevem celou medicínu. Prováděl 8. listopadu 1895 experimenty s katodovými trubnicemi. V blízkosti trubice ležel papír s fluorescenčními krystalky, který při každém výboji trubice začal světélkovat. Když vyměnil krystalky za fotografickou desku, došlo ke zčernání filmu. Zjistil, že trubice produkuje neviditelné záření - paprsky X. Objevil, že materiály různé tloušťky propouští záření odlišně. První rentgenový snímek je snímek ruky jeho manželky. Za objev, který si patentoval, v roce 1901 obdržel Nobelovu cenu za fyziku. (Navrátil et al., 2005, s. 304; Chudáček, 1993, s. 12-13)

#### Vlastnosti RTG záření

RTG záření je elektromagnetické vlnění o vlnové délce  $10^{-9} - 10^{-11}$  m.

Vlastnosti RTG záření:

- efekt fotochemický - neutrální atomy vznikají přeměnou iontů stříbra a bromu
- efekt luminiscenční - světélkování - vybuzený atom se vrátí do neexcitovaného stavu a energie je vyzářena světlem (světélkující látky = luminofory)
- účinky biologické
- intenzita ubývá se čtvercem vzdálenosti
- neviditelné, šíří se přímočaře
- ionizuje - ionizace je událost, kdy je z atomu vyražen elektron, ostatní elektron mohou vyvolat ionizaci sekundární
- proniká vakuem i hmotou - zeslabováno absorpcí, tvorbou párů elektronů a rozptylem. (Vomáčka, Nekula a Kozák, 2012, s. 13; Chudáček, 1993, s. 15-20)

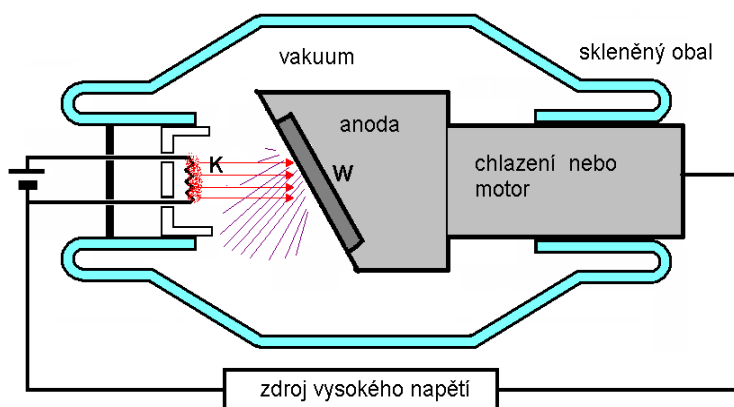
#### Zdroj RTG záření

V radiodiagnostice je RTG záření získáváno z rentgenky. Části rentgenky: vnitřní část, kryt a vysokonapěťové kabely.

*Vnitřní část* se skládá ze skleněné vakuované trubice, která obsahuje dvě elektrody - kladnou anodu a zápornou katodu. Katoda z wolframu je žhavená a způsobuje termoemisi. Po vzniku anodového napětí letí elektrony od katody k anodě, na kterou dopadnou. Po dopadu elektronů se zhruba 99 % energie přemění v teplo a zbytek 1 % v RTG záření.

(Navrátil et al., 2005, s. 308; Chudáček, 1993, s. 15-16)

Obrázek 1 - Schematický řez rentgenkou. K - žhavené vlákno katody, W - wolframová destička.



(Mornstein, 2009)

Druhy rentgenového záření:

- *Brzdné* - urychlené elektrony, které letí z katody na anodu. Jsou prudce brzděny a energie je přeměněna na kvantum fotonového záření.
- *Charakteristické záření* - urychlené elektrony vyrazí elektron z vnitřních vrstev obalu. Vzniká prázdné místo, které ihned obsadí elektron z vyšších vrstev. Při tomto přesunu z vyšší vrstvy na nižší je uvolněno kvantum rentgenového záření.

(Navrátil et al., 2005, s. 310-312; Hušák et al., 2009, s. 31)

*Kryt* rentgenky je z hliníku, vnitřek z olova. Prostor mezi krytem a rentgenkou vyplňuje olej, který cirkulací rentgenku chladí. Výstupní okénko obsahuje hliníkový filtr, kterým vychází primární záření z anody. Filtr zachycuje nežádoucí záření, které by zhoršovalo kvalitu RTG obrazu.

*Vysokonapěťové kabely* jsou dva elektrické obvody. Zajišťují napájení ze zdroje do rentgenky. (Vomáčka, Nekula a Kozák, 2012, s. 16; Chudáček, 1993, s. 48, 58-59)

## 2.2 Radiační ochrana

Radiační ochrana je celosvětově nastavena požadavky legislativy institucí Mezinárodní komise radiologické ochrany (ICRP), Mezinárodní atomové agentury (IAEA) a Evropskou unií.

V České republice je radiační ochrana ustanovena dokumenty:

*Atomový zákon (zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření) a vyhláška č. 307/2002 o radiační ochraně.*

Dodržování všech požadavků týkající se radiační ochrany je kontrolováno Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) a Státním ústavem radiační ochrany (SÚRO).

(Hušák et al., 2009, s. 11)

### Veličiny radiační ochrany

- *Aktivita radioaktivní látky  $A$*  se rovná počtu radioaktivních přeměn  $dN$  za jednotku času  $dt$  v látce. Vyjádřena v ( $\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$ ).  $A = dN/dt$
- *Absorbovaná dávka  $D$*  se rovná poměru střední energie  $de$ , která je sdělena objemovému elementu látky o hmotnosti  $dm$ . Vyjádřena v  $\text{Gy}$  ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).  $D = de/dm$
- *Dávkový příkon  $D$*  je vyjádřen přírůstkem dávky  $dD$  za čas  $dt$ . Vyjádřen v ( $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ ).  $D = dD/dt$
- *Kerma  $K$*  je využívána u nepřímo ionizujícího záření (rentgenové a gama záření). Definuje ji poměr  $dE_k$ , který je součtem počátečních kinetických energií všech nabitých částic, jenž jsou uvolněny nenabitými ionizujícími částicemi v daném objemovém elementu látky s hmotností  $dm$ . Vyjádřena v  $\text{Gy}$ .  $K = dE_k/dm$
- *Kermový příkon  $K$*  je vyjádřen přírůstkem kermy  $dK$  za čas  $dt$ . Vyjádřen v ( $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ ).  $K = dK/dt$
- *Ekvivalentní dávka  $H_T$*  se rovná součinu radiačního váhového faktoru  $w_R$  a střední absorbované dávky  $D_{TR}$  v orgánu nebo tkáni zapříčiněného ionizujícím zářením typu R. Vyjádřena v Sievert (Sv).  $H_T = w_R \cdot D_{TR}$

- *Radiační váhový faktor*  $w_R$  je dedukován od relativní biologické účinnosti RBÚ. RBÚ je poměr dávek dvou druhů záření potřebných pro vyvolání téhož biologického účinku.

$$w_R = 1 \qquad 1\text{Sv} = 1\text{Gy}$$

- *Dávkový ekvivalent*  $H$  vyjadřuje součin absorbované dávky v určitém bodě tkáně  $D_T$  s bezrozměrným jakostním činitelem  $Q$ .

$$\text{Vyjádřen v Sievert (Sv).} \quad H = D_T \cdot Q$$

- *Jakostní činitel*  $Q$  vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření.  $Q$  je dán druhem záření, hodnotou stanovenou RBÚ sloužící pro radiační ochranu.

- *Efektivní dávka*  $E$  se rovná součtu součinů tkáňových váhových faktorů  $w_T$  a ekvivalentních dávek  $H_T$  ve tkáních a orgánech T, které byly ozářeny.

$$\text{Vyjádřena v Sv (mSv).} \quad E = \sum w_T \cdot H_T$$

- *Tkáňový váhový faktor*  $w_T$  informuje o rozdílné radiosenzitivitě v orgánech a tkáních s následnými stochastickými účinky.

(Hušák et al., 2009, s. 15-23; Freitinger, 2011)

### **Biologické účinky**

Radiační ochrana dělí biologické účinky ionizujícího záření na živé organismy: stochastické a deterministické.

- *Stochastické účinky*

Účinky bezprahové, i jediná ionizace může narušit DNA a vyvolat zhoubné bujení a genetické mutace (leukémie, sarkomy).

- *Deterministické účinky*

Účinky prahové, jejichž riziko roste se zvyšující se dávkou. Překročení prahu se projeví akutní nemocí z ozáření, poškozením fertility, kataraktou a chronickou radiační dermatitidou.

(Hušák et al., 2009, s. 39)

## Principy radiační ochrany

Radiační ochrana se snaží eliminovat stochastické účinky na přijatelnou míru a zabránit nástupu deterministických účinků pomocí principů radiační ochrany.

Principy:

- *Zdůvodnění* - riziko ozáření je zdůvodněno přínosem.
- *Optimalizace* - radiační ochrana stanovuje, aby riziko ohrožení bylo nízké a zároveň sloužilo k získání co nejkvalitnější diagnostické informace.
- *Nepřekročení limitů* - nastavené limity se nesmí překračovat. Netýká se lékařského ozáření. (Hušák et al., 2009, s. 63-66)

Obecné limity a limity pro radiační pracovníky jsou:

- Efektivní dávka za rok je 50 mSv.
- Efektivní dávka za 5 po sobě jdoucích let je 100 mSv.
- Ekvivalentní dávka v oční čočce je za rok 150 mSv.
- Ekvivalentní dávka pro končetiny za rok je 500 mSv.
- Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm<sup>2</sup> kůže je 500 mSv.

(Hušák et al., 2009, s. 43)

Způsoby ochrany před ionizujícím zářením: ochrana časem, vzdáleností a stíněním

(Hušák et al., 2009, s. 64, 66).

## 2.3 PET/CT

PET/CT je hybridním skloubením pozitronové emisní tomografie a multidetektorového CT (Votrubová et al., 2009, s. 28).

Obě modalities postupně snímají pacienta. Nejdříve je nasnímán topogram, při kterém vyšetřovací stůl projede CT skenerem. Tato projekce slouží k nastavení snímané oblasti. Následuje CT a PET snímání. Na akvizici CT vyšetření plynule navazuje 3D PET emisní snímání. Akvizice PET probíhá v sekvencích - beds (postele), která je snímána 3 minuty. Pak je lůžko posunuto a pokračuje snímání. Beds se musí krýt, jelikož detekce PET skeneru klesá na jeho periferii. CT a PET obraz lze fúzovat. Fúzi usnadňuje samotný PET/CT skener svým hardwarem. Zvětšené PET snímky jsou posazeny na CT obrazy. Tím je dosaženo fúze. Na klasifikačním zařízení lze hodnotit data PET a CT zvlášť nebo hybridně. Fúze anatomických obrazů CT a funkčních obrazů PET umožňuje anatomickou i kumulační lokalizaci pozitronového radiofarmaka. Dále CT slouží ke korekci absorpce anihilačních fotonů v organismu pomocí atenuační mapy. Přiměřená korekce na zeslabení pomáhá rozdílnou absorpci anihilačních fotonů (způsobenou artefakty, které ztěžují hodnocení obrazu) likvidovat. Artefakty na CT jsou způsobeny: kovovými implantáty, kardiostimulátory, kontrastními látkami - vysoce koncentrovanými, respiračními pohyby pacienta, pohybem pacienta při vyšetření, špatnou kalibrací os PET a CT. Artefakty jsou způsobeny nižší nebo vyšší aktivitou v daném prostoru odlišnosti Hounsfieldových jednotek. (Votrubová et al., 2009, s. 44, 46) Registrovaný obraz lze fúzí hodnotit v barevné stupnici, kde má daný druh modality svoje zbarvení (Kupka et al., 2007, s. 57). CT má škálu šedi, PET barevné spektrum. Používá se možnost prolínání snímků. Výhodou fúze je výtěžnost hodnocení s další modalitou, jakou je magnetická rezonance, což zlepšuje diagnostický výstup z PET/CT vyšetření. (Votrubová et al., 2009, s. 41-43) Při hodnocení výsledků vyšetření je stanovována SUV (kvantifikační údaj). Jedná se o aktivitu v organismu, která je stanovena pomocí kritérií: váha a výška pacienta, aktivita a čas aplikovaného radiofarmaka. (Votrubová, 2009, s. 16) SUV je vztah aplikované aktivity dané hmotností pacienta a tkáňové objemové aktivity (Votrubová et al., 2009, s. 53). Hybridní skenery PET/CT jsou perspektivou nukleární medicíny. Jejich instalace se neustále rozšiřuje. Skenery mají rychlejší výkon s možností aplikace co nejnižší aplikované dávky. Z toho vyplývající nižší radiační zátěž pro pacienta. Více je rozlišení patologie pod 2 mm, hradlované vyšetření srdečního a dýchacího rytmu. Významný postup dosáhla nukleární medicína instalací hybridních

skenerů PET/MR. (Kupka et al., 2007, s. 57) Radiační zátěž pacienta z PET/CT vyšetření s 18F FDG: 17 mSv (CT 10 mSv, PET 7 mSv) (Koranda et al., 2014, s. 31).

## Rekonstrukce

Rozložení radiofarmaka v organismu lze matematickou rekonstrukcí zobrazit trojrozměrně (Koranda et al., 2014, s. 31). Pomocí transaxiálních řezů jsou rekonstruovány osy koincidenčních čar. Vytvořit je možné řezy sagitální, koronární a transversální. Nejvíce se dosud uplatňovala metoda filtrované zpětné projekce. V hodnocení nálezu bylo nevyhnutelné zohlednit odlišnosti akumulace radiofarmaka v patologickém nálezu a močovém měchýři ve srovnání s tkáněmi. Docházelo k hvězdicovitým artefaktům, které ztěžují hodnocení snímků. Tato metoda byla nahrazena iterativní rekonstrukční technikou. Ta je zbavena již zmíněných artefaktů. Nejčtenější iterativní metoda je nazvána OSEM. (Votrubová et al., 2009, s. 16)

- *Filtrovaná zpětná projekce* - projekce sinogramu (dráhy pohledu) se prezentují ve stejných úhlech, ale obráceně. Numero v projekci je sumarizováno k obrazu souběžně s již načtenou čarou. Vzniklý snímek je nepřesný díky hvězdicovitému artefaktu. Projekční filtrace je cesta, kdy je sinogram filtrován a následně pokračuje filtrovaná zpětná projekce. Připočítáním záporných čísel v úseku artefaktu se vzniklý artefakt ruší. Tato metoda je rychlá, není složitá, ale dochází ke zvýšení šumu. Tím je hodnocení snímků obtížnější.
- *Iterativní rekonstrukční technika* - slouží ke korigování snímacích nedostatků. Pomocí homogenizačního obrazu opakovaně dochází k opravě chyb v projekcích. Lze se opřít o výstup z jiné zobrazovací modalitě a tím zlepšit korekci. Tato rekonstrukční technika je využívána až v poslední době, jelikož jsou kladeny vysoké požadavky na počítačové zázemí a hodnotící kroky. (Kupka et al., 2007, s. 50-51)

## Vizualizace dat

Hodnocením PET vyšetření vzniknou tři rozsahy dat. Jsou souborem informací - voxelů, které seznamují s výsledkem. Jedna data sdělují o aktivitě radiofarmaka bez korekce, další o aktivitě korigované a poslední o koeficientu absorbce. Další možností je CT, které je výhodné ke korekci. Počítačové vyhodnocovací stanice dávají prostor k použití MIP (maximum intensity projections). Umožňuje trojrozměrný rotující obraz pacienta, na němž je výrazně vidět patologický nález. Automatická je hybridní fúze dvou modalit. (Votrubová et al., 2009, s. 16)

### 2.3.1 CT

#### Historie

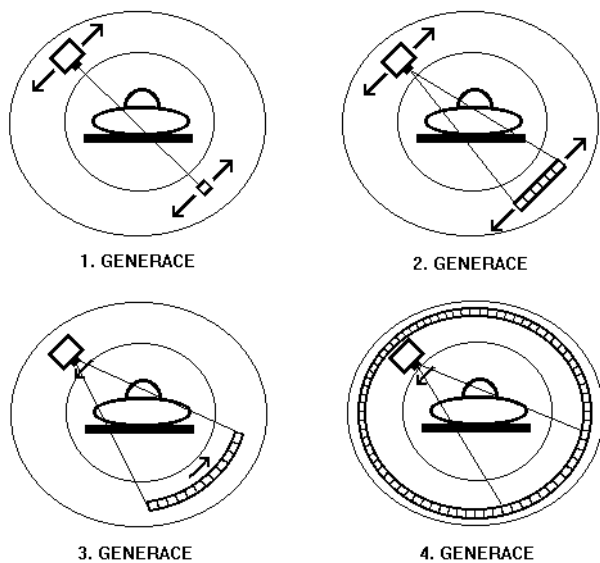
V roce 1963 objevil CT Allan MacLeod Cormack. Roku 1972 fyzik Godfrey Newbold Hounsfield sestrojil CT pro lékařské účely. V roce 1979 byli oba oceněni Nobelovou cenou. (Válek et al., 1998, s. 6)

Výpočetní tomografie lze zařadit do čtyř generací:

- *První generace* - jeden detektor, který se i s rentgenkou pohyboval v půlkruhu okolo pacienta.
- *Druhá generace* - více detektorů, rozšířený svazek a kratší čas expozice.
- *Třetí generace* - užívané nejvíce, detektory (až 1000) rotují s rentgenkou okolo pacienta.
- *Čtvrtá generace* - nerozšířily se, detektory v kruhu a pohyb jen rentgenka.

(Válek et al., 1998, s. 13-14)

Obrázek 2 - Čtyři generace CT



(Mornstein, 2009)

V medicíně jsou nyní používány dva typy CT přístrojů - konvenční a spirální. *Konvenční* typ nemá kontinuální rotaci, stůl s pacientem se pohybuje jen mezi jednotlivými skeny. Pohyby bloku skenů jsou protisměrné. *Spirální (helikální)* typ byl rozvinut na začátku 90. let. Rentgenka a detektory jednou expozicí kontinuálně rotují pomyslnou šroubovicí kolem stolu s pacientem, zasouvajícím se do gantry. Snímání je dáno dobou od 0,5-2 sekund/otáčkou rentgenky o 360°. Nejnovější přístroje jsou konstruovány systémem více řad detektorů umístěných vedle sebe - multi slides CT. (Válek et al., 1998, s. 14-15)



## Princip CT obrazu

Principem metody je zeslabování rentgenového záření pronikajícího do tkání. Poté je záření zachyceno detektory, které ho přetransformují na elektrický signál a odesílají do počítače ke zpracování. Data o zeslabení (pod rozdílnými úhly) jsou získávána rotací rentgenky a detektoru okolo pacienta. Výsledkem je matice, jejíž body jsou rovny Hounsfieldově škále (HU). Pomocí HU s odstupňovaným odstínem šedi lze určit hustotu tkání. CT obraz tvoří matice složená z čtverců - pixelů. Výstup CT obrazu tvoří kvádry - voxely. Voxel má hustotu vyjádřenou Hounsfieldovými jednotkami. Hustota tkání je vztažena k pohlcování rentgenového záření ve vodě (hustota vody 0 HU, vzduch -1000 HU a kompaktní kost +1000).

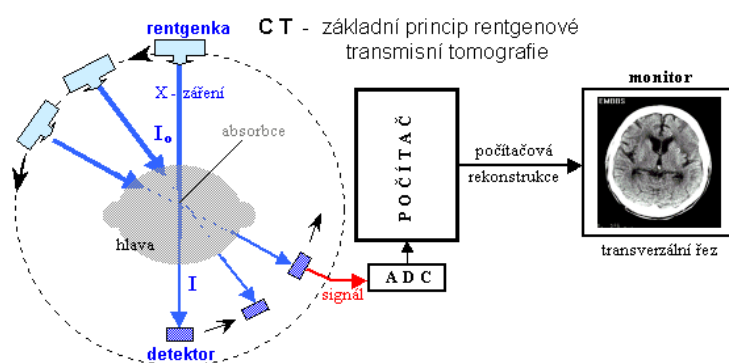
$$\text{denzita (HU)} = \frac{\mu_{\text{mat}} - \mu_{\text{vody}}}{\mu_{\text{vody}}} \cdot 1000$$

(absorpční koeficient oslabení tkáně -  $\mu_{\text{mat}}$ , absorpční koeficient oslabení vody -  $\mu_{\text{vody}}$ )

Lidské oko rozliší zhruba 20 odstínů šedé barvy, proto je při CT nastaveno okénko. Střed okénka je nastaven dle typu vyšetření. Tkáň, která má hustotu nad hranicí okénka je zobrazena bíle, pod hranicí okénka černě.

(Válek et al., 1998, s. 6-9; Votrubová et al., 2009, s. 21-22; Nekula et al., 2001, s. 19; Vomáčka, Nekula a Kozák, 2012, s. 42; Ferda, Kreuzberg a Novák, 2002, s. 13)

Obrázek 3 - Rentgenová počítačová tomografie CT



(Ullmann, 2015)

## Postup při vyšetření

### Topogram

Vyšetření odstartuje výběr protokolu, podle kterého bude probíhat. Základním krokem je topogram - plánovací sken (pilot-view, toposken, surviev), při kterém se posouvá stůl s pacientem. Rentgenka a detektory jsou bez pohybu. Topogram je sumační snímek v předozadní projekci. Podle něj je zvolen rozsah snímání, které probíhá v axiálních (transverzálních) řezech. Počítačová technika na sebe řezy naskládá. Nasnímaný obraz lze prohlédnout v koronární i sagitální rovině. (Vomáčka, Nekula a Kozák, 2012, s. 44; Válek et al., 1998, s. 15-16)

### Skenovací parametry - primární

Řídí se principem radiační ochrany - optimalizací. Nutností je nastavení parametrů snímání. Ovlivňují hrubá data a tím kvalitu rekonstrukce.

- *Napětí* - stanoveno od 120 do 140 kV.
- *Expozice* - rozmezí 50-750 mAs.
- *Kolimace* - tloušťka vrstvy - optimální 1-10 mm (konsensus mezi radiační zátěží pacienta a nepřetěžovat rentgenku).
- *Rotační perioda* - doba = 1 sekundě, za kterou dojde k jedné rotaci detektorů a rentgenky okolo pacienta.
- *Pitch faktor* = poměr rychlosti pohybu stolu a kolimace. Má hodnotu 1,0-2,0.

(Válek et al., 1998, s. 16-18; Ferda, Kreuzberg a Novák, 2002, s. 15-16)

### Obrazové parametry - sekundární

Sekundární parametry slouží k úpravě Raw dat (hrubá data) po skenování.

- *Matrix* - počet bodů matice - 512 x 512 bodů.
- *FOV* - velikost zobrazovaného pole - rozlišovací schopnost.
- *Rekonstrukční algoritmus* - kernel, filtr - zdůrazňuje přechody denzit.
- *Rekonstrukční increment* - veličina překrývání obrazu.

(Válek et al., 1998, s. 18-19; Ferda, Kreuzberg a Novák, 2002, s. 16, 18)

## **Kontrastní látky**

Kontrastní látka je podávána intravenózně, je-li požadavek zvýraznit orgánový parenchym a cévy. Distribuuje se ledvinnou exkrecí a pokračuje do biliárních cest. Aplikace kontrastní látky probíhá injektorem o průtoku 1-8 ml/s. Podané množství se pohybuje v rozmezí 60-150 ml o koncentraci jódu 300-400 mgJ/ml. Je naprosto zásadní provádět rozbor anamnézy pacienta. Kontrastní látka může vyvolat alergické reakce. Zjišťují se všechny alergie, onemocnění ledvin, včetně hladiny kreatininu, hypertyreóza - zde hrozí způsobení tyreotoxikózy a selhání srdce. Nově se také musí vysadit u diabetiků perorální antidiabetika obsahující metforminové preparáty, aby nedošlo ke zhoršení renálních funkcí. Nežádoucí reakce na podání kontrastní látky intravenózně: teplo v organismu, pocit sucha v ústech, pocit na močení, nauzea, zvracení, kožní vyrážka a zarudnutí, dušnost až anafylaktický šok. Druhy kontrastních látek: hypodenzní (vzduch), hyperdenzní (jodové nebo baryové), izodenzní (voda). Při podání hyperdenzní kontrastní látky je pacientovi připraveno k perorálnímu užití 1-2 litry naředěné kontrastní látky. Příprava pacienta: 6 hodin lačnit, aplikace kanyly do žilního systému.

(Válek et al., 1998, s. 19-23; Votrubová et al., 2009, s. 32-34; Nekula et al., 2001, s. 27-28; Ferda, Kreuzberg a Novák, 2002, s. 18-22; Vomáčka, Nekula a Kozák, 2012, s. 70)

## **Postprocessing**

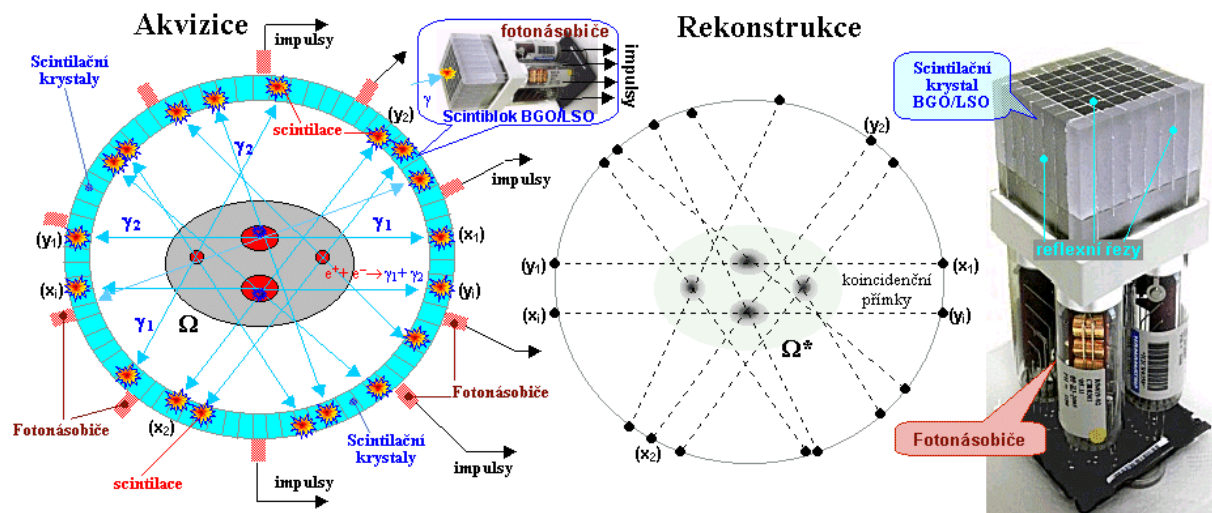
Postprocessing se provádí po ukončení vyšetření. Softwar CT dává možnost tvorby obrazové rekonstrukce (dvourozměrné nebo trojrozměrné) a multiplanárních rekonstrukcí (MPR), které jsou zhotoveny z trojrozměrných dat - poté přímo odesílaných do PACS. Multiplanární rekonstrukce: MIP (data vyšších denzit), SSD (technika povrchového stínování) a VRT (prostorové zobrazení). (Válek et al., 1998, s. 27-28; Votrubová et al., 2009, s. 37-40; Vomáčka, Nekula a Kozák, 2012, s. 44-45; Ferda, Kreuzberg a Novák, 2002, s. 27)

## 2.3.2 PET

### Historie

V roce 1951 vědci Sweet a Wrenn ukázali možnosti anihilačního záření vytvořením prvního skeneru. Následoval vícedektorový systém roku 1962, roku 1968 koincidenční zapojení detektorů, roku 1970 filtrovaná zpětná projekce - Chesler. Roku 1973 Phelps sestrojil PETT-I a 1974 s Hoffmanem vytvořili PETT-III pro lékařské účely - vše řízeno počítačem. PETT-III obsahoval 48 NaI(Tl) detektorů. Tyto detektory absorbují záření o energii 511 keV velice málo. V roce 1975 byly nalezeny BGO krystaly (bismuth - germanát), které jsou základnou pro PET skener. Do současnosti přetrvává prstencovitě poskládání bloků detektorů BGO. Rok 2001 přináší LSO krystaly (lutecium oxyorthosilikát) a GSO krystaly (gadolinium oxyorthosilikát), které umožňují kratší a efektivnější scintilaci. První PET vyšetření v České republice proběhlo v Praze v Nemocnici Na Homolce roku 1999. V roce 2003 nastává doba vzniku hybridních PET/CT skenerů. (Bělohávek et al., 2004, s. 7-9; Kupka et al., 2007, s. 53)

Obrázek 4 - Princip PET



(Ullmann, 2015)

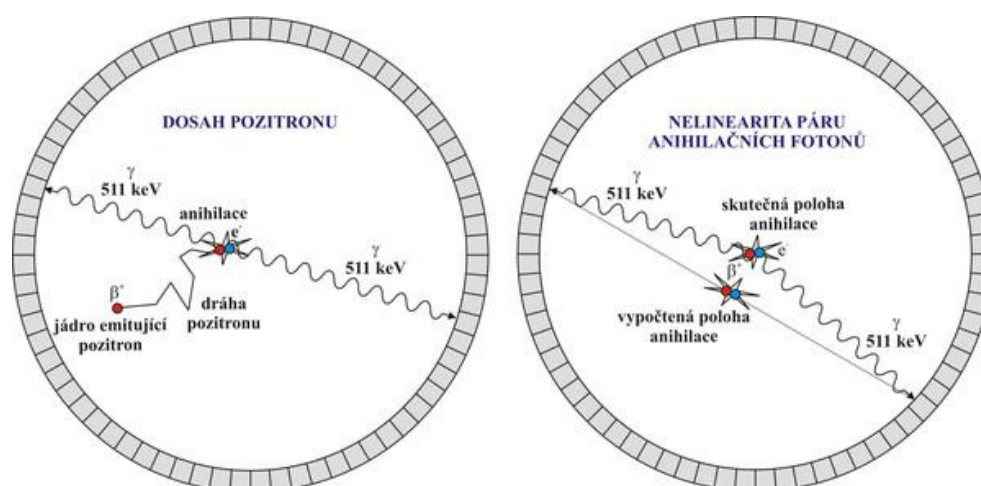
### Princip PET

Přístroj PET je sestaven z desítek tisíc detektorů, které tvoří stabilní kruh okolo pacienta. Principem je koincidence fotonů anihilace o energii 511 keV. Je to proces, který je založen na  $\beta$  plus přeměně protonu na neutron. Neutron vyzáří kladný pozitron radioaktivního

zářiče. Pozitron emituje a reaguje s elektronem - vzniká anihilace - do opačných směrů vyletí o energii 511 keV dva fotony. Fotony se pohybují rychlostí světla. Dopadnou zároveň na opačném místě téměř po přímce. Impulz je zachycen v detektorech přístroje, dále koincidenčním obvodem a časovým okně. Tato detekce je umožněna elektronickou kolimací, která zvýší citlivost tím, že zamezí zániku fotonů v septech kolimátoru. Poté počítač rekonstruuje distribuci radiofarmaka z těla pacienta trojrozměrným obrazem. Rozlišovací možnost je 5-8 mm. PET zobrazuje patologický nález v organismu dříve, než nastanou změny morfologické.

(Votrubová et al., 2009, s. 13-14; Bělohlávek et al., 2004, s. 10; Tichý, 2009, s. 46-49; Koranda et al., 2014, s. 30-31; Kupka et al., 2007, s. 53-55)

Obrázek 5 - Anihilace



(Koranda, 2015)

### PET/CT přístroj - komponenty

PET/CT tvoří tři hlavní části:

- aparatura PET gantry (samostatné detektory, elektronika)
- aparatura CT gantry (detektory, chladicí zařízení, rentgenka, aparatura pro pohyb detektorů)
- vyšetřovací stůl (zajistí režim pohybu pacienta do přístroje).

Ovladovna: ovládací konzola, ovládání aplikačního injektoru, dorozumivací zařízení, kamerový dohled, řídicí počítač s akvizitní jednotkou.

(Válek et al., 1998, s. 12-13; Kamínek, 2011)

## 2.4 Radiofarmaka

Nukleární medicína používá radiofarmaka pro diagnostiku i terapii pacientů. Radiofarmaka jsou nuklidy s poločasem rozpadu krátkým (minuty až hodiny) nebo dlouhým (dny až týdny). Jsou chystána v nemocnicích dle potřeby. Radiofarmaka jsou chemicky čisté látky. Informují o aplikovaných sloučeninách - jejich distribuci, metabolismu, kinetice a vylučování. Jsou tvořena radionuklidem - nosičem. Nosič je aktivní látka, která v organismu pacienta splňuje potřebné vystupování léčiva. Radionuklid je zdroj ionizujícího záření, který je následně detekován. (Koranda et al., 2014, s. 17; Kupka et al., 2007, s. 31)

Související pojmy:

- *Atomové jádro* tvoří nukleony. Nukleony se skládají z protonů (kladně nabitě částice) a neutronů (částice bez elektrického náboje).
- *Nuklid* obsahuje atomy, které jsou tvořeny jádry stejného složení, mají stejný počet protonů a nukleonů - nuklid tvoří jeden izotop.
- *Izotopy* jsou nuklidy, obsahující stejný počet protonů a jiný počet nukleonů. Mohou být stabilní nebo radioaktivní. (Kusala, 2004)
- *Radionuklid* je nestabilní nuklid. Radionuklidy mají různý poločas přeměny. Jsou vyráběny uměle pro nukleární medicínu v cyklotronu. (Ullmann, 2015)
- *Radioaktivita* je fenomén, při němž se jádra atomů daného prvku spontánně přeměňují na jádra jiného prvku. Zároveň je vydáno záření o vysoké energii. Radioaktivita = počet radioaktivních přeměn jádra v dané jednotce času. Vyjadřuje se v becquerelech (Bq). Násobné jednotky jsou: kBq, MBq, GBq.
- *Radioaktivní přeměna* je dána přeměnovou konstantou, která sděluje pokles aktivity exponenciálně v čase. (Koranda et al., 2014, s. 14; Hušák et al., 2009, s. 15)
- *Poločas přeměny* je čas, ve kterém se přemění polovina atomů a aktivita klesne na polovinu. Platí vztah:  $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ . (Hušák et al., 2009, s. 15) Je dělen na fyzikální a biologický. Jejich výsledkem je efektivní poločas - časový údaj, kdy se z organismu pacienta radiofarmakum vyloučí na polovinu. (Koranda et al., 2014, s. 12, 21)
- *Objemová aktivita* se stanovuje u objemových zdrojů - jednotkou je  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  (Hušák et al., 2009, s. 16).

## **Cyklotron**

Cyklotron slouží k výrobě radionuklidů, jejichž využití se nachází v zobrazovací metodě PET. Jejich chemické složení umožňuje označovat sloučeniny blízké lidskému organismu. Plusem těchto radionuklidů je malá radiační zátěž a kvalitní zobrazovací výstup. Mínusem cyklotronu jsou velké finanční náklady a limitace rozvozu radiofarmak poločasem rozpadu. (Votrubová et al., 2009, s. 16) Proto je v nejhodnější míře využíváno  $^{18}\text{F}$ , díky poločasem rozpadu 110 minut. Prvky s krátkými poločasy rozpadu jsou téměř nevyužívány. Cyklotrony jsou většinou situovány v PET centrech. (Koranda et al., 2014, s. 17) Cyklotron slouží jako urychlovač protonů. Pozitronové radionuklidy vyžadují přidat do jádra protony. Proto je třeba provést urychlení na vysokou energii (keV až MeV). Protony jsou magnetickým polem urychlovány po trati rotací po cyklické trase na vysokou sílu. Protonový svazek poté letí na terčíkovou hmotu. Síla protonů dává možnost odezvy. Nastává radiační uváznutí protonu. Radioaktivní jádra, obsahující nadbytek protonů, se roztrhávají elektronovým uváznutím. Nazývají se cyklotronové radionuklidy. (Ullmann, 2015) Radionuklid je extrahován chemickým postupem. Ozářený terč roztaje v kyselém či alkalickém roztoku. (Kupka et al., 2007, s. 31)

## **Práce s radioaktivními látkami**

Radiofarmaka jsou radionuklidové zářiče. Práce s nimi je riziková. Proto je nutné dodržovat zásady dané legislativou pro bezpečnou manipulaci a uchovávání, aby riziko kontaminace pracovníka nebo pracoviště bylo minimální. (Koranda et al., 2014, s. 22-23; Kupka et al., 2007, s. 34)

## **Legislativa**

Základy legislativy spojené s radiační bezpečností:

- Zákon č.18/197 Sb., o mírovém využití jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon)
- Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně. (Hušák et al., 2009, s. 9)
- Vyhláška SÚJB č. 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu (SÚJB, Vyhláška č. 318/2002 Sb. ve znění zákona č. 13/2002 Sb.)

Základy legislativy, které jsou spojené s radiofarmaceutickými přípravky:

- Zákon č. 378/2007 Sb., o léčivech a změnách některých souvisejících zákonů - Český lékopis 2009 - Doplněk 2013 (Kupka et al., 2007, s. 34)

### **Kontrola kvality radiofarmak**

1. *Aktivita radiofarmaka* - vymezuje se v kalibrátoru aktivity opatřené ionizační studnovou komorou

2. *Radiochemická čistota* - procentuální část chemické látky v úhrnu aktivity přípravku (chromatografická zkouška)

3. *Radionuklidová čistota* - procentuální část aktivity radionuklidu v úhrnu aktivity přípravku (spektrometrické měření)

4. *Sterilita* - prohlašuje výrobce

5. *Apyrogenita* - LAL test. (Kupka et al., 2007, s. 34; Koranda et al., 2014, s. 22)

### **Kontrola kvality přístrojů na nukleární medicíně**

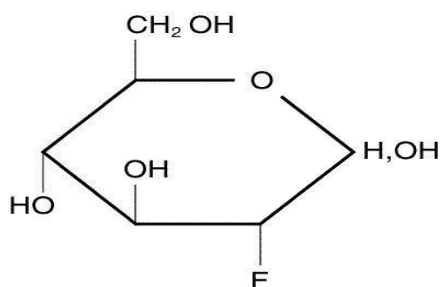
Kvalitní provedení vyšetření na oddělení nukleární medicíny je zajištěno vykonáváním pravidelných zkoušek, které kontrolují detekční kritéria. Tyto zkoušky jsou zaznamenávány v materiálech stanovených SÚJB. Zkouška energetické kalibrace, centra rotace a homogenity snímaného pole. (Koranda et al., 2014, s. 36)

#### **2.4.1 Fluorodeoxyglukóza**

Pro vyšetření PET je zásadní použít pozitronové zářiče. Jsou vyráběny v lékařském cyklotronu. Nejvíce je využívána <sup>18</sup>F Fluorodeoxyglukóza s poločasem rozpadu 110 minut. Tato délka poločasu rozpadu umožňuje zářič transportovat na delší vzdálenost. Proto nejsou všechna PET pracoviště vybavena cyklotronem pro jejich výrobu. <sup>18</sup>F Fluorodeoxyglukóza je nazývána molekulou století. (Votrubová et al., 2009, s. 16-17; Bělohlávek et al., 2004, s. 8; Koranda et al., 2014, s. 17, 150-151; Kupka et al., 2007, s. 31, 53-55)



Obrázek 6 - Molekula století



(Bakala, 2003)

Vědci Miloslav Černý a profesor Josef Pacák z University Karlovy analyzovali sloučeniny. Roku 1968 vytvořili prototyp molekuly století. Objev zveřejnili roku 1969 v článku o syntéze 2-deoxy-2-(18F)fluor-D-glukózy. Molekula měla být transportérem léků do maligních buněk. V roce 1976 byli vědci osloveni k prodeji objevu doktorem Drellem z La Jolly z Kalifornské university. S prodejem souhlasili, protože nenašli využití svého objevu. S odstupem času došlo ve vývoji k označení molekuly radioizotopem F18. Následoval prudký start PET metody. (Bakala, 2003)

### **Fluorodeoxyglukóza (FDG) - farmakokinetika**

FDG je do buňky dopravena bílkovinami transportu. Dopravní bílkoviny mají různou vazbu ke glukóze. Jsou variabilně znázorněny na různých buňkách. FDG je analogem 2-deoxyglukózy. Zářičem je izotop 18F, který je vyroben v cyklotronu. Analog, který docestuje do cílové buňky je fosforylován hexokinázou ve formě glukózy-glukózo-6-fosfát a 2-FDG-6-fosfát. V buňce se vychytá 2-FDG-6-fosfát, ale nemetabolizuje. Zároveň dochází k opačné odezvě díky enzymu glukóza-6-fosfatáza. Následkem odezvy je FDG mírně odnesena z buňky. FDG v organismu bojuje s glukózou, aby obsadila co nejvíce hmoty k fosforylaci. Maligní buňky vykazují navýšení transportérů inzulín non dependentních. Dochází k růstu tempa fosforylace a poklesu úrovně glukózo-6-fosfatázy. Tím je možno dosáhnout vyšší akumulace v maligních buňkách. Z těchto podmínek vyvstávají požadavky na přípravu před vyšetřením. Je nutné lačnit 6 hodin, aby hodnota glykémie byla co možná neoptimálnější. Tím se kompetice FDG s glukózou pro odpověď hexokinázovou sníží co nejméně. Vyšší hodnota glykémie má za následek špatné odlišení malignity od krevního prostředí - FDG je zanesena do svalů. Nízká hodnota glykémie umožňuje lepší hodnotící parametry. Zánět v organismu má za následek větší akumulaci FDG. Je nutné ho odlišit

od malignity. Fyziologie vyloučení FDG: močový systém - do moči, nervózní pacienti - kumulace na krku a v okolí paravertebrálních svalů v tukové složce (hnědém tuku), šedá kůra mozková - glukóza je energie, kostní dřev - po léčbě cytostatiky, svaly - po větší tělesné zátěži. (Votrubová et al., 2009, s. 16-17; Bělohlávek et al., 2004, s. 16; Tichý, 2009, s. 46-49; Koranda et al., 2014, s. 150-151; Kupka et al., 2007, s. 56)

#### **2.4.2 Fluoromethylcholin – farmakokinetika**

Pro slučování fosfolipidů je využíván bioaktivní cholin. Tvoří výživu potřebnou ke vzniku membrán buňky a její obnovy. Je základním stavebním kamenem při tvorbě fosfolipidových membrán. Prostupuje rychle buňkami, zde je fosforylován a pak přijat do fosfatydlcholinu. Slouží jako signál při stoupající syntéze membrán buňky. Tam, kde je ve větší míře cholin kumulován, informuje o tempu buněčného zdvojení. Přínosem je malá exkrece do moči. Toho lze využít při snímání prostaty, která je v blízkosti močového měchýře. Z tohoto důvodu byl vyvinut <sup>18</sup>F Fluoromethylcholin (derivát cholinu značený <sup>18</sup>F) s poločasem rozpadu 109,8 minut. Farmakokinetika je podobná jako <sup>11</sup>C Methylcholin, který má poločas rozpadu 20 minut. <sup>11</sup>C Methylcholin má nižší exkrece do moči než <sup>18</sup>F Fluoromethylcholin, ale pro krátký poločas rozpadu je prakticky nemožné ho použít mimo centra s cyklotronem. Proto dominuje v Evropské unii použití <sup>18</sup>F Fluoromethylcholinu. Akumuluje v nádorech, které nezužítkovávají glukózu. Fyziologicky je vychytáván v játrech, pankreatu, ledvinách, nadledvinách a slinných žlázách. Patologicky se vychytává v karcinomu prostaty a jeho metastázách, hepatocelulárním karcinomu, adenomech nadledvin a příštítných tělísek. (Ferdová et al., 2014, s. 22-29; Bělohlávek a Jarolím, 2012, s. 205-213; Votrubová et al., 2009, s. 18; Koranda et al., 2014, s. 151; Kupka et al., 2007, s. 152)

## 2.5 Karcinom prostaty

### Topografie pánve muže

*Peritoneum* jde ze zadní strany močového měchýře dopředu do jámy na rektum, excavatio rectovesicalis. Přečází ve směru dna pánevního v septum rectovesicale. Z boku vstupuje okolo rekta na os sacrum. Močovod v pánvi - pars pelvica ureteris - vchází do pánve od vasa iliaca communa, dále vasa iliaca interna, nervus obturatorius, vasa obturatoria a zatáčí k močovému měchýři. Močovod je v místě vstupu do močového měchýře křížen chámovodem - ductus deferens. (Grim, Druga a Stingl, 2002, s. 77)

*Prostata (předstojná žláza)* je orgán nepárový, zhruba jako kaštan. Apex prostaty nasedá na diaphragma urogenitale. Basis prostaty je upevněna na močovém měchýři. Zadní část nasedá skrze septum rectovesicale k rektu. Přední část směřuje na symfýzu. Přes spatium retropubicum je upevněna ligamenta puboprostatica. Laterálně hraničí s musculus levator ani. Prostatu lemují velké venózní zásobení - plexus venosus prostaticus. Obal je capsula periprostatica. Je tvořena: třemi laloky - centrální, periferní a přechodná zóna ze žlázek, 30-50 tuboalveolárními žlázami, vazivem a hladkým svalem. Centrální zóna tvoří 25 %, periferní má obrys podkovy a tvoří 70 % - často je místem původu karcinomu prostaty, přechodná zóna tvoří 5 %. Benigní hypertrofie prostaty vychází z hyperplazií žláz přechodní zóny. (Naňka, Elišková a Eliška, 2009, s. 210-211) Žlázky prostaty tvoří výměšek, který je důležitý pro oplodnění vajíčka spermii při ejakulaci. Zahrnuje prostaglandiny, zinek a polyaminy. (Naňka, Elišková a Eliška, 2009, s. 210; Grim, Druga a Stingl, 2002, s. 77; Holibková a Laichman, 2010, s. 88) Cévní a nervové zásobení zajišťují větve: arteria rectalis media, arteria vesicalis inferior, arteria pudenda interna a nervus pudendus. Lymfatická drenáž: nodi lymphatici iliaci interni, nodi lymphatici sacrales. (Naňka, Elišková a Eliška, 2009, s. 211)

*Urethra maskulina* vycházející z močového měchýře je součástí prostaty (pars prostatica). Pokračuje krátkou pars membranacea urethrae napříč diaphragma urogenitale lemována musculus sphincter urethrae externus. Ductus deferens vychází z anulus inguinalis profundus a přetíná vasa epigastrica inferior, vasa iliaca externa, nervus obturatorius a vasa obturatoria směrem ventrálním od ureteru. (Grim, Druga a Stingl, 2002, s. 77) Dále protíná závěr ureteru, roztahuje se v ampulu a splyne s vyústěním vesiculae seminales v ductus ejakulatorius vcházející do prostaty. Ampuly chámovodů s excavatio rectovesicalis vyznačují trigonum interampullare (plocha trojúhelníku) kopírující trigonum vesicae močového

měchýře. Radix penis je upevněn na diaphragma urogenitale a os pubis, vepředu vychází skrotum. (Grim, Druga a Stingl, 2002, s. 78)

## **Epidemiologie**

Dle záznamů ze statistiky vyplývá, že onemocnění karcinom prostaty má rostoucí tendenci v celém světě. Za karcinomem plic zaujímá druhé místo v příčině smrti mužů na onkologické onemocnění. Incidence onemocnění na 100 000 mužů je 119 a úmrtí 28 mužů (Národní onkologický registr). Oproti incidenci před dvaceti roky je počet onemocnění karcinomem prostaty trojnásobný. Úmrtnost na toto onemocnění se třikrát snížila. Roli ve snížení úmrtnosti způsobily preventivní prohlídky pomocí vyšetření specifického prostatického antigenu - PSA a současná léčba. Nynější léčbou je dosaženo skoro 100% přežití po léčbě v horizontu pěti let oproti dřívějším 68 %.

## **Diagnostika**

Diagnostika rakoviny prostaty spočívá ve vyšetření přes konečník (per rektum) a vyšetření krve na antigen PSA. Informuje o riziku vzniku rakoviny prostaty. Zvýšená hladina PSA může mít i jiný důvod - zánět prostaty, cystoskopie, situace po masáži prostaty, hyperplazie prostaty ve vztahu k věku. Dalším krokem ke stanovení diagnózy je biopsie prostaty přes konečník pod ultrazvukovou kontrolou. Biopsie histopatologicky potvrdí diagnózu.

## **Prevence**

Prevence tohoto onemocnění je zkoumána pomocí studií, které sledují význam ovlivňujících faktorů. Jsou to: strava, léky, doplňky stravy, životní prostředí, kouření, zvýšená konzumace masa, nedostatek zeleniny, ovoce, vitamínu D a přemíra vápníku. Studie jsou prováděny užíváním studiových léků i placebo. Dalším rizikovým faktorem je genetická zátěž. Pokud je karcinom prostaty diagnostikován u bratra nebo otce je riziko 2,5x vyšší. Jsou-li karcinomem prostaty nemocní dva členové rodiny je riziko 3,5x vyšší. V těchto případech je vhodné provádět prevenci primární (zdravý životní styl) i sekundární (preventivní programy). Prevence spočívá v aktivním vyšetřování genetickou poradnou ve stanoveném režimu. Důležitým faktorem je věk a rasa muže. Výskyt karcinomu prostaty je po 65. roce života 65 %. U Afroameričanů je větší výskyt než u bělochů (nejvíce Skandinávci), nejmenší u Asiatů. Preventivní vyšetření pomůže zjistit přibližně 70 % nádorů

na základě zvýšených hladin PSA. Díky následné léčbě spočívající v operaci, ozařování nebo hormonoterapii dochází ke snížení úmrtnosti.

### **Příznaky**

Příznaky onemocnění: časté močení v noci i ve dne, únik moči, obtížné močení, slabý proud, krev ve spermatu či moči, bolesti zad, úbytek na váze, únava, bledost, otoky dolních končetin. (Král, 2012)

### **PSA**

Prostatický specifický antigen (PSA) je produkován prostatickými žlázami - složením bílkovina. PSA se soustřeďuje ve spermatu, malý zlomek je odpoután do krve. PSA se v krvi vyskytuje ve větším množství, pokud je prostata zasažena onemocněním. Hodnoty PSA jsou vázány na věk pacientů. Ve věku 60-69 let je hodnota PSA 4,0 ng/ml fyziologická. Pacient ve 40 letech s touto hodnotou je vyšetřován pro patologický výsledek. Hodnotí se podíl volného a vázaného PSA. Podíl nad 25 % je fyziologický, podíl pod 10-15% patologický. Hodnota PSA je ovlivněna zánětem močového ústrojí, retencí moče, nezhooubnou prostatickou hyperplazií. (Lipusová, 2014, s. 22-26)

### **Per rectum vyšetření**

Vyšetření pohmatem zjistí u 18 % pacientů karcinom prostaty. Karcinom je pohmatově kostrbatý a tuhý. Následuje ultrazvukové vyšetření a biopsie prostaty ke stanovení klinické klasifikace. (Král, 2012)

### **Biopsie prostaty**

Biopsie se provádí přes konečník pod ultrazvukovou kontrolou. Příprava spočívá v profylaxi antibiotiky, vyprázdnění konečníku. Léky regulující krevní srážlivost jsou vysazeny 5 dnů před biopsií. Lokalizace ultrazvukem a lokální anestezie předchází odběru vzorků. Odebíráno je 10-12 vzorků. Provádí se ambulantně, případně za jednodenní hospitalizace. Krvácení, krev ve spermatu, zánět a retence moči mohou být komplikací. Nutná je zvýšená hydratace a klidový režim. Odebrané vzorky jsou histopatologicky zpracovány do 10 dnů. U karcinomu prostaty je stanoveno Gleasonovo skóre. Riziko onemocnění je rozděleno do třech skupin: nízké, střední a vysoké. Pomocí CT pánve, scintigrafie skeletu a RTG plic je následně stanovena prognóza a léčba. (Král, 2012)

*Gleasonovo skóre*: škála od čísla 2 do 10 - čím více, tím agresivnější růst karcinomu.

<b>Gleasonovo hodnocení</b>	<b>Rozlišení nádoru</b>	<b>Riziko místní progresse do 10 let (%)</b>
4 a méně	dobré	25
5 - 7	střední	50
nad 7	špatné	75

Nastavení léčby závisí:

- a. histopatologický nález a klasifikace
- b. stádium nemoci
- c. biologický stav pacienta
- d. další onemocnění
- e. přání pacienta

Dle stádia rozlišení nádoru se určuje stádium 1-5. Gleasonovo skóre je dáno součtem dvou nejrozsáhlejších stádií a tím dojde k nárůstu čísel 2-10. (Dušek, 2014)

Postup klinické praxe se dělí na pozorné vyčkávání a aktivní sledování.

- *Pozorné vyčkávání* (watchful waiting) bylo zavedeno již před nastavením sledování PSA. Spočívá ve sledování a odstartování léčení, jakmile dojde ke zjištění příznaků onemocnění. Léčba je paliativní. Jedná se o hormonální léčení, aplikace zářičů k analgesii. Tento režim se týká pacientů starších, při malé agresivitě karcinomu, je-li předpokládána doba přežití 10 let.
- *Aktivní sledování* je konzervativní postup u pacientů s nízkým rizikem. Význam spočívá v odsunutí nežádoucích účinků radikální terapie (únik moči, porucha erekce). Pacient je kontrolován zhruba v tříměsíčních intervalech - vyšetření per rektum a PSA. V případě zhoršujících se výsledků je nastavena radikální léčba.

### **Radikální léčba**

Radikální prostatektomie je indikována u pacientů s předpokladem délky života 10 let. Záměrem operačního řešení je odnětí prostaty s karcinomem, následně vytvoření spojení močové trubice s močovým měchýřem. Následky operace jsou inkontinence a erektilní dysfunkce.

- *Otevřená radikální prostatektomie* - operace je vedena zhruba deseticentimetrovým řezem přes břicho, nad sponou stydkou, je odstraněna prostata a lymfatické uzliny pánve.
- *Laparoskopická radikální prostatektomie* - laparoskopická operace, kdy pomocí krátkých řezů do břicha je nástroji odňata prostata a případně lymfatické uzliny.
- *Robotická radikální prostatektomie* - robotické nástroje pomocí malých vpichů jsou zavedeny do břicha, reprodukuje pohyb rukou lékaře a zvětšeně převádí ve 3D obrazu operační pole. Operace umožňuje menší poškození erektilních cév, nervů a svalů ovlivňující inkontinenci.

### **Komplikace po radikální operaci prostaty**

Vyskytují se časně a pozdně. Časně jsou: krvácení s následnou aplikací transfúze, zranění rekta, trombóza, plicní embolie. Pozdní jsou: inkontinence a porucha erekce. Doporučeno je cvičení k posílení pánevního dna - Kegelovy cviky a všechny obtíže řešit s lékařem za účelem jejich zmírnění či odstranění. Monitorace po radikální prostatektomii spočívá v doživotních kontrolách. Sledován je antigen PSA a per rektum vyšetření v intervalu třech měsíců do roku po operaci. Interval je protahován a následná monitorace probíhá jedenkrát ročně. Hladina PSA po operaci by měla být nulová. Pokud dochází k nárůstu, je nutno zařadit k radioterapii operačního pole eventuálně hormonální terapii. (Král, 2012)

### **Léčba pokročilého karcinomu prostaty**

Léčba spočívá v operativním řešení nebo radikální radioterapii. Radioterapie může být spojena s hormonálním léčením. Hormonální léčba je indikována 3-6 měsíců před radioterapií a následně 3 roky po ozařování. Výsledkem je přežití až 10 let u 60 % pacientů. V současné době je zhruba 10 % pacientů diagnostikováno i s metastázami. Karcinom prostaty v 90 % onemocnění metastazuje do kostí. Růst karcinomu je podpořen hormonem testosteronem. Hormonální léčba zamezuje jeho produkci. Jedná se o kastracní léčbu. Chirurgická terapie spočívá v odnětí varlat. Následně probíhá aplikace injekcí v tříměsíčním intervalu zastavující produkci testosteronu. Další možností je podávání androgenů. Androgeny způsobí mužskou menopauzu. V případě rezistence na kastracní léčbu je zahájena chemoterapie. Další možností je účast v klinických studiích zaměřených na imunoterapii. Pacienti s kostními metastázami (projevující se bolestmi) jsou léčeni aplikací léků, které zmenší lokální bolest a vyztuží kost. Tím je omezen původ možné fraktury kosti. Pacienti užívají podpůrně vápník a vitamín D. Bolest je možné eliminovat paliativní radioterapií a aplikací radioaktivních látek, které likvidují maligní buňky v kostech - samarium, alfaradin. Následná péče probíhá

v ambulancích zabývajících se léčbou bolesti. (Král, 2012) Protonová terapie je metodou možnosti léčby pacientů s karcinomem prostaty. Přínos terapie je identický jako fotonové terapie IMRT technikou. (Odrážka, 2014)

## **2.6 PET/CT vyšetření**

### **2.6.1 Příprava pacienta**

Hybridní vyšetření PET/CT vyžaduje dodržení přípravy pacienta k vyšetření. Příprava pacienta na obě vyšetření probíhá současně, propojuje se.

#### *Objednání na vyšetření*

Pacient je telefonicky objedнан na vyšetření, souběžně je zaslána žádanka na vyšetření poštou nebo faxem. Žádost k vyšetření obsahuje: data o pacientovi - jméno, příjmení, rodné číslo, pojišťovna, telefonní kontakt, váha, výška, alergie, zda je diabetik, způsob dopravy na vyšetření, mobilita, onemocnění klaustrofobií, diagnóza, zda bude mít žilní vstup zajištěn a jeho specifikace, důvod požadavku, výsledky předchozích vyšetření, renální funkce - hodnota kreatininu v krvi, požadavek na podání kontrastní látky intravenózně či nikoliv, požadavek na provedení nízkodávkového protokolu nebo plnohodnotného CT, kontakt na odesílajícího lékaře. Pacient je kontaktován pracovníky PET centra a informován o přesném čase vyšetření. Je mu upřesněna příprava na vyšetření. S diabetiky je individuálně prodiskutována otázka jídla, užití léků a aplikace inzulínu. (Tichý, 2009, s. 46-49) Pacient obdrží informační letáček, kde je edukován o přípravě, průběhu a jak se chovat po vyšetření. Je mu doporučeno, aby se 2 dny před vyšetřením zdržel fyzické zátěže. Zásadní informace týkající se doby po ukončení vyšetření jsou: pokud byly podány léky, které vylučují možnost řízení automobilu, je třeba toto omezení dodržet, pokud pacient používá jednorázové pomůcky, musí s nimi nakládat dle návodu - jeden den skladovat v igelitovém obalu a pak likvidovat jako běžný odpad. V případě návazné cesty letadlem na vyšetření je pacientovi předáno potvrzení o aplikaci radioaktivní látky, z důvodu možnosti detekce radiace detektory na letišti. Po skončení vyšetření je doporučeno vyhnout se styku s lidmi, zvláště s dětmi a gravidními ženami. (Řehák, 2015)



### *Lačnění*

Pro obě modalitty je společné 6 hodinové lačnění, což je podstatou řádně uskutečněného a vyhodnoceného vyšetření.

### *Hydratace*

Zvýšená hydratace v den vyšetření je nezbytná. Hydratace je zásadní pro kvalitní kumulaci radiofarmaka, minimalizaci radiačního zatížení organismu a předcházení eventuálního vzniku nefropatií po podání kontrastní jodové látky nitrožilně. Pacient před a v průběhu vyšetření pije pouze neslazené tekutiny.

### *Glykemie*

Pro vyšetření s Fluoromethylcholinem není nutný odběr glykemie. Hladina glykemie nehraje žádný faktor při ovlivnění hodnocení vyšetření. Pro vyšetření s Fluorodeoxyglukózou je nezbytná kompenzace hladiny glykemie do 10 mmol/l. Diabetici jsou kompenzováni ošetřujícím lékařem. Glykemie je kontrolována pacientovi než dojde k aplikaci radiofarmaka, odběrem kapky krve z prstu.

### *Střevní příprava*

Zajištěna kontrastní hyperosmotickou látkou per os. Zajistí odlišení střeva od naléhajících orgánů a peritoneálního tuku. Pacient pije v čase 60-90 minut před snímáním naředěnou kontrastní látku - 40 ml obohacených 300 mg/ml jodu v litru vody. Pokud je nutno zdůraznit orální část zažívacího traktu, pacient vypije kontrastní látku před začátkem vyšetření při ulehnutí na lůžko přístroje. Kontrastní perorální látka může způsobit průjem.

### *Antialergická příprava*

Pacient užije 1-2 tablety Dithiadenu před vyšetřením. Případně 200mg Prednisonu 3x v 6 hodinových intervalech nebo je mu aplikováno 200mg Hydrokortisonu nitrožilně 60 minut před vyšetřením a pak opakovaně před začátkem vyšetření. V případě alergie na kontrastní jodové látky je pacient vyšetřen za asistence lékaře anesteziologa, je individuálně premedikován. Jodová kontrastní látka se nepodává u pacientů s thyreotoxikózou, kdy je předpokládána léčba radioaktivním jodem. Pacienti rizikováni: věk nad 70 let, děti do 15 let, asthma bronchiale, polyvalentní alergie, renální nedostatečnost, předchozí reakce na podanou kontrastní jodovou látku, mnohočetný myelom, diabetes mellitus, pacienti s transplantovanou ledvinou, po operaci a selhávání srdce.

### *Zavedení kanyly intravenózně*

Kanyla je pacientovi zavedena nitrožilně před aplikací radiofarmaka. Zavádí se kanyla 22G či 20G do žíly v kubitě či hřbetu ruky. Je možno použít centrální žilní katetr a angiodynamický port. Následuje propláchnutí 10 až 20 ml fyziologického roztoku.

(Votrubová et al., 2009, s. 46-48)

### *Aplikace radiofarmaka*

Připravená radioaktivní injekce je vložena před aplikací do wolframového stínění a následně do petomobilu (stíněné olověné úložiště radioaktivní injekce). Tím se minimalizuje radiační zátěž personálu. (Tichý, 2009, s. 46- 49)

- Fluorodeoxyglukóza je aplikována 60-90 minut před snímáním. Aplikovaná aktivita je zhruba 370 MBq/70kg. (Votrubová et al., 2009, s. 48)
- Fluoromethylcholin je aplikován 45-120 minut před snímáním. Aplikovaná aktivita je 2 MBq/kg. (Ferdová et al., 2014, s. 22-29)

Obrázek 7 - Aplikační místnost



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

Obrázek 8 - Petomobil - stíněné úložiště radioaktivní injekce



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

Obrázek 9 - Transportní pouzdro na radioaktivní injekci s wolframovým stíněním



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

Po aplikaci je pacient vyzván k tomu, aby v akumulční době radiofarmaka minimalizoval pohyb a odpočíval v kabině. Důvodem je, že neklidný pacient má hnědý tuk zvýrazněn a radiofarmakum je více distribuováno v pažích a krku. V této době pije kontrastní látku per os. (Votrubová et al., 2009, s. 48)

### *Speciální příprava*

Pokud pacient trpí bolestí, je nutné vyřešit tlumení bolesti tak, aby vydržel celý průběh vyšetření komfortně. V případě, že by nebylo možné zvládnout vyšetření klaustrofobického pacienta nebo malého dítěte, je provedeno za přítomnosti lékaře anesteziologa a týmu. Zajistí částečnou nebo celkovou anestezii. Rodičům je umožněno být po celou dobu s dítětem. Jestliže pacientka kojí, musí přestat kojit po vyšetření na 24 hodin z důvodu kontaminace mateřského mléka radiofarmakem a minimalizovat kontakt s dítětem. (Řehák, 2015)

#### **2.6.2 Provedení vyšetření PET/CT s FDG a Fluoromethylcholinem**

Pacient před vyšetřením obdrží informovaný souhlas, který stvrdí podpisem, aby mohlo být vyšetření provedeno.

Radiologický asistent připraví pacienta k vyšetření. Pro vyšetření s FDG je pacientovi změřena glykemie. Pro vyšetření s Fluoromethylcholinem není nutné měřit hladinu glykemie. Asistent zavede intravenózně kanylu. Podle ordinace lékaře podá premedikaci a perorální kontrastní látku. Lékař prodiskutuje s pacientem informace o onemocnění a terapii. Provede intravenózní aplikaci radiofarmaka. (Tichý, 2009, s. 46-49)

- Fluorodeoxyglukóza akumuluje 60-90 minut před skenováním (dle ordinace lékaře) (Votrubová et al., 2009, s. 48-49).
- Fluoromethylcholin akumuluje 45-120 minut před skenováním (dle ordinace lékaře) (Ferdová et al., 2014, s. 22-29).

Před uložením pacienta na vyšetřovací stůl je komunikačním systémem vyzván k vyprázdnění močového měchýře. Následně je provedeno vyšetření - snímání. Pacient je umístěn do polohy na zádech, ruce má za hlavou. Vyšetřované pole je normalizováno od baze lební do třísel včetně. Lze rozšířit o vyšetření končetin a hlavy. Za účelem vyšetření s podáním kontrastní látky intravenózně je pacient připojen na přetlakový injektor. Poté je propláchnuta hadička ke kontrole intravenózního vstupu. (Tichý, 2009, s. 46-49) Nejprve je nasnímán topogram CT. Následně podána kontrastní látka intravenózně a proběhne CT vyšetření. V případě nemožnosti podání kontrastní látky intravenózně z důvodů rizikových či kontraindikačních, je CT vyšetření provedeno bez aplikace kontrastní látky intravenózně. Parametry CT protokolu jsou přednastaveny s možností změny dle požadavku lékaře. Kontrastní látka je aplikována o objemu 80-100 ml s jodovou koncentrací 300-400 mg/ml o rychlosti průtoku 1-6 ml/s po ohřátí na teplotu organismu v ohřívacím zařízení. Rychlost je stanovena lékařem a požadavky vyšetření. Poté je pacient odpojen od přetlakového injektoru a následuje PET skenování. Vyšetřovací stůl s pacientem se pohybuje po ose X, snímání sekvenčním

systémem. Axiální oblast má rozsah 15 cm a sekvence (beds) se následně potahují. Čas sekvence je 3-5 minut. Dle délky pacienta se jejich počet pohybuje mezi 5-7. (Votrubová et al., 2009, s. 48-49) Po skončení vyšetření je pacientovi ponechána nitrožilní kanyla po dobu 30 minut. Z důvodu případné reakce na podání kontrastní jodové látky intravenózně. Po uplynutí této doby následuje odstranění kanyly. Pacient je propuštěn z vyšetření s připomenutím dostatečné hydratace a omezení kontaktu s lidmi v den vyšetření.

(Tichý, 2009, s. 46- 49; Votrubová et al., 2009, s. 47)

Obrázek 10 - Pracovní stanice



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

Obrázek 11 - Vyšetřovna PET/CT



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

Obrázek 12 - Ohřívač intravenózní kontrastní látky



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

Obrázek 13 - Automatický injektor - aplikátor kontrastní látky intravenózně



(zdroj: Masarykův onkologický ústav, Brno, Nukleární medicína - PET centrum)

## 2.7 Zhodnocení vyšetření PET/CT

### 2.7.1 Zhodnocení možnosti využití FDG v diagnostice karcinomu prostaty

Karcinom prostaty je tumor, který je typově dělen na nediferencovaný a diferencovaný. Nádory nediferencované zvýšeně akumulují FDG díky vyšší metabolické aktivitě. Diferencované nádory FDG neakumulují, což je určeno biologickým typem nádoru. Hladina vychytávání FDG u benigní hyperplazie je totožná s diferencovanými tumory. Není možné je vzájemně od sebe diagnosticky rozeznat. Osteoplastické metastázy karcinomu prostaty hromadí FDG sporadicky. Je to dáno zastoupením ve zvýšené míře kostní extracelulární výplně místo kostní dřevě. Metastázy jsou detekovatelné vyšetřením scintigrafie skeletu nebo PET/CT vyšetřením s využitím radiofarmaka <sup>18</sup>F Natriumfluorid. Mladí pacienti s vysoce maligním karcinomem prostaty mohou FDG kumulovat s větší intenzitou. U této úzké skupiny pacientů je možné provádět PET/CT vyšetření s FDG. Nález je relativně dobře hodnotitelný. Bonusem pro tyto pacienty je větší dostupnost PET/CT s FDG a tím včasnější záchyt metastáz v orgánech i uzlinách této malé skupiny pacientů. Nejčastější acinický karcinom prostaty bez ohledu na stádium Gleasonova hodnocení nemá žádnou afinitu k tomuto radiofarmaku. Tento karcinom FDG neakumuluje. Snímání na průkaz kumulace FDG v brzkých i pozdních skenech po aplikaci prokázalo, že ani tato cesta nevede k lepším vyšetřovacím výstupům při použití tohoto radiofarmaka. Přínos PET/CT s FDG ve stagingu či restagingu onemocnění karcinomem prostaty nemá patřičnou validitu hodnocení. Toto vyšetření nemá větší výpovědní hodnotu než jiné vyšetřovací metody. Posouzení stavu postižení lymfatických uzlin metastázami také nemá odpovídající výpovědní hodnotu. FDG má nezastupitelné místo v diagnostice onkologických onemocnění, nikoliv ve standardní diagnostice karcinomu prostaty. Konzumpce FDG je na dolní hranici hodnotitelnosti, proto je vhodné použití radiofarmaka <sup>18</sup>F Fluoromethylcholin. (Votrubová et al., 2009, s. 123-124; Bělohlávek a Jarolím, 2012, s. 205-213; Bělohlávek et al., 2004, s. 39; Ferdová et al., 2014, s. 22-29)



## **2.7.2 Zhodnocení možnosti využití 18F Fluoromethylcholinu v diagnostice karcinomu prostaty**

Vzhledem k omezené limitaci FDG je zájem u onemocnění karcinomu prostaty směřován k jiným radiofarmakům - 11C Methylcholinu. Úroveň detekce je vysoká. Nevýhodou je akumulace v depozitu zánětu, malá senzitivita metastáz ve skeletu a mikrometastáz. Nejspěchem je fyzikální poločas 20,4 minut. Nutná úzká vazba na cyklotron. V České republice výroba tohoto radiofarmaka neprobíhá. Cena radiofarmaka je vysoká, z tohoto důvodu byl vytvořen 18F Fluoromethylcholin s poločasem rozpadu 109,8 minut. Je nejvíce používaným analogem cholinu. Vlastnosti má obdobné jako 11C Methylcholin. Je vylučován močí výrazněji než 11C Methylcholin a to zhoršuje hodnotitelnost prostaty. Má malou senzitivitu pro hodnocení uzlinového metastatického zasažení. Použití 18F Fluoromethylcholinu je vhodné zejména u pacientů se zvýšenými hodnotami PSA. Dobrou citlivost vykazuje i pro metastázy ve skeletu. (Bělohlávek a Jarolím, 2012, s. 205-213) Vyšetření je avizováno realizovat v rozmezí 10. až 90. minuty po aplikaci. Důvodem je homogenní rozložení radiofarmaka v organismu. Ideální čas vyšetřování je 45. minuta od aplikace. Vyhodnocení vyšetření spočívá ve fúzi snímků PET a CT. Metabolická aktivita je hodnocena se zacílením na prostatickou tkáň a kumulaci v uzlinách i skeletu. PET/CT vyšetření s 18F Fluoromethylcholinem je signifikantní při odlišení fyziologického a patologického nálezu. V hodnocení touto metodou je přínosem dobré prostorové znázornění a malá tendence vzniku artefaktů. Staging uzlin je průkazný vzhledem ke kumulaci radiofarmaka v poli plášťového pásma uzlin. Současně je možné provést staging kostní diseminace. Osteosklerotické postižení informuje o aktivitě nádoru v kostech. V prvotní etapě jsou viditelné metastázy v kostech, u nichž je či není formována sklerotická část. Popsat lze i nálezy bez osteosklerozy, kde došlo osteoblastickým drážděním k tumorózním postižením v kosti. Zásadním posláním vyšetřovacích postupů je demaskovat zbytkovou aktivitu při návratu nemoci. Pokud nastane stav opětovného stoupání PSA v krvi, lékař vyšetření pacientovi ordinuje. Návrat nemoci bývá často signalizován metastázami v regionálních uzlinách a kostech. V tomto případě je velmi výhodné provedení PET/CT s 18F Fluoromethylcholinem, jelikož účinnost metodiky je vysoká. Vyšetření je vhodné indikovat v případě: staging karcinomu prostaty s velkými hodnotami Gleasonova hodnocení s následným operačním postupem - radikální prostatektomie, klasifikace efektu antiandrogenní terapie, restaging monitorace biochemického propuknutí nemoci při patologických hodnotách PSA nebo prudkém vzestupu hodnot PSA. Zvláště v situaci, kdy stoupá hodnota PSA současně s opakovaně negativním závěrem biopsie prostaty

provedené přes konečník. Neúspěch biopsie se vyskytuje zhruba u 25 % karcinomů prostaty. (Ferda et al., 2012, s. 289-295) V případě opakované neúspěšnosti rebiopsií vede cesta vyšetření PET/CT s 18F Fluoromethylcholinem k výhodnému zaměření biopsie a tím zintenzivnění výsledku. Pacienti s velkým Gleasonovým hodnocením (8 a stoupající) mají předpoklad metastatického zasažení lymfatických uzlin a skeletu. Nyní je již upuštěno z důvodu bezvýznamnosti od operativní lymfadenektomie v pánvi. Oproti tomu je vyšetření PET/CT s 18F Fluoromethylcholinem velmi citlivé a přesné. Vyšší vychytávání radiofarmaka signalizuje podezření na metastatický proces. U metastatického postižení uzlin, které mají velikostně pod 10 mm je menší hodnotitelnost. Pacienti, u kterých proběhla radikální operace a je zachycen nárůst hodnot PSA, jsou v podezření na recidivu karcinomu prostaty. Důležitá hladina PSA k diagnostice viability tumoru s vychytáváním radiofarmaka je zhruba 4 ng/ml. Praxe odkryla, že již hladina 2 ng/ml signalizuje u 75 % pacientů vychytávání radiofarmaka v tumorózní hmotě, u 5 ng/ml dochází k nálezu tumoru u každého pacienta. Hodnocení vyšetření je zatíženo překážkou, kdy je radiofarmakum z krve do organismu rychle vpravováno a následně rychle vyplaveno. Týká se to aktivních uzlin a kostní dřeně. Je-li radiofarmakum v kosti vychytáváno v osteolytickém nebo osteosklerotickém ložisku, jedná se o metastázu. Protikladem je nedostatečná integrace radiofarmaka v obratlech kostí, podobající se nálezů osteoporózy po chemoterapeutické či androgenní léčbě. Souvislost přeměny kostní hmoty v případě osteoblastického dráždění metastázami karcinomu prostaty a kumulací radiofarmaka je neznámá. Pravděpodobně jde o souvislost hladiny vychytávání radiofarmaka a činných buněk nádoru prostaty. Další možností ovlivnění je léčba bifosfonáty. Upozadují činnost osteoklastů a dráždí osteoblastickou akci. To je důvodem, proč je doporučováno v první fázi vyšetření s 18F Fluoromethylcholinem. Při nejasném výsledku eventuálně vyšetření s využitím radiofarmaka 18F Natriumfluorid. (Ferdová et al., 2014, s. 22-29) Četnost nálezů s pozitivním výsledkem při vyšetření PET/CT s 18F Fluoromethylcholinem je adekvátní hodnotám PSA. Indikace vyšetření s FDG je vhodná výjimečně. Vyšetření s 18F Fluoromethylcholinem je opodstatněné doporučit pacientům při diagnóze karcinomu prostaty. (Balogová et al., 2012, s. 42-46) Tyto poznatky českých a slovenských lékařů potvrzuje zahraniční pilotní studie vyšetření PET/CT s využitím FDG a 18F Fluoromethylcholinu při stagingu a restagingu pacientů s karcinomem prostaty. Studie potvrzuje slabou aviditu FDG při této diagnóze. 18F Fluoromethylcholin je nadějnou možností molekulárního zobrazení karcinomu prostaty. Studie informuje o přínosnosti obou radiofarmak oproti tradičním vyšetřovacím metodám. Vyšetření s 18F Fluoromethylcholinem přineslo dostačující informace klinickým lékařům. Vedlo k sestavení patřičného léčebného postupu u 88 %

pacientů oproti 56 % pacientům, vyšetřených tradičními vyšetřovacími postupy. Výstup vyhodnocení studie je dán závěrem, že PET/CT s využitím 18F Fluoromethylcholinu má vyšší ambice vlivu na léčení pacientů s karcinomem prostaty než tradiční zobrazovací postupy. (Beauregard et al., 2010, s. 325) Pacientům, u kterých je nebezpečí karcinomu prostaty i při negativitě vícečetných biopsií prostaty, skýtá vyšetření s 18F Fluoromethylcholinem velice dobrou možnost ozřejmení diagnózy. Patologický nález je dobře znatelný a tím je dána jeho dostupnost při biopsii. Nutností je odeslání pacienta do zařízení zaměřeného na danou problematiku. Přesto může docházet k nezacílení patologického ložiska u malých nálezů. Praxe doporučuje odesílat pacienty k rebiopsii, pokud dojde k nárůstu PSA 20 ng/ml a více. Při takových hodnotách je diagnostikován karcinom prostaty ve 100 %. V této fázi onemocnění je diagnostika důležitá, pacient je indikován k podstoupení kurativní léčby. Další vhodnou diagnostickou metodou před provedením rebiopsie je vyšetření PET/MR. (Kudláčková et al., 2014) Nejmodernější zobrazovací metodou využívající radiofarmakum 18F Fluoromethylcholin je v současnosti PET ve spojení s MR. Excelentní zobrazovací výstupy jsou dány dokonalým vyhodnocením magnetické rezonance a metabolické aktivity PET vyšetření. PET/MR slučuje benefity PET/CT a dokáže zvládnout jeho slabší místa. Jedná se o zejména o dokonalé zacílení orgánů a naprostou výhodu redukce dávky radiace. PET je vsunut do středu dvou částí magnetické rezonance - do systémů cívek, které jsou gradientní. Musí být stíněn tak, aby nebylo možné splynutí obou celků. Systém detektorů sestává z osmi kruhů, v každém z nich je 56 analyzátorů. Systém cívek pro snímání informací pracuje s více složkami pojetí radiofrekvenčních pásem a zároveň co nejmenším působením cívek na zeslabení anihilační radiace. Zaznamenává maximálně 18 pásem. Souběžně probíhá snímání PET a MR dat. PET akvizici lze upravit časově z 3 minut na 4 či 5. Je to umožněno delším snímacím časem MR. Vyhodnocení probíhá kompletem čtyř schémat. Doba snímání je od 30-50 minut. Při vyšetření s 18F Fluoromethylcholinem je možno využívat akvizici koordinovanou a dynamickou. Dynamická je vhodná ke značení mimobuněčného rozšíření radiofarmaka. Stejnou vlastností se vyznačují i látky kontrastní. Nejefektivnější je snímání T2 - vážené obrazy v koronární rovině. PET/MR s 18F Fluoromethylcholinem je dokonalá metoda v diagnostice karcinomu prostaty. Umožňuje výborné zhodnocení stagingu karcinomu prostaty s metastatickým rizikem vysokým i středním. Budoucnost PET/MR je ve zkrácení doby MR vyšetření, cílených protokolech pro orgány, zřetelné redukci dávky aplikovaného radiofarmaka pacientovi a tím radiační zátěže. Redukce dávky radiofarmaka je benefitem i pro zdravotnické pracovníky, kteří pacienta připravují k vyšetření. (Ferda, 2015, s. 62-84)

Pacienti, u kterých byl prokázán metastatický rozsev karcinomu prostaty vyšetřením PET/CT či PET/MR s  $^{18}\text{F}$  Fluoromethylcholinem, případně jinou vyšetřovací metodou jako je scintigrafie skeletu, jsou vhodnými kandidáty k léčbě radionuklidy. Kritériem léčby je nutnost analgesie a pacient nesmí mít potlačenu krvetvorbu. K léčbě jsou používána radiofarmaka: beta zářič - Metastron a kombinovaný zářič beta a gama - Samarium. Novinkou je Xofigo ( $^{223}\text{RaCl}_2$  - alfa zářič. Poločas rozpadu Radia-223 je 11,4 dne. Aplikované radiofarmakum je v šesti dávkách ve čtyřtýdenních úsecích o aktivitě 50 kBq/kg váhy. Xofigo účinně tlumí bolest kostí, způsobenou metastatickým procesem a prodloužuje dobu přežití pacientů. (Ferda, 2015, s. 114-118)

### 3. Závěr

Cílem bakalářské práce byla analýza poznatků, týkajících se možností vyšetřovací metody PET/CT s využitím radiofarmak: F18Fluorodeoxyglukózy a F18 Fluoromethylcholinu a jejich příspěvek v diagnostice karcinomu prostaty.

První vytyčený problém byl formulován úvodní otázkou: Jaký je přínos použití F18 Fluoromethylcholinu oproti použití FDG u stagingu a restagingu PET/CT vyšetření karcinomu prostaty?

Na tuto otázku odpovídá hlavní část práce. Využití FDG je vhodné jen v malé omezené indikaci karcinomu prostaty. Jedná se o mladé muže, kteří onemocněli vysoce agresivním typem karcinomu prostaty. Nejčastější typ karcinomu prostaty - acinický, nemá při stagingu či restagingu onemocnění adekvátní validitu a výpovědnost. Zde je využití FDG nevhodné. Využití 18F Fluoromethylcholinu je nejčastější a nejefektivnější indikací u stagingu i restagingu monitorace propuknutí nemoci karcinomu prostaty. Při patologických hodnotách PSA nebo jejich prudkém vzestupu, současně s negativním výsledkem biopsie prostaty. Významnost a účinnost metodiky spočívá ve vysoké citlivosti a přesnosti.

Druhý vytyčený problém byl: Jaký je výstup při použití F18 Fluoromethylcholinu pro pacienta a jeho léčbu?

Vyšetření PET/CT s 18F Fluoromethylcholinem má nezastupitelné místo v kvalitním hodnocení zdravotního stavu pacienta. Umožňuje nastavení nejvhodnější léčby pacienta bez prodlevy. Sestává z možností: radikální léčby, hormonální terapie a ozařování, jak standardního tak protonového. Paliativní léčba radionuklidy má své místo při zajištění komfortního života pacienta, případně kombinací uvedených možností léčby. Současnou léčbou je dosaženo po dobu pěti let téměř 100% přežití po léčbě, oproti dřívějším 68 %.

Poslední vyslovený problém byl: Je PET/CT vyšetření F18 Fluoromethylcholinem u onemocnění karcinomem prostaty vhodnou metodou ke stanovení prognózy onemocnění při sledování PSA a bioptickém zacílení?

Frekvence nálezů s pozitivním výsledkem při vyšetření PET/CT s 18F Fluoromethylcholinem je adekvátní hodnotám PSA. Vyšetření je indikované při vysokém hodnocení Gleasonova skóre po biopsii. Odhaluje karcinom prostaty v situacích, kdy je negativní výsledek po opakovaných biopsiích (25 % biopsií), provedených z důvodu elevace

PSA. Hladina 2 ng/ml signalizuje vycytávání radiofarmaka v tumorózní hmotě u 75 % pacientů. Pomáhá odhalit viabilní tkáň karcinomu prostaty, sledovat průběh nemoci a vyslovit medián přežití.

Karcinom prostaty byl dlouhá léta špatně diagnostikovatelný vyšetřovacími metodami. Díky ucelené pozornosti zdravotnických zařízení věnujících se onkologické problematice a neustále se vyvíjejícím vyšetřovacím modalitám nastal obrat v této oblasti. Dosažitelnost efektivních vyšetřovacích metod naviguje rychlou alternativu léčby. Prioritní je v tomto procesu intenzivní interakce mezi odesílajícími a vyšetření provádějícími pracovišti.

## 4. Seznam bibliografických a internetových zdrojů

BAKALA, Jiří. Molekula století a český podíl. *Zdravotnické noviny: týdeník odborných profesí ve zdravotnictví: Lékařské listy* [online]. 2003, **52**(6), 5 [cit. 2015-11-28]. ISSN 1805-2355. Dostupné také z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/molekula-stoleti-a-cesky-podil-151551>

BALOGOVÁ, Soňa. Spektrum požadovaných vyšetření nukleární medicíny pri karcinóme prostaty po registrácii 18F fluorocholínu: dvojročné sledovanie v nemocnici Tenon. *Nukleární medicína*. Praha: Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně, 2012, **1**(3), 42-47. ISSN 1805-1146.

BEAUREGARD, J-M, SG WILLIAMS, TR DEGRADO, P ROSELT a RJ HICKS. ORIGINAL ARTICLE: Pilot comparison of 18F-fluorocholine and 18F-fluorodeoxyglucose PET/CT with conventional imaging in prostate cancer. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology* [online]. 2010, **54**(4), 325-332 [cit. 2015-11-29]. ISSN 17549477. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1754-9485.2010.02178.x>

BĚLOHLÁVEK, Otakar. *Pozitronová emisní tomografie s fluorodeoxyglukózou (FDG PET): Positron emission tomography with fluorodeoxyglucose (FDG PET) : atlas příkladů klinického využití*. 2. vyd. Praha: Lacomed, 2004, 71 s. ISBN 80-902873-8-7.

BĚLOHLÁVEK, Otakar a Ladislav JAROLÍM. Zobrazení karcinomu prostaty metodami nukleární medicíny. *Česká urologie* [online]. 2012, **16**(4), 205-213 [cit. 2015-11-28]. ISSN 1211-8729. Dostupné z: <http://www.czechurol.cz/pdfs/cur/2012/04/02.pdf>

DUŠEK, Pavel. O nádorech prostaty. In: *Linkos* [online]. 2014 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://www.linkos.cz/zhoubne-nadory-muzskeho-pohlavniho-ustroji-c60-c62-1/o-nadorech-prostaty/>

FERDA, Jiří, Boris KREUZBERG a Milan NOVÁK. *Výpočetní tomografie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2002, 663 s. ISBN 80-7262-172-6.

FERDA, Jiří, Jan KASTNER, Jitka FERDOVÁ, Hynek MÍRKA, Milan HORA, Ondřej HES, Jindřich FÍNEK a Boris KREUZBERG. Zobrazení karcinomu prostaty na molekulární úrovni - naše zkušenosti. *Česká radiologie* [online]. 2012, **66**(3), 289–295 [cit. 2015-11-27]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: [http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad\\_1203\\_289\\_295.pdf](http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1203_289_295.pdf)

FERDA, Jiří. *Inovativní zobrazovací metody*. Praha: Galén, 2015, 140 stran. ISBN 978-80-7492-186-5.

FERDOVÁ, Eva, Jiří FERDA, Jan BAXA, Milan HORA, Ondřej HES a Jindřich FÍNEK. PET/CT s 18F- Fluorocholinem u karcinomu prostaty, dvouleté zkušenosti. *Česká radiologie* [online]. 2014, **68**(1), 22-29 [cit. 2015-11-28]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: [http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad\\_1401\\_22\\_29.pdf](http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1401_22_29.pdf)

FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana. Veličiny a jednotky v oblasti ionizujícího záření. In: *Radiobiologie* [online]. 2011 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/15.html>

GRIM, Miloš a Rastislav DRUGA. *Základy anatomie*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2002, 119 s. ISBN 978-80-7262-179-8.

HOLIBKOVÁ, Alžběta a Stanislav LAICHMAN. *Přehled anatomie člověka*. 5. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, 140 s. ISBN 978-80-244-2615-0.

HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

CHUDÁČEK, Zdeněk. *Radiodiagnostika*. 1. vyd. Banská Bystrica: Vydavateľstvo Osveta Martin, 1993, 440 s. ISBN 80-217-0571-x.

KAMÍNEK, Milan. Pozitronová emisní tomografie. In: *Klinika nukleární medicíny* [online]. 2011 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/pozitronova-emisni-tomografie/>

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.



KORANDA, Pavel. Parametry PET kamer. In: *Klinika nukleární medicíny* [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/pozitronova-emisni-tomografie/parametry-pet-kamer/>

KRÁL, Milan. Skrínik, včasná detekce a prevence karcinomu prostaty. In: *ČUS.cz* [online]. 20. 11. 2012 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.cus.cz/pro-pacienty/diagnozy/karcinom-prostaty/>

KUDLÁČKOVÁ, Šárka. 18F-cholin PET CT v primodiagnostice ca prostaty. *Česká urologie* [online]. 2014, **18**(1), 44 [cit. 2015-11-27]. ISSN 1211-8729. Dostupné z: [http://www.cus.cz/wp-content/uploads/2014/10/29\\_Kudl%C3%A1%C4%8Dkov%C3%A1\\_DP.pdf](http://www.cus.cz/wp-content/uploads/2014/10/29_Kudl%C3%A1%C4%8Dkov%C3%A1_DP.pdf)

KUSALA, Jaroslav. Jaderná energetika 2. kapitola. In: *Jaderná energetika* [online]. 2004 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k21.htm>

LIPUSOVÁ, Regina a Yvona KLEMENTOVÁ. Radioterapie karcinomu prostaty. *Praktická radiologie*. Olomouc, 2014, **19**(4), 22-26 [cit. 2015-11-25]. ISSN 1211-5053.

MORNSTEIN, Vojtěch. Přednášky z lékařské biofyziky – Rentgenové zobrazovací metody. In: *Slideplayer* [online]. 2009 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2031862/#>

NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.

NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA. *Přehled anatomie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, 2009, xi, 416 s. ISBN 978-80-7262-612-0.

NEKULA, Josef. *Radiologie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001, 205 s. ISBN 80-244-0259-9.

ODRÁŽKA, Karel. Protonová terapie karcinomu prostaty v světle EBM. *Medical Tribune* [online]. 2014, **10**(7) [cit. 2015-11-27]. ISSN: 1214-8911. Dostupné z: <http://www.tribune.cz/clanek/32665-protonova-terapie-karcinomu-prostaty-v-svetle-ebm>

ŘEHÁK, Zdeněk. Pozitronová emisní tomografie - PET/CT. In: *MOÚ* [online]. Masarykův onkologický ústav: Oddělení nukleární medicíny, 3. 4. 2015 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <https://www.mou.cz/oddeleni-nuklearni-mediciny/t2011>

TICHÝ, Lubomír. Vyšetřovací metoda – PET/CT. *Medicina pro praxi* [online]. 2009, 6(1), 46-49 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf>

ULLMANN, Vojtěch. Detekce a aplikace ionizujícího záření. In: *Astro Nukl Fyzika* [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm>

ULLMANN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. In: *Astro Nukl Fyzika* [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika3.htm>

ULLMANN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. In: *Astro Nukl Fyzika* [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm>

ULLMANN, Vojtěch. Radioisotopová scintigrafie. In: *Astro Nukl Fyzika* [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

VÁLEK, Vlastimil a Pavel ELIÁŠ. *Moderní diagnostické metody*. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1998, 84 s. ISBN 80-7013-294-9.

VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. 1. vyd. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2012, 153 s. ISBN 978-80-244-3126-0.

VOTRUBOVÁ, Jana. *Klinické PET a PET/CT*. 1. vyd. Praha: Galén, c2009, xi, 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.

Vyhláška č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu (ruší vyhlášku č. 219/1997 Sb.), ve znění vyhlášky č. 2/2004 Sb., In: *Sbírka zákonů České republiky* [online], 2002 [cit. 27. 11. 2015], dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/v318\\_02\\_zmeny.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/v318_02_zmeny.pdf)

## 5. Seznam zkratek

Zkratka	Význam
3D	Trojrozměrný
<sup>11</sup> C	Radioizotop Uhlík
BGO	Detekční krystal
Bq	Becquerel
CT	Výpočetní tomografie
DNA	Kyselina deoxyribonukleová
<sup>18</sup> F	Radioizotop Fluor
FDG	Fluorodeoxyglukóza
FOV	Velikost zobrazovaného pole
GBq	Gigabecquerel
HU	Hounsfieldovy jednotky
IAEA	Mezinárodní atomová agentura
ICRP	Mezinárodní komise radiologické ochrany
IMRT	Intensity modulated radiotherapy
kBq	Kilobecquerel
keV	Kiloelektronvolt
kV	Kilovolt
LAL	Test apyrogenity
LSO	Detekční krystal
MBq	Megabecquerel
MeV	Megaelektronvolt
MIP	Maximum intensity projections
mSv	Jednotka dávky - milisievert
NaI(Tl)	Detekční krystal
OSEM	Iterativní metoda rekonstrukce
PACS	Systém pro archivaci obrazu a komunikaci v medicíně
PET	Pozitronová emisní tomografie
PET/CT	Pozitronová emisní tomografie/výpočetní tomografie
PET/MR	Pozitronová emisní tomografie/magnetická rezonance

PSA	Specifický prostatický antigen
Rtg	Röntgen
SSD	Shaded surface display
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
SUV	Kvantifikační údaj
VRT	Volume rendering technique

## 6. Seznam obrázků

Obrázek	Název obrázku	Strana
Obrázek 1	Schematický řez rentgenkou	10
Obrázek 2	Čtyři generace CT	16
Obrázek 3	Rentgenová počítačová tomografie CT	17
Obrázek 4	Princip PET	20
Obrázek 5	Anihilace	21
Obrázek 6	Molekula století	25
Obrázek 7	Aplikační místnost	34
Obrázek 8	Petomobil - stíněné úložiště radioaktivní injekce	35
Obrázek 9	Transportní pouzdro na radioaktivní injekci s wolframovým stíněním	35
Obrázek 10	Pracovní stanice	37
Obrázek 11	Vyšetřovna PET/CT	38
Obrázek 12	Ohřívač intravenózní kontrastní látky	38
Obrázek 13	Automatický injektor - aplikátor kontrastní látky intravenózně	39

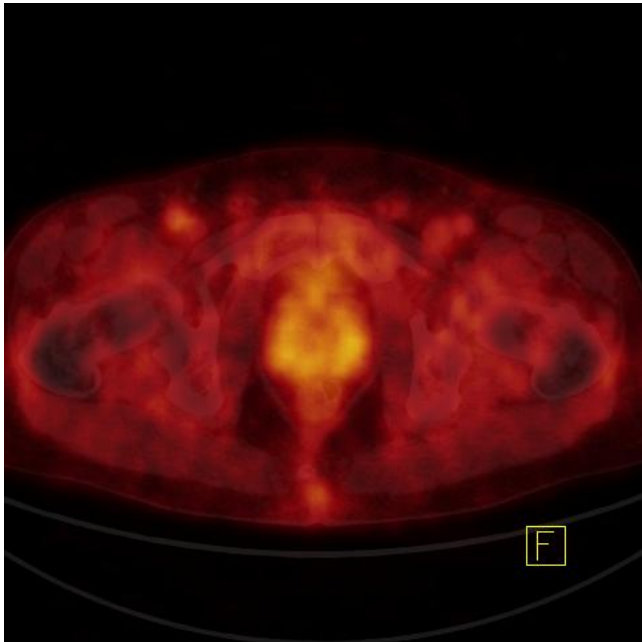
## 7. Přílohy

Příloha	Název přílohy	Strana
Příloha 1	Pacient 1- Topogram	55
Příloha 2	Pacient 1/ PET/CT s FDG	55
Příloha 3	Pacient 1/ CT - PET/CT s FDG	56
Příloha 4	Pacient 1/ PET/CT s Fluoromethylcholinem	56
Příloha 5	Pacient 2/ PET/CT s FDG	57
Příloha 6	Pacient 2/ PET/CT s Fluoromethylcholinem	57
Příloha 7	Pacient 3/ PET - PET/CT s FDG	58
Příloha 8	Pacient 3/ CT - PET/CT s FDG	58
Příloha 9	Pacient 3/ PET/CT s Fluoromethylcholinem	59
Příloha 10	Pacient 3/ PET/CT s Fluoromethylcholinem	59
Příloha 11	Souhlas s použitím anonymizovaných dat	60



Příloha 1- Pacient 1- Topogram

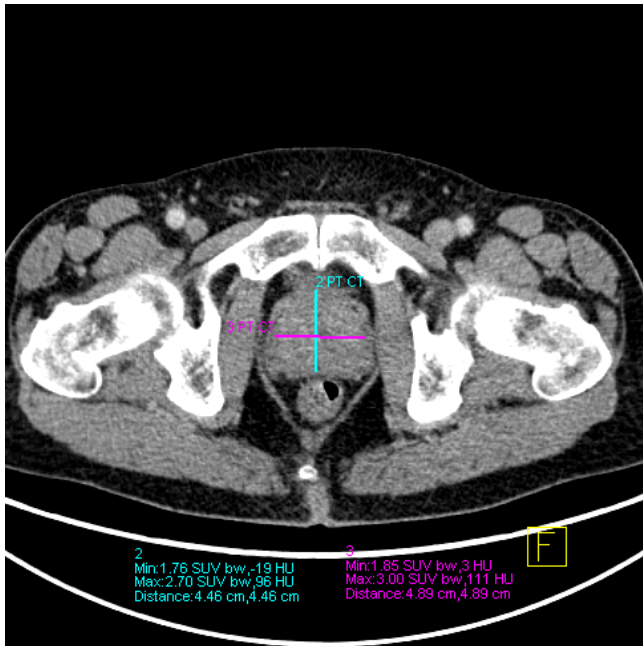
(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)



Příloha 2 - Pacient 1/ PET/CT s FDG

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

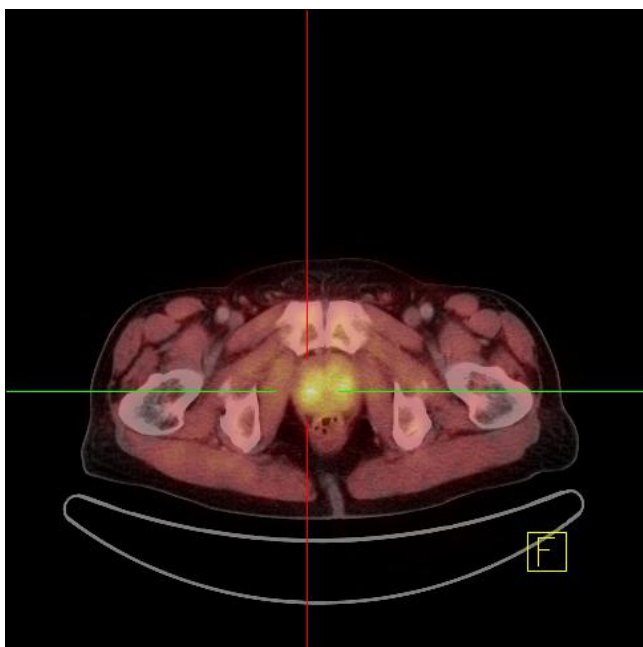
Nehomogenní rozložení FDG v rozsahu prostaty, odpovídá nízké senzitivitě pro karcinom prostaty.



Příloha 3 - Pacient 1/ CT - PET/CT s FDG

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

Hypertofie prostaty.

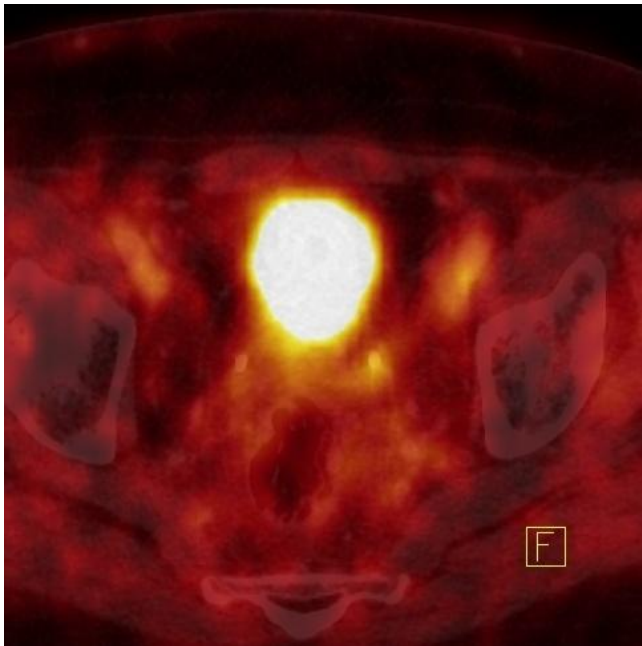


Příloha 4 - Pacient 1/ PET/CT s Fluoromethylcholinem

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

Patologická akumulace Fluoromethylcholinu v obou lalocích prostaty.

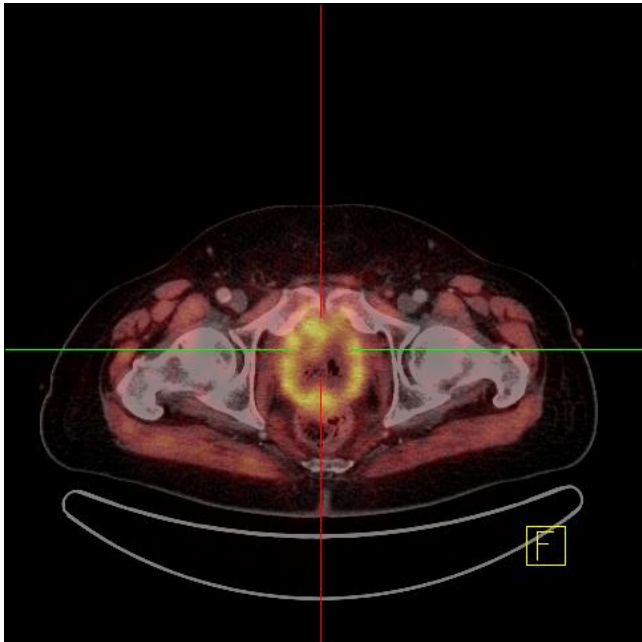




Příloha 5 - Pacient 2/ PET/CT s FDG

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

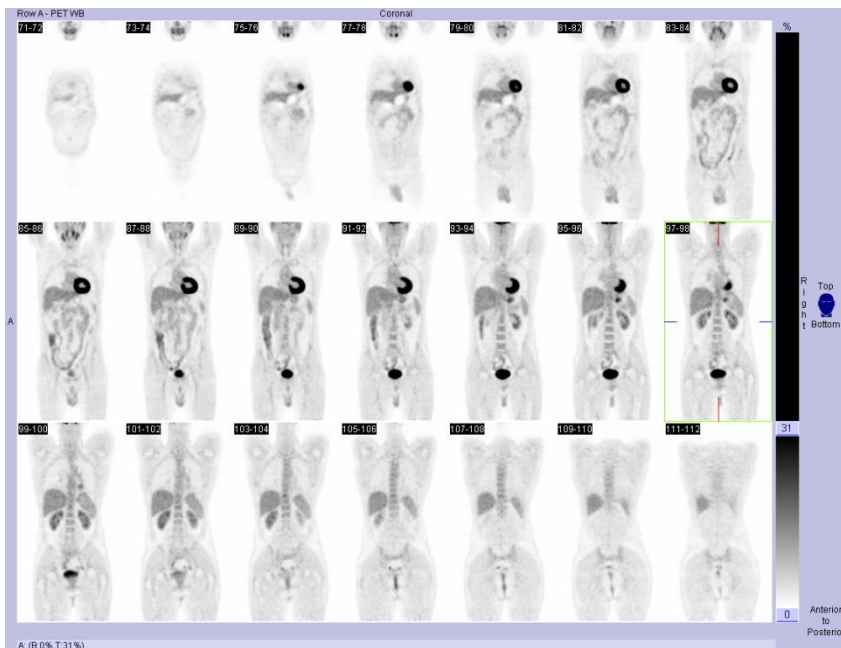
Ložiskový nález zvýšené kumulace se nezobrazuje.



Příloha 6 - Pacient 2/ PET/CT s Fluoromethylcholinem

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

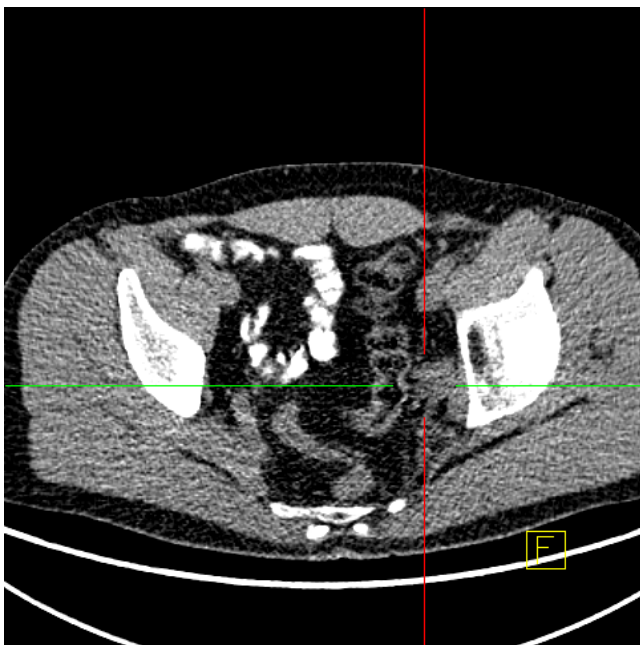
Ložisko patologické akumulace Fluoromethylcholinu v močovém měchýři a lůžku po prostatektomii.



Příloha 7 - Pacient 3/ PET - PET/CT s FDG

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

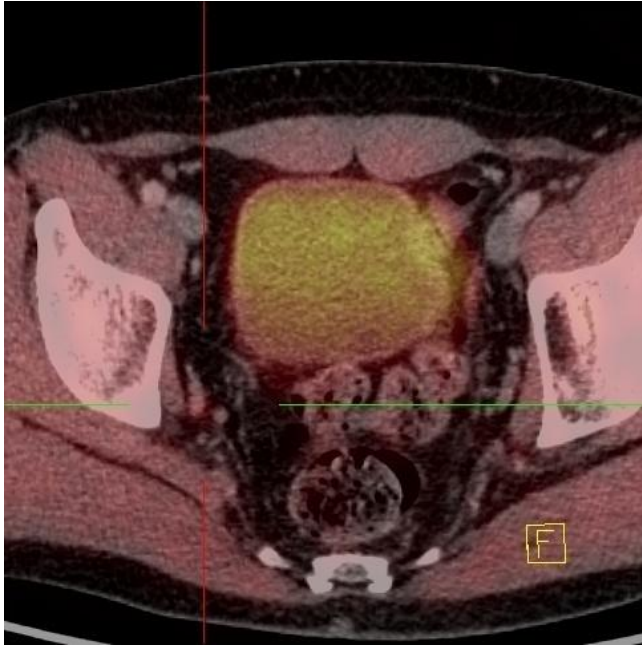
Celotělový scan s fyziologickým rozložením radiofarmaka, v pánvi v místech vnitřních ilických uzlin bilaterálně s hraniční mírou konzumpce FDG.



Příloha 8 - Pacient 3/ CT - PET/CT s FDG

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

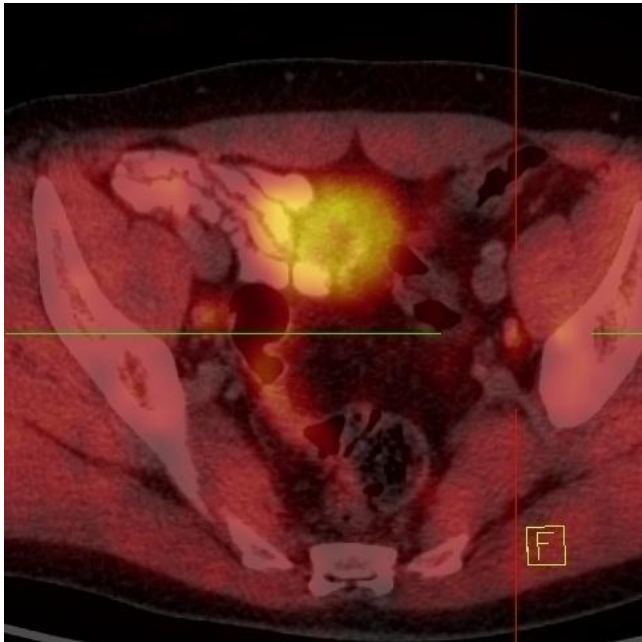
Patologický nález zvětšených ilických uzlin bilaterálně.



Příloha 9 - Pacient 3/ PET/CT s Fluoromethylcholinem

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

Patologická akumulace Fluoromethylcholinu v ilických uzlinách vpravo a v prostatě.



Příloha 10 - Pacient 3/ PET/CT s Fluoromethylcholinem

(zdroj: anonymus, archiv Masarykův onkologický ústav, Brno)

Patologická akumulace Fluoromethylcholinu v ilických uzlinách vlevo a v prostatě.

Masarykův onkologický ústav  
Žlutý kopec 7  
Nukleární medicína - PET centrum  
Brno  
656 53

Souhlasím s použitím anonymizovaných dat Masarykova onkologického ústavu -  
Nukleární medicíny do Bakalářské práce: Možnosti využití F18 Fluorodeoxyglukózy  
a F18 Fluoromethylcholinu u PET/CT diagnostiky karcinomu prostaty Zdeňky Ďulíkové.

V Brně ..... 15.2.2016 .....

  
.....  
primář MUDr. Zdeněk Řehák, Ph.D