

Vyšetřovací metoda – PET/CT

Lubomír Tichý, DiS.

Klinika nukleární medicíny, FN Olomouc

Článek popisuje základní principy zobrazovací metody PET/CT, dává orientační přehled indikací k vyšetření, stručně popisuje jeho průběh a zaměřuje se zvláště na pochopení správné přípravy k vyšetření.

Klíčová slova: PET/CT, PET, molekulární zobrazování, FDG, viabilita.

PET/CT

This article describes basic principles of PET/CT imaging, gives a simple review of indications to the investigation and describes shortly its course. It is mainly focused on understanding of correct preparation before the investigation.

Key words: PET/CT, PET, molecular imaging, FDG, viability.

Med. Pro Praxi 2009; 6(1): 46–49

Úvod

PET/CT je relativně nová nukleárně medicínská vyšetřovací metoda. Je poměrně drahá a klade vysoké nároky na dobré provedení a kvalitní přípravu pacienta před vyšetřením. Článek má pomoci odborné veřejnosti z řad zdravotních sester k dobré přípravě pacientů k vyšetření.

Pozitronová emisní tomografie (PET)

Název metody napovídá, že se k diagnostice využívá pozitronového zářiče. Pozitron je antičástice elektronu, která není schopna trvalé existence a anihiluje s elektronem prostředím. Anihilace je proces, kdy hmota elektronu a pozitronu je přeměněna v energii ve formě dvou fotonů anihilačního záření, které se pohybují po přímce opačným směrem. Vysoká energie – 511 keV (kiloelektronvolt) těchto dvojic fotonů umožňuje jejich snímání prstencovité uspořádanými detektory umístěnými v gantry přístroje. (Gantry nazýváme nosnou konstrukci vyšetřovací soupravy). Vyšetření je emisní, neboť záření vychází z těla pacienta (opačně než u CT). PET patří mezi tomografické metody, základní obrazy mají podobu řezů.

PET zobrazuje místa patologických změn metabolismu dříve, než jsou zřejmé morfologické změny (= časnější záchyt onemocnění), neposkytuje však přesnou anatomickou informaci o lokalizaci těchto míst (obrázek 1).

PET/CT

PET/CT přístroje eliminují deficit anatomické informace tím, že v jednom gantry kombinují PET kameru a CT přístroj, což umožňuje provést CT a PET vyšetření za identických geometrických a časových podmínek. Počítačová fúze obrazů pak dovoluje lokalizovat místa patologických

změn metabolismu a poskytuje anatomický detail (obrázek 2).

Radiofarmakum

Nejčastěji se používá 2-deoxy-2-[¹⁸F]-fluoro-D-glukóza, zažítá pod méně přesným názvem fluoro-deoxy-glukóza (FDG). Jako zářič je v této molekule použit izotop ¹⁸F (fluor osmnáct). K výrobě tohoto izotopu je třeba poměrně nákladného zařízení – cyklotronu, který bývá často na vzdálených místech. ¹⁸F má dostatečně dlouhý poločas přeměny (110 minut) na to, aby bylo možno látku z místa výroby dopravit. (V současné době je na naše pracoviště farmakum dodáváno z Prahy vždy ráno okolo sedmé hodiny a odpoledne po dvanácté hodině.) Ve srovnání s jinými zářiči používanými v nukleární medicíně však aktivita ¹⁸F klesá dosti rychle, každých 110 minut se aktivita sníží na polovinu. Počet vyšetřených pacientů tak závisí na čase dodání farmaka, na výši aktivity v čase dodávky a na dochvilnosti pacientů. Nutný je dobrý management objednávání pacientů a operativní telefonická komunikace s objednanými.

Farmakokinetika

2-deoxy-2-[¹⁸F]-fluoro-D-glukózy

Chceme-li pochopit přípravu k vyšetření, je třeba ozřejmit podstatu metabolických změn FDG a glukózy fyziologicky přítomné v těle. Po aplikaci radiofarmaka dochází k fosforylaci glukózy i FDG (ve vzájemné kompetici) za účasti enzymu hexokinázy na glukózo-6-fosfát a 2-FDG-6-fosfát. 2-FDG-6-fosfát nemetabolizuje, v buňce se hromadí, jen v malé míře je metabolizován za účasti glukózo-6-fosfatázy (mírně se z buněk ztrácí). FDG tedy v těle „soutěží“ s glukózou o to, aby se stala většinovým materiálem pro fosforylaci. Pro dobré zobrazení je žádoucí,

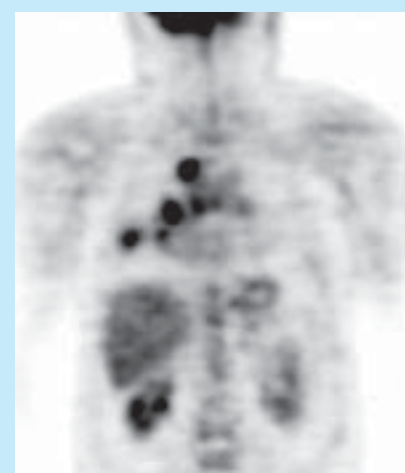
aby hladina „konkurenční“ glukózy v krvi byla co nejnižší.

Asi 90 % indikací tvoří nádorová diagnostika. Nádorové buňky mají totiž několik zvláštností – „výhod“, které působí, že se v nich 2-FDG-6-fosfát hromadí více než ve zdravých tkáních a také je z nich méně odbouráván: nádorové buňky mají zmnoženy inzulin non-dependentní glukózové transportéry, zvýšenou rychlost fosforylace a sníženou hladinu glukózo-6-fosfatázy. Podmínkou využití těchto výhod je nízká inzulinemie.

Rovněž akutní zánětlivé změny způsobují zvýšenou akumulaci FDG, což sice umožňuje detekci zánětů, ale také často komplikuje diferenciální diagnostiku: zánět/nádor.

FDG lze využít i k vyšetření životaschopnosti (viability) myokardu, kde je mechanismus zobrazení jiný. V myokardu dochází k vychytávání FDG ve svalových buňkách za pomoci inzulin-dependentních transportérů. Žádoucí je tedy co nejniž-

Obrázek 1. Ložiska karcinomu plic bez anatomického upřesnění



ší glykémie, ale současná zvýšená inzulinémie. „Optimální příprava se nazývá hyperinzulinemické-euglykemické sevření“ (1). Za normálního stavu dodávají největší porci energie myokardu mastné kyseliny, při PET vyšetření jsou proto kromě glukózy konkurentem FDG i tuky.

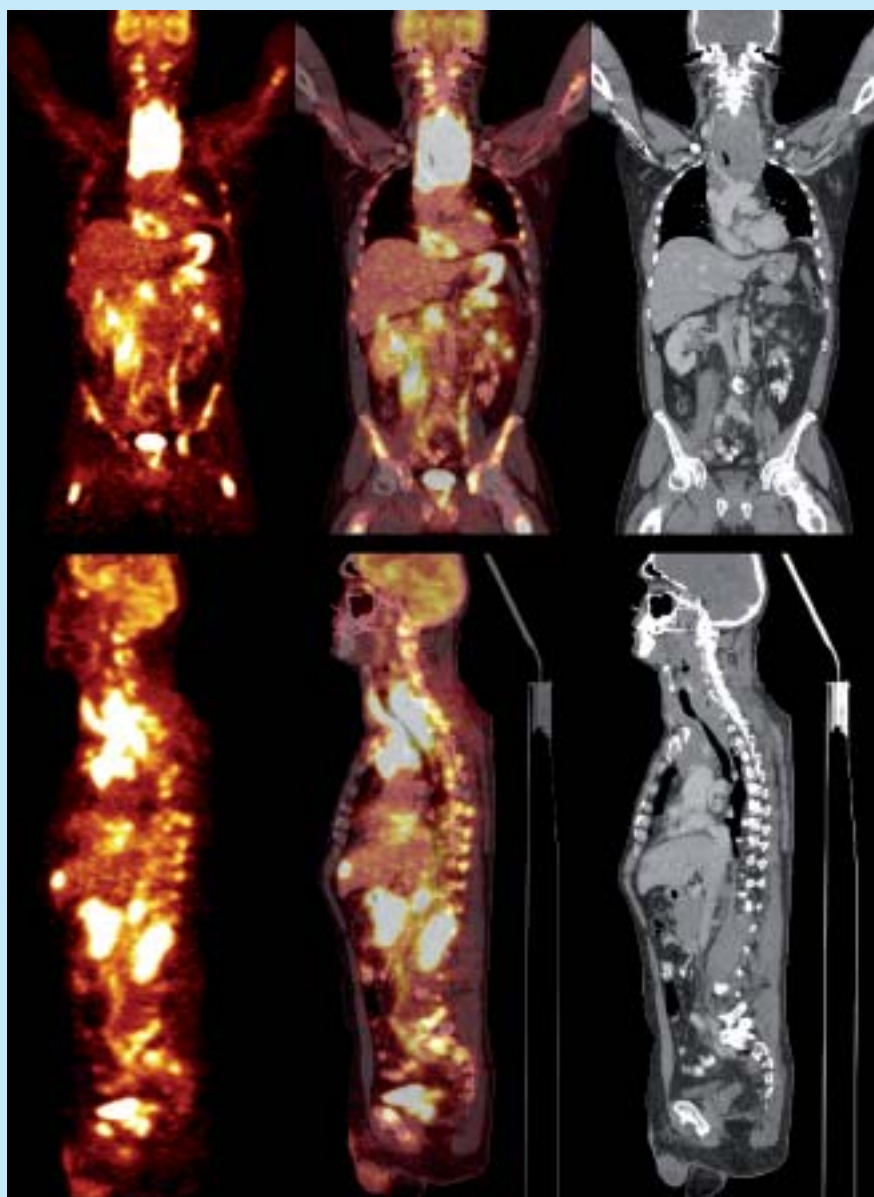
Orientační přehled indikací

1. PET/CT trupu:
 - a) onkologie: v rámci stagingu (proces určující rozsah onemocnění), k ověření recidivy nádorů při zvýšení onkomarkerů, ke zhodnocení efektu léčby po chemoterapii a radioterapii (zachováme-li odstup minimálně dvou týdnů po chemoterapii a tří měsíců po radioterapii), k diferenciální diagnostice benigních a maligních lézí, k pátrání po primárním tumoru neznámé lokalizace. PET/CT není vhodné pro všechny nádory. Např. karcinom prostaty a jeho metastázy většinou neakumulují FDG, podobně i postižené lymfatické uzliny v axilech u karcinomu prsu. V oblastech fyziologické kumulace FDG (ledviny, močový měchýř atd.) je těžké zachytit tumorózní masu. Obecně platí, že PET/CT lépe zachytí nádory s rychlým růstem.
 - b) detekce zánětu: febrilie nejasné etiologie, po vyčerpání dostupnějších metod, lokalizace abscesu, vaskulitidy včetně kontroly po léčbě, podezření na osteomyelitidu osového skeletu, když je sporný NMR (nukleární magnetická rezonance) nález, nebo nelze NMR provést.
2. PET/CT mozku: až po provedení NMR, a to k posouzení rezidua nebo recidivy nádoru, k lokalizaci epileptického ložiska před terapeutickým zákrokem.
3. PET/CT myokardu: průkaz viability myokardu, zejména v poinfarktové jizvě, před terapeutickým zákrokem (např. před cévní intervencí na koronárních tepnách).

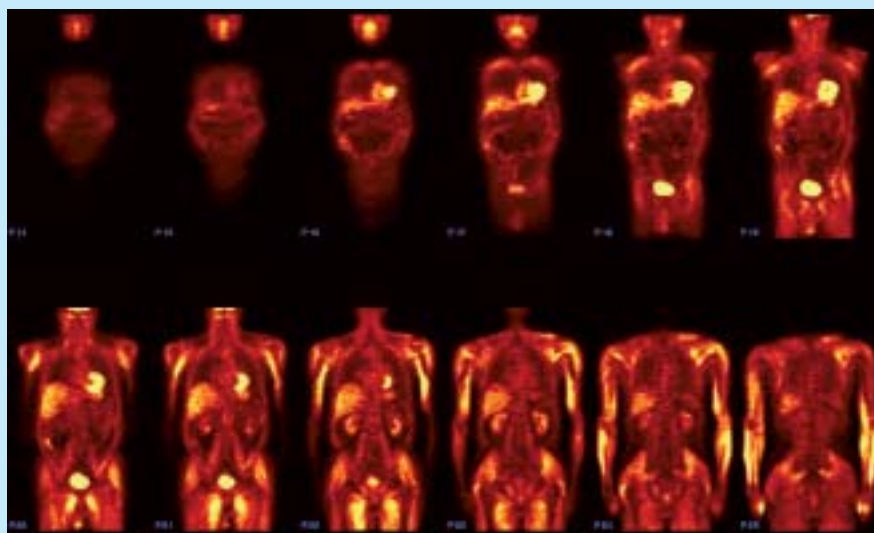
Kontraindikace

Jako u všech metod využívajících ionizujícího záření je vážnou relativní kontraindikací těhotenství. Kontraindikací je též dekompenzovaný diabetes. U pacientů s čerstvým záchytem diabetu je třeba před objednáním ověřit, zda nemá hyperglykémii. Vyšetření také nelze provést u pacientů, kteří nejsou schopni ležet bez hnutí na zádech 30 minut. Limitací je i hmotnost pacienta překračující nosnost vyšetřovacího stolu nebo deformita či obezita, která znemožňuje

Obrázek 2. Difuzní velkobuněčný B-lymfom. Vlevo PET obraz, vpravo CT obraz, uprostřed fúze



Obrázek 3. Hyperglykemie



Obrázek 4. Aplikační místnost a vozík na radiofarmakum



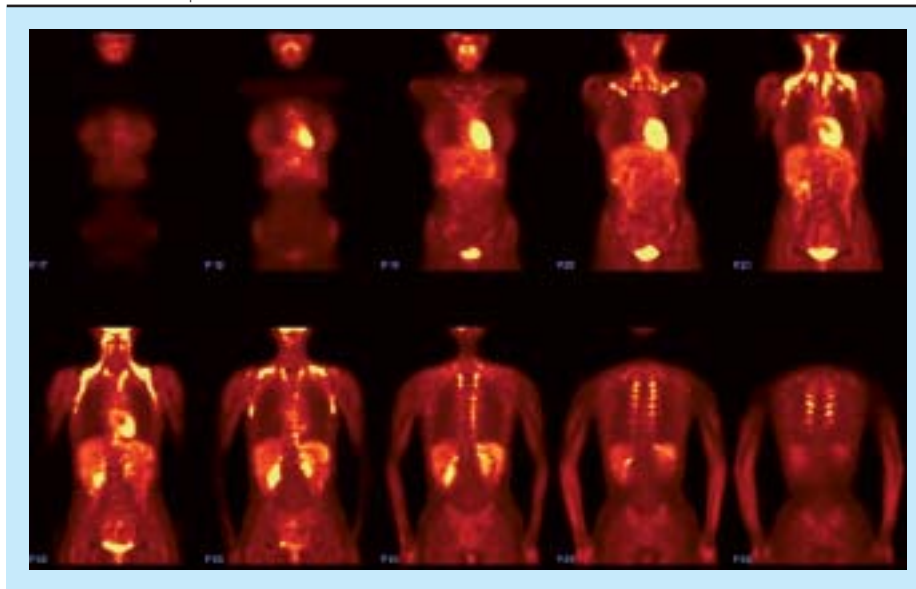
průchod trupu otvorem gantry. Toto je nutno konzultovat na konkrétním pracovišti.

Příprava na vyšetření PET/CT trupu a mozku

Dobrá příprava má klíčový vliv na úspěšné zobrazení. Snažíme se připravit v těle co nejlepší podmínky: 1. aby byla FDG v již zmíněné „soutěži“ s glukózou úspěšnější a byla tak metabolizována více než glukóza. 2. aby patologická tkáň neztratila výše zmíněné „výhody“. Dojde-li k vyplenění inzulinu vlivem hyperglykemie (10 mmol/l a více), nebo k podání inzulinu, metabolizuje se FDG převážně v kosterní svalovině, nádorové buňky ztrácejí onu „výhodu“ a vyšetření je znehodnoceno (obrázek 3). Z uvedených bodů vyplývá, že usilujeme o co nejnižší glykemii a inzulinemii.

Proto pacientovi doporučíme 1–2 dny před vyšetřením omezit tělesnou námahu, 6 h před vyšetřením lačnět a nepít nic slazeného. Ideální je, když pacient nejí a nepije nic slazeného už 24 h před vyšetřením. Při CT se intravenózně podává jodová kontrastní látka (JKL). Proto je třeba, aby byl pacient dobře hydratován (zvláště v létě a u starších osob). Je to zejména z důvodu redukce rizika kontrastem indukované nefropatie (CIN). 24 hodin před a po vyšetření má být zvýšen příjem tekutin (neslazené nápoje). Jen 4 hodiny před vyšetřením je třeba pít jen čistou vodu a omezit množství přibližně na 100 ml/h. U parenterálního podání hydratujeme 0,9% roztokem NaCl, 1–2 ml/kg/hod, 4 hodiny před vyšetřením a 24 h po vyšetření. Dobrá hydratace je nutností v případech snížených renálních funkcí.

Obrázek 5. Tenzní pacient



U pacientů s předchozí reakcí na JKL, polyvalentních alergiků a pacientů s astmatem zajistíme protialergickou přípravu (Prednison 40 mg: 12–18 h před podáním JKL a 20 mg: 6–9 hodin před podáním JKL), za kterou zodpovídá indikující lékař. U diabetiků na inzulinu upraví lékař režim tak, aby ráno před vyšetřením měli relativně normoglykemii (na našem pracovišti je horní hranice 10 mmol/l). Před půlnocí doporučujeme naposledy pojmít lehce stravitelné jídlo, netučné a neslazené s obvyklou dávkou inzulinu (neurčil-li lékař, který pacienta k vyšetření připravuje, dávku inzulinu jinak), pak už nejíst, neaplikovat inzulin. Ideální je pacienta objednat na ráno jako prvního. Pokud bylo nutno podat intravenózně glukózu s inzulinem, pak je třeba ukončit aplikaci inzulinu a glukózy nejméně 4 h před vyšetřením! Jestliže má pacient bolesti, které mu znemožňují ležet 30 min na zádech, musí být zajištěno dostatečné tlumení bolesti! U klaustrofobiků je třeba zvážit, zda postačí běžná premedikace sedativy. Neklidné a nespolupracující pacienty je možno vyšetřit jen v sedaci pod dohledem ARO. Všechny tyto skutečnosti je nutné sdělit při objednání.

PET/CT myokardu

Příprava na PET/CT myokardu je odlišná. Hyperinzulinemicko-euglykemického sevření dosahujeme bezprostřední přípravou na pracovišti. Cílem vzdálené přípravy je minimalizovat množství mastných kyselin v krvi a zajistit relativní normoglykemii.

48 h před vyšetřením se pacient zdrží větších tělesných aktivit. Večer před vyšetřením pojí netučnou večeři, ráno je dovolena lehká uhlhydrátová snídaně bez jakéhokoliv tuku, tekutiny

neomezujeme. Inzulin a perorální antidiabetika (PAD) běžně podáme.

Objednání

K objednání zasíláme kompletně vyplněnou žádanku s telefonickým (nejlépe mobilním) kontaktem na pacienta, který je pak informován o termínu vyšetření. Když vyšetření spěchá, objedná pacienta indikující lékař telefonicky a žádanku zašle. Žádanka musí mimo běžných náležitostí obsahovat informace o rozsahu vyšetření, o cíli vyšetření, o způsobu a časovém rozložení prodělané terapie, dále uvést hmotnost pacienta, alergickou anamnézu, údaje o diabetu a jeho léčbě, informaci o případné klaustrofobii. Dále je třeba přiložit sumarizované údaje o klinickém stavu, o výsledcích dalších vyšetření. „Existuje-li klinická suspekce na poruchu renálních funkcí, uvede indikující lékař na žádanku hladinu sérového kreatininu“(2).

Průběh vyšetření

Omezíme se na vyšetření PET/CT trupu, které je nejčastějším vyšetřením. Je nutné, aby se pacient na místo vyšetření dostavil včas, jinak může dojít k tomu, že už nebude možno jednoho z objednaných pacientů vyšetřit. Nesoběstační pacienti musí mít s sebou doprovod. Pacienti se stomií si musí vzít stomické sáčky s sebou, inkontinentní pacienti pak pleny atd. Pokud je pacient odeslán ze zdravotnického zařízení, kde mu chtějí zavést i.v. kanylu, je ideální zavést růžovou kanylu (zejména u pacientů s vyšší hmotností). Kanyla musí být zavedena až po konus, přelepena transparentní fólií, prodlužovací hadička musí být se závitů na obou koncích a řádně dotažena.

Obrázek 6. Uložení pacienta**Obrázek 7.** Premedikace, kontrola kanyly a napojení na tlakový injektor

Pacient je poučen a podepíše informovaný souhlas. Pak většinou čeká, neboť přesný čas vyšetření bývá modifikován podle reálného času dodání radiofarmaka.

V aplikační místnosti radiologický asistent provede bezprostřední přípravu (obrázek 4). Změří glykemii, zavede, nebo zkontroluje i. v. kanylu, v případě potřeby podá perorální premedikaci, instruuje pacienta a připraví perorální kontrastní látku.

Ve vedlejší laboratoři farmaceut připraví v laminárním boxu dávku FDG do stříkačky. Ta je chráněna mohutným wolframovým stíněním, které snižuje radiační zátěž pracovníků. Stříkačka je dovezena na místo aplikace ve vozíku, který je stíněný olovem (obrázek 4). V osobním rozhovoru s pacientem lékař doplní chybějící informace o nemoci a léčbě, a pak naaplikuje FDG.

Po aplikaci pacient odchází do sektoru kabinek, kde probíhá tzv. klidová fáze vyšetření, která trvá asi 60 minut. Je to čas, kdy dochází k vychytávání metabolitů FDG v patologických lézích. Pacient by měl být v psychické i fyzické pohodě. U tenzních pacientů totiž dochází k aktivaci hnědého tuku a k vychytání FDG v nežádoucích oblastech šíje a paží (obrázek 5). Pacient popije perorální kontrastní médium k naplnění střevních kliček pro odlišení střev od ostatních útvarů v oblasti břicha při CT vyšetření.

Po této fázi je pacient instruován přes komunikační zařízení a po vymočení a svlečení následuje fáze snímání, tedy vlastního vyšetření. Pacient se uloží vleže na zádech, většinou s rukama za hlavou (obrázek 6). Není-li jiný požadavek, vyšetřujeme oblast od báze lební až pod třísla (obrázek 2). V indikovaných případech intravenózně podáme bezprostřední premedikaci (buscopan, analgetika, sedativa či kortikosteroidy), fyziologickým roztokem ověříme průchodnost intravenózní kanyly a napojíme prodlužovací hadičku na injektor JKL (obrázek 7). Za intravenózní aplikace JKL provedeme CT scan. Po odpojení od injektoru provádíme PET vyšetření stejné oblasti jako u CT. PET vyšetření trvá většinou 30 minut. Pokud pacient nevydrží po dobu vyšetření bez močení, je třeba zajistit jej před vyšetřením plenou, aby nedošlo k pohybu pacienta během snímání, což by znehodnotilo PET/CT fúzi.

Po vyšetření

Z důvodu radiační ochrany se doporučuje alespoň do večera dne vyšetření zdržet se těsného kontaktu s menšími dětmi a těhotnými ženami, není vhodné brát je s sebou na vyšetření. Je samozřejmé, že při péči o vyšetřovanou osobu je třeba nakládat s exkrementy v ochranných rukavicích. V den vyšetření by mohl mít pacient potíže na letišti a na hranicích, v případě potřeby lze vystavit potvrzení o aplikaci radiofarmaka.

Závěrem

Věřím, že toto přiblížení vyšetření PET/CT přispěje k dobré přípravě a instruktáži pacientů a pomůže tak provést toto finančně náročné vyšetření s očekávaným diagnostickým přínosem.

Literatura

1. Bělohávek O, Jarůšková M, Šimonová K, Kantorová I. Atlas pozitronové emisní tomografie. Praha: Lacomed spol. s r. o., 2004: 16 s.
2. Raupach J, Krajina A, Zizka J. Metodický list intravaskulárního podání jodové kontrastní látky (JKL). Česká Radiologie 2007; 61(1): 106 s.
3. Koranda P, Mysliveček M, Míková V. Postup a náležitosti objednávání a případné zrušení objednání vyšetření PET/CT ve Fakultní nemocnici. Olomouc. http://public.fnol.cz/www/knm/manual_PET.pdf.
4. Metodický list intravaskulárního podání jodových kontrastních látek. Česká Radiologie 2007; 61(1): 105–107.
5. Mysliveček M, Kamínek M, Koranda P, Hušák V. Nukleární Medicína – 1. díl. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007.

Lubomír Tichý, DiS.

Fakultní nemocnice Olomouc,
Klinika nukleární medicíny
I. P. Pavlova 6, 775 20 Olomouc
lub.tichy@seznam.cz