

# ZOBRAZENÍ KARCINOIDNÍCH NÁDORŮ POMOCÍ PET/CT S PODÁNÍM <sup>18</sup>F-FLUORODIHYDROXYFENYLALANINU

IMAGING OF THE CARCINOID TUMORS USING PET/CT WITH APPLICATION OF  
<sup>18</sup>F-FLUORODIHYDROXYPHENYLALANINE

původní práce

Eva Ferdová<sup>1</sup>  
Jiří Ferda<sup>1</sup>  
Jan Baxa<sup>1</sup>  
Jindřich Fínek<sup>2</sup>  
Luboš Holubec jr.<sup>2</sup>  
Tomáš Skalický<sup>3</sup>  
Vladislav Třeška<sup>3</sup>  
Boris Kreuzberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

<sup>2</sup>Onkologické a radioterapeutické oddělení LF UK a FN, Plzeň

<sup>3</sup>Chirurgická klinika LF UK a FN, Plzeň

Přijato: 15. 2. 2013.

## Korespondenční adresa:

MUDr. Eva Ferdová  
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN  
Alej Svobody 80, 304 60 Plzeň  
e-mail: ferdovae@fnplzen.cz

Konflikt zájmů: Autoři neuvádějí žádný konflikt zájmů.

Práce byla podpořena Programem rozvoje vědních oborů Karlovy Univerzity (projekt P36).

## SOUHRN

Ferdová E, Ferda J, Baxa J, Fínek J, Holubec L. jr., Skalický T, Třeška V, Kreuzberg B. Zobrazení karcinoidních nádorů pomocí PET/CT s podáním <sup>18</sup>F-fluorodihydroxyfenylalaninu

**Cíl.** Posoudit možnosti využití <sup>18</sup>F-FDOPA-PET/CT v zobrazení neuroendokrinních nádorů karcinoidového typu.

**Metoda.** Byl hodnocen soubor 16 zobrazení <sup>18</sup>F-FDOPA-PET/CT u 13 nemocných s NET, která byla provedena pro staging nebo restaging NET. Vyšetření byla provedena po aplikaci <sup>18</sup>F-FDOPA v dávce 1–2 MBq/kg, součástí vyšetření bylo plně diagnostické dvoufázové MDCT. Byla hodnocena průměrná akumulace radiofarmaka v primárním nádoru, jaterních, kostních a uzlinových metastázách a vztah maximální nádorové akumulace k aplikované aktivitě.

**Výsledky.** Celkem jsme provedli vyšetření u devíti karcinoidů střeva, tří urogenitálních karcinoidů, u jednoho plicního karcinoidu a jednoho pankreatického polypeptidomu. Průměrná úroveň akumulace <sup>18</sup>F-FDOPA u karcinoidů dosáhla v jaterních metastázách SUV<sub>max</sub> 13,75, v uzlinových metastázách SUV<sub>max</sub> 23,38, a výrazně se lišila od akumulace pozadí. Nebyla prokázána závislost mezi aplikovanou aktivitou a maximální akumulací v nádorové tkáni ( $p = 0,9195$ , korelační koeficient  $r = -0,03685$ ). Nové informace byly zjištěny celkem u jedenácti nemocných (84 %).

**Závěr.** <sup>18</sup>F-FDOPA-PET/CT lze s výhodou použít k hodnocení rozsahu postižení NET jak při primárním stagingu, při vyhledávání primárního nádoru, ale i k posuzování residuální aktivity onemocnění.

## SUMMARY

Ferdová E, Ferda J, Baxa J, Fínek J, Holubec L. jr., Skalický T, Třeška V, Kreuzberg B. Imaging of the carcinoid tumors using PET/CT with application of <sup>18</sup>F-fluorodihydroxyphenylalanine

**Aim.** To evaluate the a role of <sup>18</sup>F-FDOPA-PET/CT in the imaging of neuroendocrine tumors (NET) of carcinoid type.

**Method.** The sample of 16 <sup>18</sup>F-FDOPA-PET/CT examinations was assessed in patients suffered from NET of carcinoid type. All examinations were performed after intravenous administration of <sup>18</sup>F-fluorodihydroxyphenylalanine in the dose of 1–2 MBq per kilogram of body weight, when the full diagnostic dual-phase MDCT forms the integral part of the examination. The accumulation of the radiopharmaceutical was evaluated in primary tumor, liver metastases, bony metastases or infiltrated lymph nodes.

**Results.** Nine bowel carcinoids, three urogenital carcinoids, one lung carcinoid, one pancreatic polypeptidoma were investigated. Mean SUV<sub>max</sub> reached 13.75 in liver metastases, in lymph nodes 23.38, and significantly differed from those measured in the background. The relation between applied radiopharmaceutical activity and maximum tumorous accumulation levels was not confirmed ( $p = 0.9195$ , correlation coefficient  $r = -0.03685$ ).

**Conclusion.** <sup>18</sup>F-FDOPA-PET/CT is useful tool in the evaluation of the spread of NET even if the primary tumor is not previously detected. In such cases, the primary tumor could be detected effectively. Also the assessment of the disease activity is possible.

**Klíčová slova:**  $^{18}\text{F}$ -fluorodihydroxyphenylalanin,  $^{18}\text{F}$ -FDOPA, PET/CT, neuroendokrinní nádory, karcinoid.

**Key words:**  $^{18}\text{F}$ -fluorodihydroxyphenylalanine,  $^{18}\text{F}$ -FDOPA, PET/CT, neuroendocrine tumors, carcinoid.

## ÚVOD

Neuroendokrinní tumory (NET) tvoří specifickou skupinu nádorů, které pomalu rostou a vyskytují relativně vzácně, ačkoliv se za poslední léta jejich incidence zvýšila, v našich zemích je udávána 8–10 na 1 milion obyvatel. NET jsou schopny vylučovat peptidy, biogenní aminy nebo katecholaminy a jejich produkce může mít za následek vznik klasických klinických obrazů, z nichž je nejčastějším karcinoidový syndrom. Ačkoliv je sekrece aktivních látek nejznámějším projevem onemocnění, více než polovina všech nádorů schopnost sekrece účinné látky postrádá. Vzácná není ani první manifestace neuroendokrinního ve stadiu mnohočetné metastatické diseminace. Radikální chirurgické odstranění NET je možné jen v ojedinělých případech, ale resekce nádorových hmot může přispět k léčbě nemocného výraznou cytoredukcí a efektivně pomáhá snižovat projevy účinku vyplavovaných účinných látek. Nechirurgickými možnostmi terapie jsou aplikace somatostatinových analog, radiofrekvenční ablace, chemoterapie a léčba biologicky aktivními preparáty. Jejich výsledkem je kontrola hormonální sekrece a často zastavení další progresu onemocnění.

Zobrazení neuroendokrinních tumorů je stále živým tématem hybridního zobrazování. Zobrazovací techniky se vyvíjely od metod receptorové scintigrafie oktreotidovým preparáty značenými indiem  $^{111}\text{In}$ -oktreotid) nebo zobrazení metaiodbenzylguanidilem značeným jódem  $^{123}\text{I}$ -MIBG),

přes introdukci  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy ( $^{18}\text{F}$ -FDG) po použití specifických látek pro PET zobrazení jako jsou  $^{18}\text{F}$ -fluorodihydroxyalanin ( $^{18}\text{F}$ -FDOPA) nebo peptidy – analoga somatostatinu značená  $^{68}\text{Ga}$ , jako jsou  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC nebo  $^{68}\text{Ga}$ -DOTANOC (1–3). Naše práce shrnuje zkušenosti se zobrazením neuroendokrinních nádorů typu karcinoidu.

## METODA

V období 12 měsíců od března 2012 do února 2013 jsme provedli celkem 16 vyšetření  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT u 13 nemocných s NET typu karcinoidu. Zobrazení jsme prováděli na základě získání informovaného souhlasu na hybridním přístroji PET/CT se šestnáctiřadým CT subsystémem a PET subsystémem s LSO detektorovou soustavou umožňující zobrazení s vysokým rozlišením (Biograph 16, Siemens, Knoxville/Forchheim, USA/Německo). Vlastnímu vyšetření předchází 6 hodinové lačnění. Intravenózně aplikujeme  $^{18}\text{F}$ -FDOPA o aktivitě 1–2 MBq/kg (IasoDOPA, Iason, Graz, Rakousko). Pro zobrazení neuroendokrinních nádorů používáme akumulační dobu 60–110 minut. Během akumulační doby je prováděna perorální příprava pomocí 2,5% vodného roztoku manitolu technikou frakcionovaného pití. Po akumulaci radiofarmaka je provedeno vlastní zobrazení. V případě detekce NET neznámého původu podáváme nitrožilně také 20 mg N-butylskopolaminu k omezení střevní peristaltiky.

Při vlastní datové akvizici je nejprve zhotoveno CT zobrazení se submilimetrovým izotropním rozlišením kolimací  $16 \times 0,75$  mm s faktorem stoupání 1,5, nejprve v arteriální a poté portální fázi distribuce jódové kontrastní látky. Kanylou 18 gauge aplikujeme 100 ml iomeprolu v koncentraci 350 mgI/ml (Iomeron 350 Bracco, Milano, Itálie) průtokem 4 ml/s. Data pro arteriální fázi zobrazení jaterního parenchymu získáváme s odstupem 25 s, pro portální fázi se zpožděním 70 s od aktuálního začátku intravenózní aplikace k.l.

Tab. 1. Charakteristika souboru

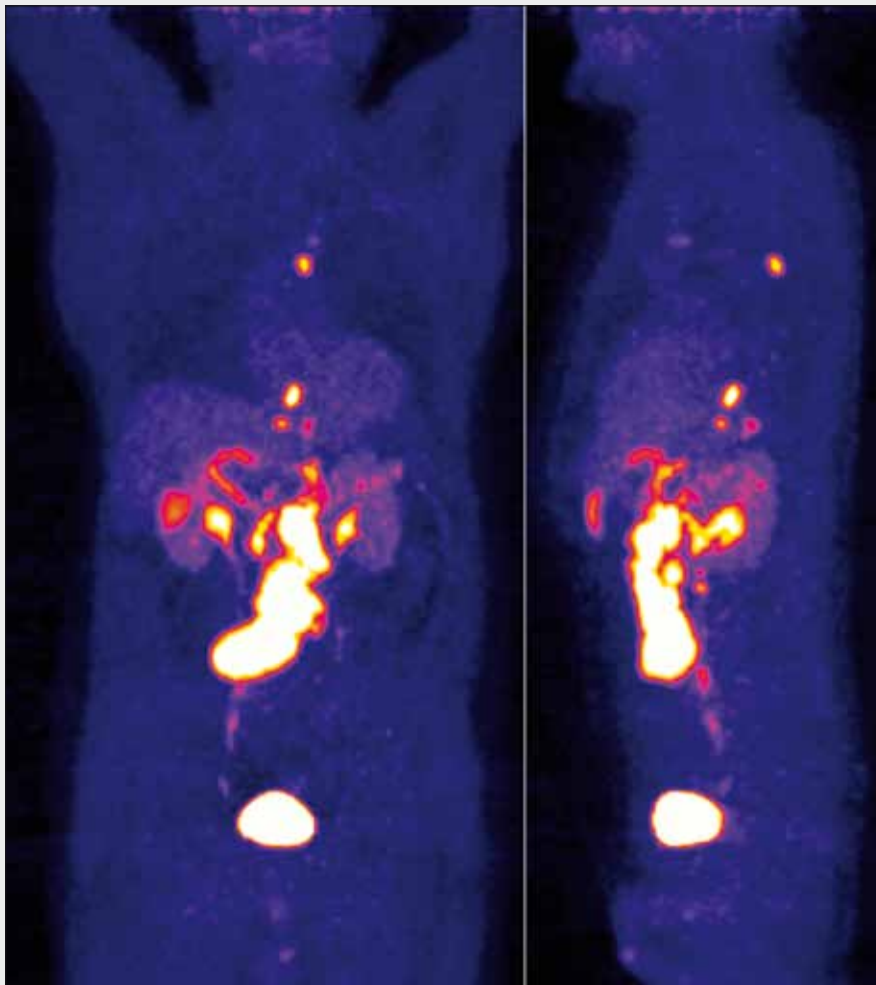
Table 1. Sample characteristics

průměrný věk	48,53 let
rozpětí	34–64 let
ženy	4
muži	9
průměrná doba akumulace	83,33 min
rozpětí	60–110 min
průměrná aplikovaná dávka	142 MBq
rozpětí	92–290 MBq

Tab. 2. Analýza akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA

Table 2. Analysis of  $^{18}\text{F}$ -FDOPA accumulation

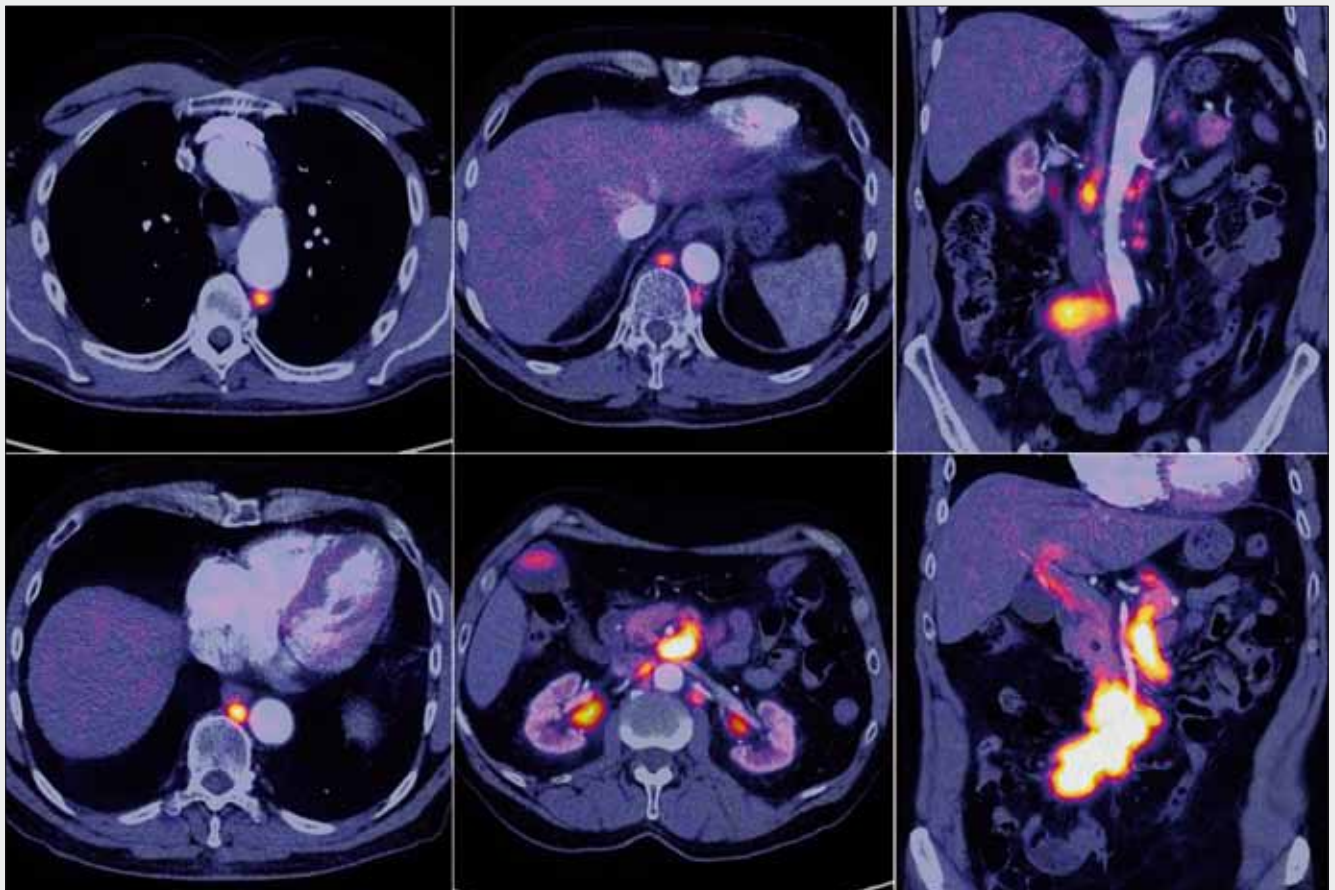
NET	No.	Metastázy v játrech	Průměrná SUV <sub>max</sub>	Metastázy v uzlinách	Průměrná SUV <sub>max</sub>	Metastázy ve skeletu	Průměrná SUV <sub>max</sub>	Primární tumor	Průměrná SUV <sub>max</sub>
karcinoid střeva	8	3	13,75	6	23,38	2	6,7	4	12,3
karcinoid plic	1	nepřítomny	NA	1	3,4	nepřítomny	NA	odstraněn	NA
karcinoid urogenitální	3	2	9,7	1	19,8	nepřítomny	NA	1	8,2
pankreatický polypeptidom	1	1	12,3	nepřítomny	NA	nepřítomny	NA	1	6,9



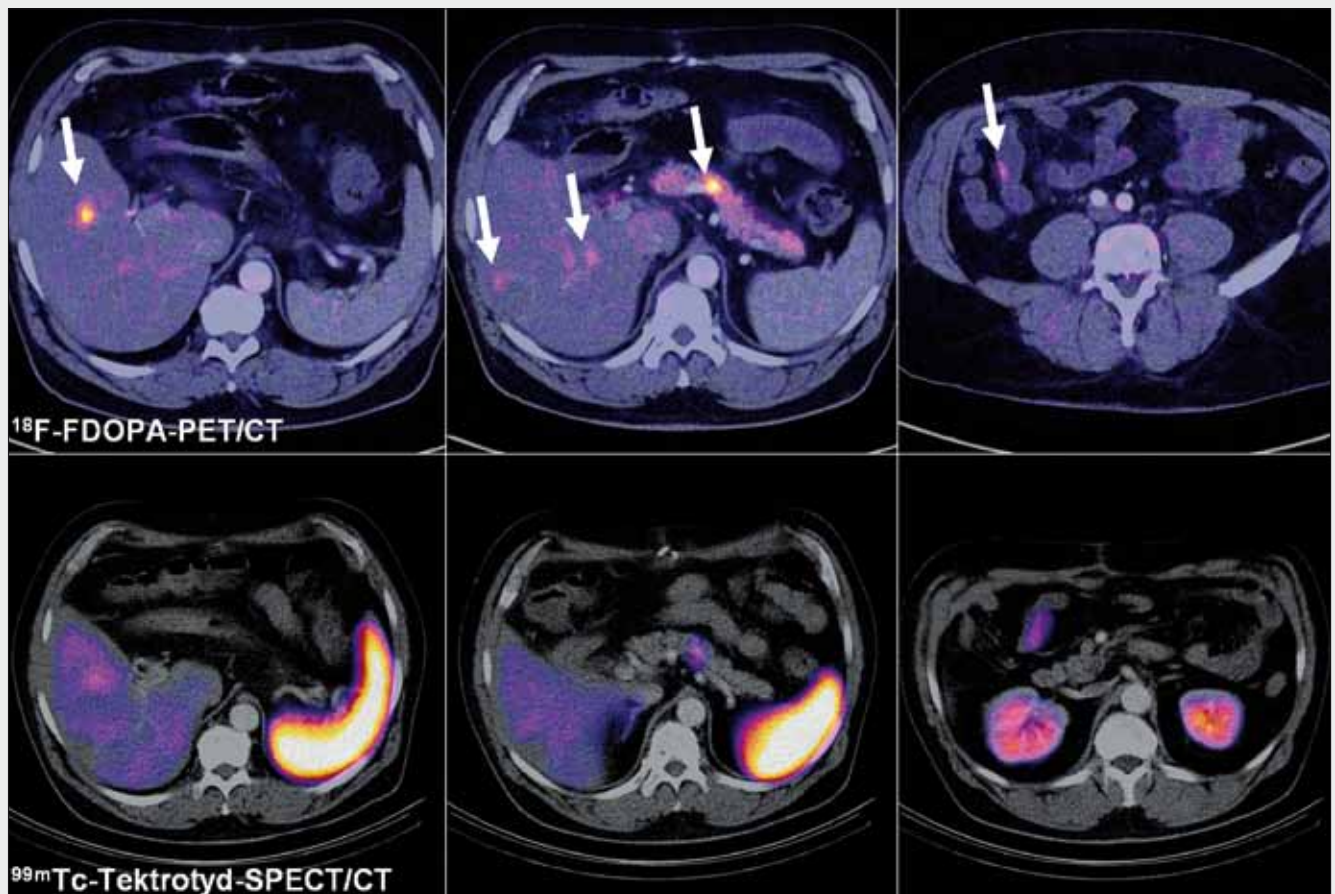
◀ Obr. 1 A

Obr. 1. **Diseminovaný karcinoid středního střeva.** A – celotrupová MIP zobrazení; B – zobrazení metastáz v uzlinách mesenteria, retroperitonea a mediastina

Fig. 1. **Disseminated mid-gut carcinoid.** A – whole trunk MIP; B – images of the metastases in lymph nodes of mesentery, retroperitoneum and mediastinum



▲ Obr. 1B



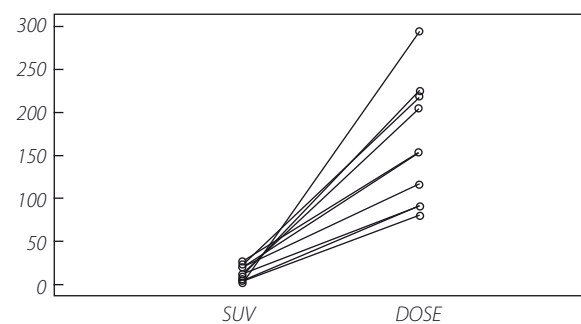
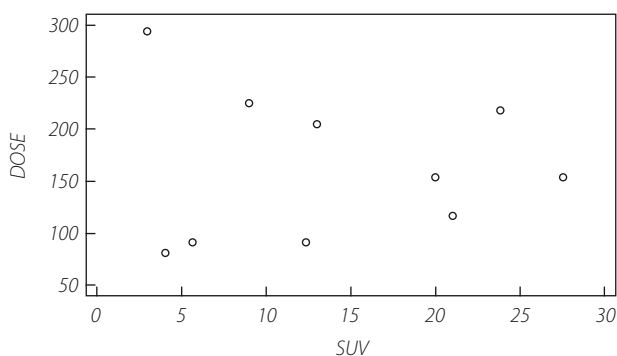
▲ Obr. 2

Obr. 2. Porovnání zobrazení pomocí  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tektrotyd-SPECT/CT u karcinoidu ilea s metastázami do jater a pankreatu. Mikrometastázy, reziduum metastázy po radiofrekvenční ablacii i primární nádorek ve střevě je možné identifikovat jen pomocí  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT.

Fig. 2. Comparison of the  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT and  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tektrotyd-SPECT/CT in ileal carcinoid with metastases in liver and pancreas. Micrometastases as well as residual tumorous tissue after radiofrequency ablation, even the tumorlet in bowel could be detected only using  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT.

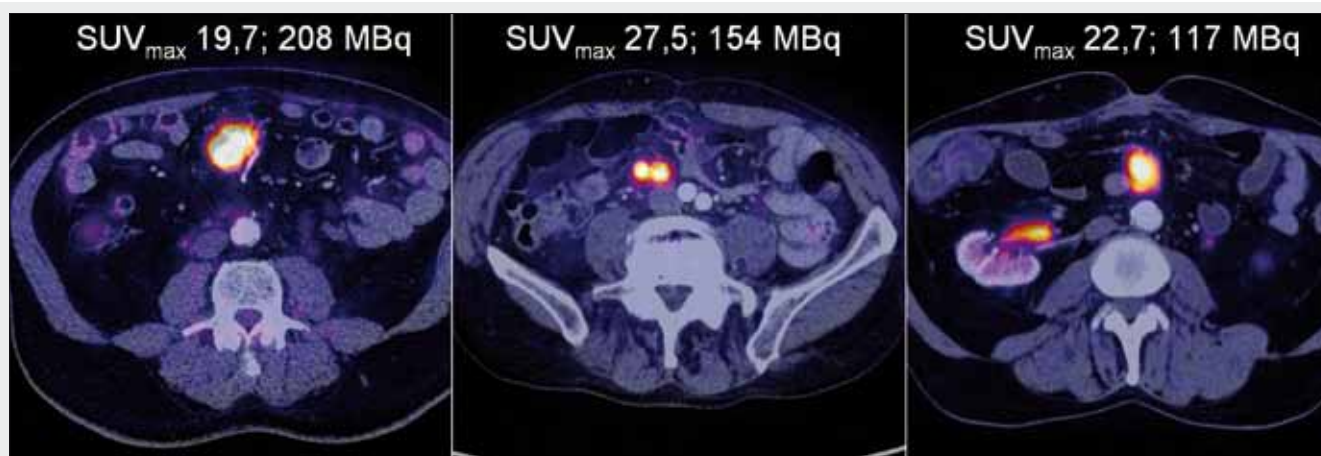
CT data byla rekonstruována v poli 700 mm pro následnou korekci atenuace PET obrazů měkkotkáňovým rekonstrukčním algoritmem v šíři 5 mm. Pro diagnostické účely byla provedena rekonstrukce dat v obrazy šíře 5 mm a dále šíře 1 mm s rekonstrukčním incrementem 0,7 mm algoritmem pro měkké tkáně a pro HRCT.

Akvizice dat PET probíhala následně po pořízení dat CT v rozsahu do krku po symfýzu. Byla rekonstruována data s korekcí atenuace a následně rovněž obrazy bez korekce atenuace. Bylo dosaženo izotropního rozlišení s kuboidním vxelem o hraně 5 mm.



Graf 1 a 2. Nezávislost maximální akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA nádorem a aplikované aktivity

Graphs 1 and 2. Independence of the maximum  $^{18}\text{F}$ -FDOPA accumulation in tumorous tissue and applied radiopharmaceutical activity



▲ Obr. 3

Obr. 3. Porovnání akumulace  $^{18}\text{F}$  v uzlinových metastázách u tří nemocných s rozdílnou aplikovanou aktivitou radiofarmaka  
 Fig. 3. Comparison of the  $^{18}\text{F}$ -FDOPA accumulation within the lymph nodes' metastases in three individuals with different applied radiopharmaceutical activity

Vyhodnocení vyšetření probíhalo pomocí fúze izotropních objemů dat CT a PET v trojrozměrném prostředí (Syngo 3D-Fusion, Siemens, Forchheim, Německo).

Byla vyhodnocena akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA ve vlastním nádoru, v metastaticky postižených uzlinách, v jaterních metastázách a v kostních metastázách.

## VÝSLEDKY

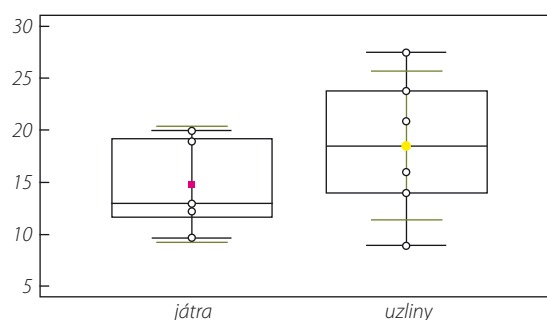
Největší část diagnóz tvořily karcinoidy středního střeva se známou diagnózou s metastázami v játrech a regionálních uzlinách. Při incidenci karcinoidu střeva do 10 na 1 milion obyvatel jde prakticky všechny nově diagnostikované karcinoidy i nemocné v registru na onkologickém oddělení FN Plzeň v roce 2012.

U třech nemocných jsme hledali primární nádor při metastázách karcinoidu v játrech, ve 13 případech jsme prováděli vyšetření z důvodu restagingu karcinoidu. Typickou indikací ukazuje případ nemocného po RFA histologicky verifikované v z provedeného CT detekované solitární metastázy karcinoidu v játrech (obr. 2 – horní řada).  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT ukázalo však zcela jiný rozsah onemocnění. CT v arteriální fázi jako součást PET/CT vyšetření ukazuje metastatické ložisko ošetřené RFA s hyperdenzním lemem a dále žádné podstatné změny. Fúze obrazů ukázala přítomnost lokálního reziduuma metastázy a dále mnohočetná ložiska v játrech včetně mikrometastáz a metastatické ložisko v pankreatu. Samotná akumulace radiofarmaka v pankreatické tkáni je po aplikaci  $^{18}\text{F}$ -FDOPA běžná, odpovídá akumulaci v Langerhansových ostrůvcích. Vyšetření provedené jako CT enterografie umožní odhalit primární mnohočetné postižení ve stěně střevní.

V našem souboru dosáhla aplikovaná aktivita průměrné hodnoty 1,78 MBq/kg, celková průměrná aplikovaná aktivita byla 141,77 MBq při průměrné hmotnosti v souboru 81,62 kg. Při podrobné analýze souboru našich vyšetření jsme zjistili, že v karcinoidu původem v plíci byla akumulace v ložiscích metastáz poměrně malá, stejně jako v metastázách karcino-

idu původem v urogenitální oblasti. Naproti tomu vysoká akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA byla jak v jaterních, tak uzlinových metastázách tzv. karcinoidu středního střeva – v játrech dosahovala úroveň akumulace od 9 do 20 SUV, v uzlinových metastázách dokonce od 9 do 27 SUV. Výše akumulace při podrobnější analýze, i když v malém souboru, ukazuje, že její úroveň není podstatněji závislá na aplikované aktivitě. Nebyla prokázána závislost mezi aplikovanou aktivitou a maximální akumulací v nádorové tkáni ( $p = 0,9195$ , korelační koeficient  $r = -0,03685$ ). Nové informace byly zjištěny celkem u jedenácti nemocných (84 %). Šlo především o získání informací o mikrometastázách (tři případy), viabilitě léčených metastáz (tři případy, zjištění metastáz při opětovné elevaci chromograninu a kyseliny hydroxyindolctové v séru (2krát) a především nalezení primárního nádoru (tři nemocní).

Dále jsme zjišťovali průměrnou radiační dávku z aplikovaného radiofarmaka a porovnali jsme ji s obvyklou dávkou z aplikace  $^{111}\text{In}$ -oktreotidu. Průměrná efektivní radiační dávka z nitrozilně podaného radiofarmaka dosáhla u  $^{18}\text{F}$ -FDOPA 2,84 mSv. Porovnáváme-li ji s dávkou aplikovanou z nejběž-



Graf 3. Úroveň akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA v jaterních a uzlinových metastázách karcinoidních tumorů

Graph 3.  $^{18}\text{F}$ -FDOPA accumulation level in liver or lymph nodes' metastases

nějšího radiofarmaka pro receptorovou scintigrafii –  $^{111}\text{In}$ -oktrotidem (ta dosahuje běžně hodnot přesahujících 15 mSv), zjistíme, že při aplikaci  $^{18}\text{F}$ -FDOPA je snížena radiační zátěž z podaného radiofarmaka 5–7krát.

## DISKUSE

Neuroendokrinní nádory vycházejí z buněk, jejichž původ je v neurální liště. Jde o nádory s relativně nízkou incidencí v populaci do 10/1 mil. Hlavními skupinami jsou nádory vycházející z difuzního APUD systému primitivního střeva – karcinoidy a nesidiomy a dále nádory vycházející z chromaffinických buněk sympatoadrenálního systému – feochromocytomy a paragangliomy. Mezi neuroendokrinní nádory dále patří celé spektrum nádorů od adenomů hypofýzy, příštitných tělísek, medulární karcinom štítné žlázy až po Merkelův karcinom kůže (1). V současnosti je detekce NET mnohem častější z důvodů pokročilých postupů diagnostického zobrazování, především pomocí multidetektorové výpočetní tomografie, tedy jde možná o podobný fenomén jako při zvýšené incidenci renálního karcinomu.

Neuroendokrinní buňky vysoce akumulují  $^{18}\text{F}$ -FDOPA, neboť jsou buněčnou populací odvozenou od kmenových buněk linie APUD (amine precursor uptake and decarboxylation). Neuroendokrinní buňky jsou přítomné ve stěně primitivního střeva, ze kterého se diferencují jednak tabulární oddíly gastrointestinálního traktu, ale i pankreatická tkáň nebo i tkáň jater a podobně. Neuroendokrinní buňky transportují, skladují a dekarboxylují aminy v neurosekrečních cytoplasmatických granulech (1).

Fluorodihydroxyfenylalanin je aminokyselina odvozená od tyrozinu, která se akumuluje přirozeně ve dopaminergním systému mozku, dále v játrech, pankreatu, ledvinách a vylučuje se do biliárního a močovém systému. Charakteristickou vlastností neuroendokrinních nádorů je produkce látek odvozených od velkých aminokyselin, jako je serotonin typický pro karcinoid nebo katecholaminy produkované nádory paragangliové řady, ale i karcinoidy.  $^{18}\text{F}$ -FDOPA je transportována do neuroendokrinních buněk cestou na sodíku nezávislým systémem L, kdy nejdůležitějším je transportér velkých neutrálních aminokyselin (LAT1) vázaný na glykoprotein CD48. Zvýšenou produkcí těchto látek umožňuje vystupňovaná aktivita dekarboxylázy aminokyselin (AADC), která indukuje zvýšenou aktivitu transportéru velkých neutrálních aminokyselin (LAT1). Na buněčné úrovni je tedy  $^{18}\text{F}$ -FDOPA přenesena do cytosolu transportérem LAT1 a dekarboxylázou AADC je přeměněna na fluorodopamin. Samotný fluorodopamin je v buňkách, které jsou vybaveny skladovacími vesikuly, do nich přenesen a dále přeměněn na některý z katecholaminů (4).

$^{18}\text{F}$ -FDOPA aplikujeme v dávce 1–2 MBq/kg, doba akumulace se na našem pracovišti pohybovala od 60 do 110 minut, nepoužíváme dynamická zobrazení, neboť se zaměřujeme na co nejefektivnější využití dodaného radiofarmaka. Jelikož další indikací aplikace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA je porucha dopaminergního přenosu a diferenciální diagnostika parkinsonských syndromů, snažíme se při dodávce radiofarmaka vhodně kombinovat obě indikace, abychom co možná nejvíce snížily náklady na jedno vyšetření při zachování doporučených postupů (4–7).

Variabilita aplikované aktivity byla způsobena variabilitou dodané aktivity výrobcem.

Akvizice a rekonstrukce dat PET je shodná s technikou PET/CT s FDG. Využití iterativní rekonstrukce dat technikou OSEM poskytuje dostatečný kontrast tkání akumulujících  $^{18}\text{F}$ -FDOPA proti okolním tkáním.

V diskusi je třeba zmínit nejvýznamnější indikace FDOPA-PET/CT, a to je karcinoid středního střeva. Vyšetření umožňuje efektivně hodnotit staging karcinoidu včetně vyhledávání neznámého primárního nádoru při známých jaterních metastázách. Pokud pátráme po neznámém NET, připravujeme nemocného jako pro CT enterografii. Technika enterografie s perorální přípravou 2,5% vodným roztokem manitolu a nitrožilní podání splazmolytika N-butylskopolaminu umožňuje dostatečné rozepětí střeva a při utlumení peristaltické aktivity identifikaci i drobných intramurálních infiltrací NET v tenkém střevě. Akvizice dat se skládá z dvoufázového zobrazení CT v arteriální a portální fázi po intravenózní aplikaci jodové k.l. Dvoufázová aplikace kontrastní látky dovoluje odlišení vlastních nádorových ložisek od okolní tkáně pankreatu nebo jater, protože se odlišně vysycují kontrastní látkou.

Pro zvýšení akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA v NET je doporučována perorální medikace karbidopou, ta však samostatně není v České republice k dispozici. Známá je nízká akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA v anaplastických NET, které však díky vysoké expresi genu pro glukózový přenašeč vysoce akumulují fluorodeoxyglukózu, v karcinoidech původem ve středním a zadním střevu jsme se v našem souboru nesetkali s nízkou akumulací  $^{18}\text{F}$ -FDOPA. Nižší úroveň akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA je udávána v karcinoidech plic a urogenitálního traktu a také v medulárním karcinomu štítné žlázy (8). U karcinoidu střeva je největším problémem nízká akumulace v jeho kostních metastázách, pečlivé hodnocení akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA a obrazů HRCT skeletu umožní však aktivní metastázy správně identifikovat (9). Akumulace v kostních metastázách závisí velmi na celkové aktivitě onemocnění. Onemocnění, jež je pod terapeutickou kontrolou, vykazuje v metastázách v kostech poměrně nízkou úroveň akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA, při kontrolních vyšetřeních je možné pomocí zvýšení akumulace radiofarmaka identifikovat aktivaci onemocnění. Neuroendokrinní tumory relativně vzácně tvoří plicním metastázy a pokud, tak jsou velmi drobné. Z důvodů omezení prostorového rozlišení PET a dechové činnosti je v plicních metastázách prakticky nemožné úroveň akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDOPA, avšak jelikož je HRCT nedílnou součástí hodnocení vyšetření, má jeho hodnocení stěžejní význam pro hodnocení plicní diseminace karcinoidních nádorů.

Porovnáme-li diagnostický přínos PET/CT s podáním  $^{18}\text{F}$ -FDOPA a zobrazení somatostatinovými analogy, až v 50% přinese zobrazení  $^{18}\text{F}$ -FDOPA nové informace – o primárním ložisku nebo odhalí další metastázy. Naproti tomu u zobrazení nesidiomů typu gastrinomu nebo inzulinomu, tedy NET pankreatického původu s výjimkou tzv. polypeptidomu (dříve nazývaných pankreatický karcinoid) nepřináší  $^{18}\text{F}$ -FDOPA výhody. U gastrinomu je vysoká pravděpodobnost vysoké hustoty a vysoké valenční schopnosti somatostatinového receptoru subtypu 2 (SSRS 2), tedy u gastrinomu neprovádíme primárně  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT.

Indikací zobrazení somatostatinovými analogy představuje funkční zobrazení před léčbou somatostatinovými preparáty. V České republice jsou nedostupné deriváty značené  $^{68}\text{Ga}$

určené pro PET, proto v těchto případech lze použít  $^{111}\text{In}$ -oktreotid, v nedávné minulosti byl registrován i  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd – somatostatinové analogon značené techneciem, s menší radiační zátěží a lepšími fyzikálními vlastnostmi pro datovou akvizici při porovnání s indiovými preparáty.  $^{68}\text{Ga}$  jehož zdrojem je germanium – galiový generátor je při enormních nákladech použitelný jen v centrech, kde se registrované počty nemocných s NET pohybují ve stovkách za rok a tam, kde se používají k léčbě peptidy označené luteciem 77 nebo ytrem 90.

Při porovnání ceny prostorového rozlišení a radiační zátěže je  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT nejefektivnějším způsobem zobrazení karcinoidu středního střeva. Porovnání  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT a SPECTCT s techneciem i indiem značeným somatostatino-vým analogem ukazuje na výrazně lepší kontrastní i prostorové rozlišení  $^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT – ukazuje více ložisek a s ne-

poměrně lepším rozlišením. Naše zkušenosti se zobrazováním sympatoadrenálních NET pomocí FDOP jsou minimální, ale naše dřívější zkušenosti ukazují, že FDG-PET/CT je v této indikaci dostatečně efektivní.

## ZÁVĚR

$^{18}\text{F}$ -FDOPA-PET/CT je metoda vysoce efektivní při zobrazování gastrointerstinalních karcinoidů, jde levnější, šetrnější a efektivnější cestu k diagnóze, vhodnou i k hodnocení efektu radiofrekvenční ablace jaterních metastáz, dále k vyhledávání primárního NET ve stěně střeva nebo v oblasti vnitřního genitálu. Indikací zobrazení somatostatinovými analogy nepostrádá důležitosti pouze před jejich léčebnou aplikací.

## LITERATURA

1. **Wong KK, Waterfield RT, Marzola MC, et al.** Contemporary nuclear medicine imaging of neuroendocrine tumours. *Clin Radiol* 2012; 67(11): 1035–1050.
2. **Chondrogiannis S, Grassetto G, Marzola MC, et al.** 18F-DOPA PET/CT biodistribution consideration in 107 consecutive patients with neuroendocrine tumours. *Nucl Med Commun* 2012; 33(2): 179–184.
3. **Ferda J, Ferdová E, Malán A, Záhlava J.** Hybridní zobrazení SPECT/CT s  $^{111}\text{In}$ -oktreotidem. *Ces Radiol* 2010; 64(4): 249–258.
4. **Minn H, Kauhanen S, Seppänen M, Nuutila P.** 18F-FDOPA: a multiple-target molecule. *J Nucl Med* 2009; 50(12): 1915–1918.
5. **Yakemchuk VN, Jager PL, Chirakal R, et al.** PET/CT using 18F-FDOPA provides improved staging of carcinoid tumor patients in a Canadian setting. *Nucl Med Commun* 2012; 33(3): 322–330.
6. **Imperiale A, Rust E, Boulanger C, et al.** Terminal ileum neuroendocrine incidentaloma in a patient with sporadic medullary thyroid carcinoma: findings from 18F-FDOPA PET/CT investigation. *Clin Nucl Med* 2012; 37(8): e206-8. doi: 10.1097/RLU.0b013e31824c5e04.
7. **Imperiale A, Taquet MC, Rust E, et al.** Head-to-head comparison between SRS, (18)F-FDG and (18)F-FDOPA PET/CT in a patient with recurrent SDHC-related jugular paraganglioma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2012; 39(10): 1662–1663.
8. **Soussan M, Nataf V, Kerrou K, Grahek D, Pascal O, Talbot JN, Montravers F.** Added value of early 18F-FDOPA PET/CT acquisition time in medullary thyroid cancer. *Nucl Med Commun* 2012; 33(7): 775–779. doi: 10.1097/MNM.0b013e3283543304.
9. **Becherer A, Szabó M, Karanikas G, et al.** Imaging of advanced neuroendocrine tumors with (18)F-FDOPA PET. *J Nucl Med* 2004; 45(7): 1161–1167.