

Možnosti PET/CT v neperfuzní kardiologii

(The Role of PET/CT in Non-perfusion Cardiology)

David Zogala

Ústav nukleární medicíny, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Vložen do systému: 7. 4. 2020

Přijat: 4. 5. 2020

Dostupný online: 26. 11. 2020

Klíčová slova:

Kardiovaskulární záněty

PET

PET/CT

Pozitronová emisní tomografie

SOUHRN

Pozitronová emisní tomografie kombinovaná s výpočetní tomografií (PET/CT) je zobrazovací modalitou užívanou především v onkologické diagnostice. Nejčastěji používaným radiofarmakem je 2-deoxy-2-(¹⁸F)fluoro-D-glukóza (FDG). Vzhledem k nespecifické povaze své distribuce umožňuje užití i v diagnostice zánětu, kdy její zvýšená akumulace reflektuje nárůst metabolického obratu v aktivovaných buněčných elementech zprostředkujících zánětlivou reakci. V neperfuzní kardiologické diagnostice se FDG PET/CT uplatňuje především při detekci zánětlivých postižení srdečních kompartmentů, popř. implantabilních materiálů. Vzácně může přispět při lokalizaci neoplastického postižení srdce. V přehledovém článku jsou prezentovány aktuální literární poznatky a zkušenosti z klinické praxe.

© 2020, ČKS.

ABSTRACT

The positron emission tomography combined with computer tomography (PET/CT) is a well established imaging modality in the oncological practice. The most frequently used radiopharmaceutical is 2-deoxy-2-(¹⁸F)fluoro-D-glucose (FDG). Due to the unspecific nature of its biodistribution high uptake of FDG reflects also increased metabolic turnover in the cells mediating inflammatory reaction. The most important role of FDG PET/CT in cardiac non-perfusion imaging is in the detection of the inflammation of the heart compartments, ev. implantable devices. The neoplastic diseases of the heart represent another (less frequent) possible role for PET imaging. A review of literature and clinical experiences are presented in this review article.

Keywords:

Cardiovascular inflammation

PET

PET/CT

Positron emission tomography

Úvod

Pozitronová emisní tomografie (PET) je zobrazovací modalitou nukleární medicíny (NM), při které dochází k převodu β⁺ záření emitovaného radiofarmakem (RF) aplikovaným pacientovi na obrazovou informaci.

RF pro PET se obvykle skládá ze dvou komponent – radioaktivní složky, kterou je zářič s β⁺ přeměnou (nejčastěji ¹⁸F, ⁶⁸Ga), který slouží jako signální molekula a z neradioaktivní, tzv. vazebné molekuly (např. D-glukóza nebo analoga oktreotidu), která určuje distribuci RF v organismu. Intenzita zachyceného a zobrazeného ionizačního záření signální molekuly (β⁺ zářiče) pak reflektuje lokalitu, distribuci a koncentraci molekuly vazebné.

V současnosti je PET používána prakticky výhradně jako součást hybridních systémů v kombinaci s výpočetní tomografií (CT) nebo magnetickou rezonancí (MR), tedy jako PET/CT, popř. PET/MR, a proto bude v dalším textu zkratka

PET používána ve smyslu PET jako součást hybridního přístroje, bez určení druhé modality. Integrace a přesná registrace s radiologickými metodami, dosažená při snímání v jedné době, přináší tři základní výhody: zpřesnění anatomické lokalizace, strukturální informace, dále možnost tzv. korekce na zeslabení signálu PET (zlepšuje kvalitu PET obrazu.)

PET je nejintenzivněji využívána v onkologické diagnostice. Nejčastěji používaným radiofarmakem je 2-deoxy-2-(¹⁸F)fluoro-D-glukóza (FDG). Vzhledem k nespecifické povaze své distribuce umožňuje užití i v diagnostice zánětu, kdy její zvýšená akumulace reflektuje nárůst metabolického obratu v aktivovaných buněčných elementech zprostředkujících zánětlivou reakci.

V rámci neperfuzní kardiologie je PET využívána nejčastěji k detekci zánětů srdce a cév (např. infekční endokarditidy, myokarditid, vaskulitid a dalších klinických jednotek), méně často pak u relativně vzácného srdečního postižení neoplastickými procesy.

Adresa pro korespondenci: MUDr. David Zogala, Ústav nukleární medicíny, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Všeobecná fakultní nemocnice v Praze, U Nemocnice 5, 128 08 Praha 2, e-mail: david.zogala@vfn.cz

DOI: 10.33678/cor.2020.036

Přes výrazný technologický vývoj zůstává diagnostika zánětů srdce a cév v řadě případů výzvou. Epidemiologicky se jedná o relativně vzácné klinické jednotky, dopad na osud nemocného mají však zásadní, nezdědka letální. Oproti historii dochází v rozvinutém světě ke změně predisponujících etiologických faktorů a fenotypu chorob. Díky důsledné antibiotické léčbě ubývá incidence poststreptokokových revmatických následků. Naopak pozorujeme delší přežívání populace, na němž se mj. podílí i kardiochirurgická a endovaskulární protetiky a implantabilní elektronické podpůrné systémy oběhu. Přibývá tak pacientů s trvalou přítomností cizorodého materiálu v těle, které jsou pro zachycení a rozvoj kolonií patogenů, potažmo infekčního zánětu jedním z predisponujících faktorů. Specifickou rizikovou skupinou s narůstajícím podílem v populaci jsou intravenózní narkomani a imunosuprimovaní jedinci.¹

Klinické a laboratorní projevy kardiovaskulárních zánětů bývají nespecifické. Konvenční zobrazování může být limitováno velikostí zánětlivých lézí a diskrétními anatomickými projevy zánětu, zejména v situacích chronických low-grade infekcí. Přitom přesná lokalizační diagnostika výrazně ovlivňuje přežití pacienta, umožňuje např. volit cílený chirurgický výkon.²

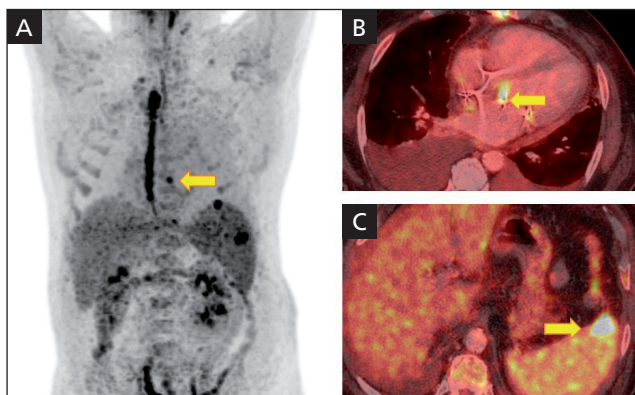
Funkční zobrazení zánětem indukovaného hypermetabolismu pomocí FDG PET umožňuje zobrazit infekční i aseptické zánětlivé pochody v situacích frustrujícího nálezu morfologických zobrazovacích metod a zejména při komplexní interpretaci může podstatně zvýšit jejich diagnostickou přesnost. Stalo se tak již etablovanou modalitou pro řadu klinických jednotek. Výhodou je i možnost detekovat i jiné zdroje zánětu či febrilií.³⁻⁵

Práce přehledově zpracovává současný stav problematiky použití FDG PET v neperfuzní kardiologické diagnostice dle literárních poznatků a zkušeností z klinické praxe. Veškerá použitá obrazová dokumentace je z archivu pracoviště autora.

Infekční endokarditida

Infekční endokarditida (IE) je zánět endokardu, nejčastěji v oblasti srdeční chlopně. Vzácněji může být postižen i endokard nástěnný či přidružená cizí tělesa (např. elektrody stimulačního systému). Podle typu postižené chlopně se dělí na IE nativní chlopně (NVE) a IE chlopně protetické (PVE). PVE se pak rozděluje podle časového průběhu na IE časnou (do jednoho roku po implantaci chlopně) a IE pozdní. Zvláště se vyčleňuje IE postihující i.v. narkomany. Dále je charakterizována lokalizací, vyvolávajícím agens a epidemiologií (nozokomiální versus komunitní). Průměrná incidence IE se udává 1,9–6,2 případu na 100 000 obyvatel ročně (může být vyšší v rizikových populacích). Mortalita může dosahovat až 40 % u stafylokokových infekcí a až 80 % u mykotických.⁶

Konvenční diagnostika IE je založena na kombinaci klinických příznaků, laboratorních nálezů a nálezu echokardiografie (preferenčně transezofageální) skórovaných podle Duke kritérií, resp. jejich poslední modifikace v příslušném evropském doporučení několika odborných společností.^{3,7,8} IE je pak zhodnocena jako „definitivní“, „vyloučená“, popř. „možná/vyloučená, ale s trvajícím vysokou



Obr. 1 – Infekční endokarditida biologické mitrální náhrady: (A) Hyperaktivita náhrady (šipka), emboly ve slezině, aktivita sternotomie, (B) hyperaktivity v oblasti protézy, (C) septický embolus ve slezině

suspekci“. Radionuklidové zobrazování bylo do diagnostického algoritmu zařazeno v roce 2015 na základě evidence ukazující, že přesnost Duke kritérií pro IE se může po jeho implementaci zvýšit zejména v kategorii „možná IE“ u pacientů s chlopenní náhradou.⁹⁻¹¹ V aktuální verzi doporučení Evropské kardiologické společnosti (ESC)³ je tedy k dalšímu potvrzení „možné“ diagnózy PVE doporučeno mj. provést FDG PET/CT (je-li odstup od implantace chlopenní náhrady delší než tři měsíce – arbitrární hodnota, k omezení vlivu interferujících fyziologických pooperačních změn) nebo SPECT/CT se značenými leukocyty (WBC). U NVE může být FDG PET indikováno k průkazu septických embolizací (výhoda celotělového vyšetření). Ke zvážení je použití radionuklidových zobrazovacích metod při podezření na infekci implantabilních elektronických stimulačních systémů, síla důkazu je však nižší (IIb, C). Příklad nálezu u pacienta s IE je patrný na obrázku 1.

Pro úspěšné zobrazení zánětlivé léze (nejčastěji vegetace na chlopenním aparátu, projevující se jako hypermetabolický fokus) je nutná specifická úprava metodiky s dosažením přesmyknutí metabolismu myokardu do stavu, kdy je hlavním zdrojem energie β -oxidace volných mastných kyselin a jsou potlačeny glykolytické děje, takže nedochází ke zvýšené akumulaci FDG v myokardu. Ta jinak vytváří v oblasti srdce výrazně zvýšené pozadí, které může zánětlivé ložisko maskovat, popř. imitovat. K dosažení suprese fyziologické akumulace FDG v myokardu se používají tři postupy, které mají za účel především navýšit nabídku cirkulujících volných mastných kyselin a redukovat inzulinemii:

- protrahované lačnění,
- dieta s redukcí sacharidů a zvýšeným obsahem tuků a proteinů v den předcházející vyšetření, ev. doplněná o suplementaci doplňkem s vysokým obsahem tuků bezprostředně před vyšetřením,
- intravenózní aplikace nefrakcionovaného heparinu (stimuluje lipoproteinovou lipázu).¹²⁻¹⁴

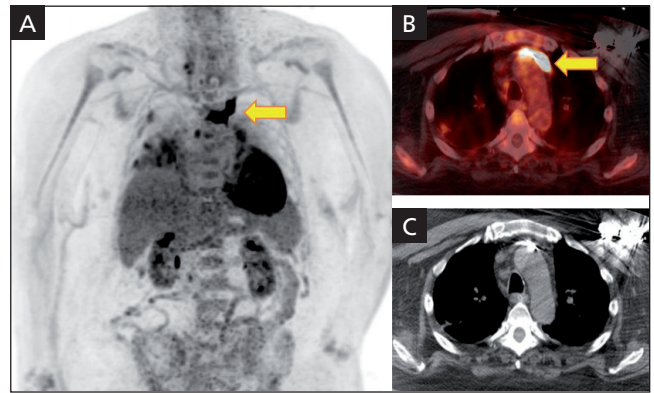
Komplexní přehledová práce autorů Osborne a spol. ukázala, že nejlepší výsledky se dosahuje kombinací výše uvedených možností, není vhodné opatření nasazovat izolovaně. Doporučeným postupem je v období předcházejícím vyšetření restrikce sacharidů, podání alespoň dvou jídel s vysokým obsahem tuků a lačnění min. čtyři

hodiny před vyšetřením. Alternativou je v den před vyšetřením podat poslední jídlo s vysokým obsahem tuků, minimalizací příjmu sacharidů, lačnění přes noc do vyšetření a i.v. aplikace nefrakcionovaného heparinu.¹³ Aktuální doporučení Evropské asociace nukleární medicíny cituje doporučení americké Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, doporučena je po dobu 12–24 hodin restrikce sacharidů a dieta s vysokým obsahem tuků, lačnění 12–18 hodin a/nebo intravenózní podání nefrakcionovaného heparinu v dávce 15–50 IU/kg 15 minut před aplikací FDG.^{14,15} Takto by centrum mělo optimální suprese fyziologické akumulace v myokardu dosáhnout v minimálně 80 % případů. Spolupráce PET centra a indikujícího klinika v oblasti edukace a přípravy pacienta je pro dosažení optimální obrazové kvality a diagnostické jistoty klíčová.

FDG PET/CT v přehledovém článku autorů Gomes a spol. pro diagnózu PVE vykázalo senzitivitu 73–100 %, specificitu 71–100 %, pozitivní prediktivní hodnotu (PPV) 50–100 % a negativní prediktivní hodnotu 50–100 %. Pokud byl abnormální nález na FDG PET/CT přidán jako součást modifikace Duke kritérií, jejich senzitivita stoupla z 52–70 % na 91–97 %.¹⁶ Další zpřesnění diagnostiky umožňuje provedení CT části vyšetření v režimu CT angiografie (arteriální fáze podání kontrastní látky umožňuje detailnější posouzení srdečních struktur, detekci leaku, perivalvulárního abscesu apod.).^{17,18}

Naopak dostupná data převážně ukazují nedostatečnou diagnostickou přesnost FDG PET/CT v diagnostice NVE.^{16,19} Celková senzitivita v metaanalýze autorů Cantoni a spol. byla 71 %.¹⁹ Limitací pro detekovatelnost jsou zřejmě malé rozměry zánětlivých vegetací a větší vliv pohybových artefaktů u vegetací na listech chlopně.¹⁴ Jak již bylo zmíněno výše, v této situaci může FDG PET/CT spíše než k primární diagnóze NVE přispět k detekci septické embolizace,^{3,14,20} která může mít zásadní dopad na léčbu a je zahrnuta mezi „minor“ modifikovaná Duke kritéria. Recentní práce autorů Abikhzer a spol. na skupině 54 pacientů s NVE prokázala pro FDG PET/CT senzitivitu 68 % a specificitu 100 %. Výsledky byly lepší než pro samostatné užití Duke kritérií, naopak začlenění PET jako „major“ kritéria přesnost Duke kritérií zvýšilo.²¹ Je tedy možné, že se role FDG PET u NVE bude dále vyvíjet.

Různorodost vzorců distribuce akumulace v oblasti srdce, ev. důsledcích kardiokirurgických zákroků vyžaduje komplexní mezioborovou orientaci v problematice, znalost fyziologických artefaktů a možných zdrojů falešné positivity. Za obvyklé diagnostické kritérium pro potvrzení IE se považuje fokálně výrazně zvýšená akumulace. Je však nutno především odlišit varianty způsobené nedostatečnou supresí kardiálního sacharidového metabolismu (aktivita v papilárním svalu, akumulace v oblasti bazálního prstence srdce) a pooperační aseptické reakce na cizorodý materiál. Difúzně mírně zvýšená akumulace může v oblasti chlopně perzistovat dlouhodobě, výraznější fokální aktivita bývá pozorována v podpurném aparátu chlopnenních náhrad, v tzv. strutech. Velmi intenzivní, často však symetrickou aktivitu vyvolává použití chirurgických tkáňových lepidel, která se užívají k zajištění sutury a indukují sterilní zánět. Vzácnější variantou může být aktivní organizující se trombus či srdeční neoplazie.^{14,22,23} Pro správnou interpretaci je nenahraditelné komplexní



Obr. 2 – Infekční endokarditida elektrody implantabilního defibrilátoru: fokální hyperaktivita v oblasti průběhu elektrody (šipky). (A) MIP, (B) axiální fúze PET/CT, (C) CT. CT – výpočetní tomografie; MIP – maximum intensity projection; PET/CT – pozitronová emisní tomografie kombinovaná s výpočetní tomografií.

posouzení nálezu v kontextu všech ostatních klinických informací, evropská doporučení akcentují multidisciplinární management pacientů s IE v rámci tzv. endocarditis team.³

Aktualizace doporučení ESC přinesla pro diagnostiku IE také posílení role WBC, zejména s použitím technologie SPECT/CT.³ Oproti FDG PET/CT je její výhodou vyšší specificita a menší možnost ovlivnění nálezu výše popsanými artefakty, včetně pooperačních změn. Dosahuje však nižší senzitivity (limitace nižším fyzikálním rozlišením konvenční scintigrafie), oproti PET/CT je logisticky náročnější.^{10,11}

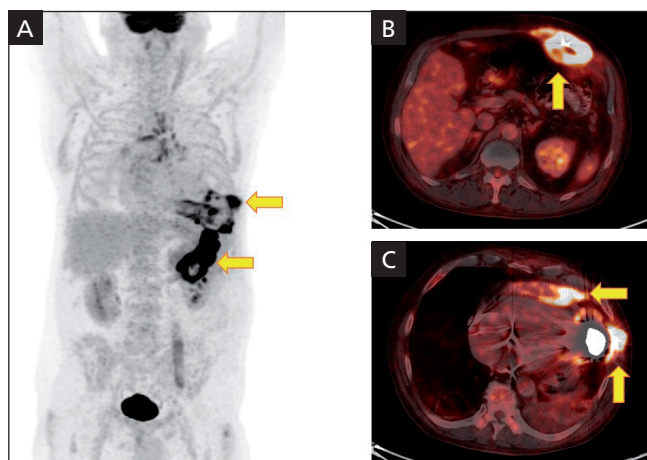
Záněty elektronických stimulačních implantabilních systémů

V populaci přibývá pacientů s implantovanými elektronickými systémy podpory oběhu – implantabilními kardiostimulátory (KS) a kardiovertery-defibrilátory (ICD). I ty představují cizorodý materiál s možností infekce a zánětlivého postižení. Rozlišují se infekce vlastního stimulatoru a jeho kapsy od infekcí elektrod. Senzitivita FDG PET/CT se pro detekci IE v oblasti KS či ICD pohybuje v dostupných metaanalýzách v rozmezí 80–89 %, specificita 86–100 %. Vyšší hodnoty jsou pozorovány v oblasti stimulatoru/kapsy (93–96 % a 97–98 %) než pro detekci IE v oblasti elektrod (65–76 % a 83–88 %).^{14,16,19,24,25} Důvodem je zřejmě opět možný menší rozměr lézí na vodičích, které tak mohou být pod prostorovým detekčním prahem PET/CT systému.

Jak zmíněno výše, FDG PET lze dle aktuálních doporučení považovat pro diagnózu zánětu KS/ICD za možnost volby s relativně nižší silou důkazů než pro PVE. Příklad nálezu u pacienta s IE stimulační elektrody je zachycen na obrázku 2.

Záněty podpurných oběhových systémů

Se zvyšujícím se průměrným věkem dožití v populaci narůstá kardiologické morbidita a přibývá pacientů s preterminální či terminální fází srdečního selhání. Práci selhávající levé komory lze nahradit nitrohruďní implantací



Obr. 3 – Infekce LVAD: (A) infekce vodiče a lůžka LVAD (šípky), (B) infekční tekutinová kolekce v okolí vodiče LVAD (šípka), (C) infekce lůžka LVAD (vertikální šípka) a trubice (horizontální šípka). LVAD – levostranná mechanická srdeční podpora.

levostranné mechanické srdeční podpory (left ventricular assist device, LVAD). Jedná se o čerpadlo napojené na levou komoru a aortu, napájené externím zdrojem perkutánně zavedeným vodičem, které přečerpává krev a kompenzuje ztrátu funkce levé komory. Používá se jako přemostující řešení do orgánové transplantace srdce, popř. jako řešení definitivní, pokud není transplantace možná.

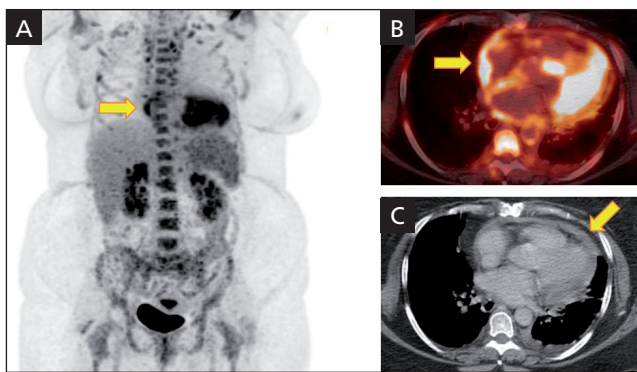
Závažnou komplikací LVAD je, stejně jako u každého tělesa z cizího materiálu, infekce. Infikovat se může podkoží v místě vstupu vodiče, průběh vodiče i vlastní čerpadlo (obr. 3). Spolehlivá diagnóza a lokalizace zánětu výrazně ovlivňuje volbu terapeutického postupu (konzervativní antibiotická léčba vs. chirurgická výměna podpůrného systému). FDG PET/CT vykazuje pro detekci zánětlivých komplikací LVAD celkovou senzitivitu 92 % a specifitu 83 %.²⁶ Metoda dokáže odlišit lokalizaci jednotlivých částí LVAD, umožňuje detekci jiného zdroje zánětu a až v 85 % případů mění terapeutický management.²⁷

Perikarditidy

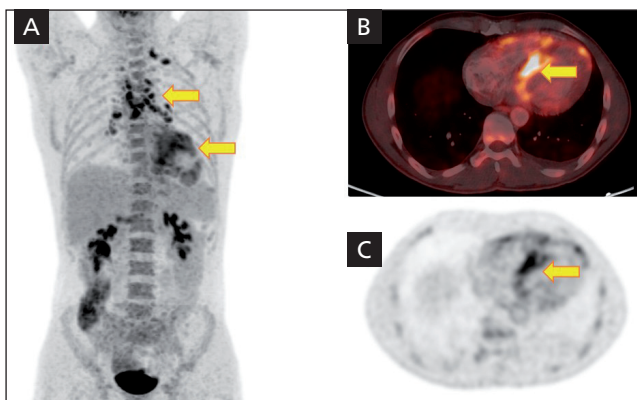
Záněty perikardu mohou mít různé spektrum projevů a etiologií – od obvykle benigního průběhu akutní virové perikarditidy po závažné a život ohrožující bakteriální či tuberkulózní perikarditidy spojené s konstrikcí a tamponádou srdeční. Diagnostika je opět multifaktoriální, důležitou roli hraje echokardiografie, která umožňuje citlivou detekci přítomnosti perikardiálního výpotku či strukturálních změn perikardu, méně přesná je však v odlišení zánětlivých dějů. Vysokou senzitivitu vykazuje MR.

Objem literatury objektivizující přínos FDG PET v léčbě chorob perikardu je poměrně malý. Zvýšená akumulace FDG v perikardu může přispět k diagnóze perikarditidy, navigovat místo biopsie, detekovat septickou embolizaci (popř. primární zánětlivý fokus). Může přinést prognostickou informaci o potenciálním efektu systémové protizánětlivé léčby u konstriktivní perikarditidy. Velmi účinnou modalitou je při detekci tuberkulózní perikarditidy, kdy

přináší informaci o postižení dalších orgánů, především plic a uzlin. FDG PET je přínosná při posouzení možné maligní infiltrace perikardu u nádorových onemocnění, dále při diferenciální diagnostice perikardiálního výpotku nejasné etiologie.^{28,29} Příklad nálezu u infekční perikarditidy přináší obrázek 4. I pro procesy perikardu je vhodná supresní dietní příprava (k odlišení ev. postižení myokardu či viscerálního listu perikardu).



Obr. 4 – Infekční perikarditida: (A) MIP s hyperaktivitou v oblasti perikardu (šípka), (B) nehomogenně zvýšená akumulace v oblasti perikardu s fokálními maximy (šípka), suboptimální suprese fyziologické aktivity myokardu, (C) CT nález – perikardiální výpotek (šípka). CT – výpočetní tomografie; MIP – maximum intensity projection.



Obr. 5 – Histologicky verifikovaná velkobuněčná myokarditida u mladého sportovce: (A) postižení srdce a lymfadenopatie (šípky), (B, C) maximum postižení v oblasti septa komor (šípka)

Myokarditidy

Zánětlivé postižení myokardu může mít řadu infekčních i aseptických příčin. Definitivní diagnózu určuje histopatologické vyšetření, které však často vykazuje falešnou negativitu. Zisk reprezentativního biopsického vzorku je v oblasti srdce dále zatížen periprocedurálním rizikem závažných komplikací (perforace stěny, pneumotorax). V neinvazivní diagnostice myokarditidy je metodou volby MR, která umožňuje detekovat různé projevy zánětlivé aktivity (např. T2 vážené sekvence prokazují edém, T1 vážené sekvence a pozdní sycení gadoliniovým kontrastem fibrózu, lze zobrazit i sekundární známky zánětu jako perikardiální výpotek či poruchy funkce). Senzitivita srdeční MR pro de-

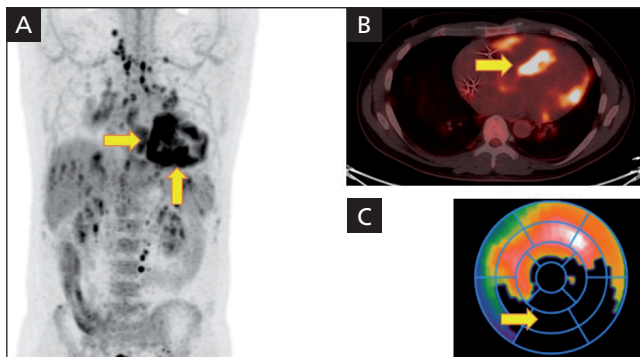
tekci myokarditidy se pohybuje mezi 40–80 %, může být limitována při odlišení akutního a chronického zánětu.^{29–32} Právě v této indikaci může být přínosná metabolická informace z FDG PET, ideálně ze systému PET/MR. Akutní zánět obvykle vykazuje zvýšenou akumulaci FDG (obr. 5). Dále může FDG PET detekovat zánět v časném stadiu, kdy ještě morfologické známky na MR vyjádřeny nejsou.^{29,31,32} Klíčové je opět dosažení suprese fyziologické akumulace FDG v myokardu.

Srdeční sarkoidóza

Sarkoidóza je systémové onemocnění charakterizované tvorbou ložisek granulomatózního zánětu. Predilekčně postihuje plicé a lymfatické uzliny, může však postihnout jakýkoliv orgán. Srdeční postižení se klinicky manifestuje u přibližně 10 % pacientů se sarkoidózou, zodpovídá však až za 25 % úmrtí. Autoptické studie srdeční postižení detekují u 20–50 % pacientů.³³

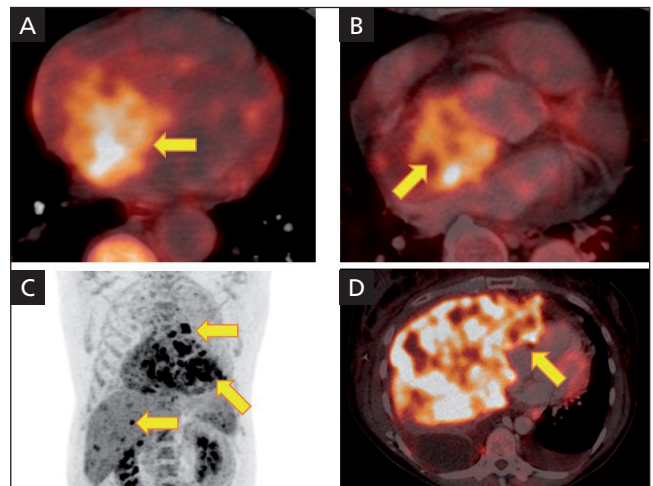
Senzitivita FDG PET pro detekci ložisek aktivní sarkoidózy je obecně vysoká (až 97 % pro uzlinové postižení), může pomoci s navigací biopsie, upřesnit rozsah choroby či sloužit jako prognostický marker.³⁴

Pro detekci srdečního postižení sarkoidózou platí u FDG PET podobné předpoklady jako u průkazu myokarditid. Je nutné dosažení dostatečné suprese



Obr. 6 – Systémová sarkoidóza se srdečním postižením: ložiskové hyperaktivity v srdci, uzlinách, játrech, slezině, plicích a kostní dřeni. (A) MIP u postižení srdce, nejvíce septa a spodní stěny (šipky), (B) typický nálezní ložiskového postižení septa (šipka), (C) klidový perfúzní scintigram s korelujícím perfúzním defektem v oblasti spodní stěny (typický obraz perfúzně-metabolického mismatch). MIP – maximum intensity projection.

metabolismu FDG v myokardu převodem na β -oxidaci volných mastných kyselin. Nejčastěji bývá postiženo mezikomorové septum, za diagnosticky se považuje záchyt fokálních hyperaktivit. Při pozitivitě je vyšetření pro další zpřesnění nálezu možné doplnit klidovou perfúzní scintigrafií (ev. PET) myokardu, v lézích sarkoidózy by měla být intenzita akumulace perfúzních radiofarmak snižena (metabolicko-perfúzní mismatch) – příklad nálezů na obrázku 6. Celková senzitivita FDG PET pro detekci srdeční sarkoidózy byla v metaanalýze z roku 2018 89 % a specifita 78 %.³⁵ Představuje tak možnou alternativu MR, např. v případě přítomnosti kontraindikace k jejímu provedení.



Obr. 7 – FDG-avidní nádorové léze srdce: (A) myxom pravé síně, (B) regresivně změněná lipomatózní hypertrofie interatriálního septa, (C) pokročilý angiosarkom srdce (šikmá šipka) s metastázami jater a uzlin (horizontální šipky), (D) infiltrace pravostranných srdečních oddílů rozsáhlým primárním mediastinálním B lymfomem

Nádory srdce

Primární tumory srdce jsou vzácnou klinickou jednotkou, většinu (75 %) tvoří benigní nádory, z nichž se přibližně v polovině případů jedná o myxomy. Dále se mohou vyskytovat pseudotumory typu organizujících se trombů, vegetací či lipomatózní hypertrofie septa. Primární maligní tumory tvoří přibližně 25 % všech srdečních nádorů, nejčastěji se jedná o angiosarkom a rhabdomyosarkom s potenciálem agresivního, invazivního průběhu nemoci. Sekundární metastatické postižení neoplastickým procesem jiného origa je výrazně častější (v autoptických studiích se frekvence metastatického postižení srdce udává v 2,9–8,4 % případů). Mezi nádory do srdce nejčastěji metastazující patří tumory plic, prsu, ledvin, maligní melanom a lymfomy. Prognóza srdečních nádorů je nepříznivá, terapeutické možnosti jsou zejména v případě primárních maligních nádorů omezené. Dosažení kompletní chirurgické resekce je základem, vzhledem k lokalitě však obtížně dosažitelným. Lokalita také limituje možnosti radio-terapie a nízká prevalence těchto nádorů vede k nedostatečnému penzu zkušeností s chemoterapií.³⁶

V zobrazovací diagnostice srdečních nádorů se primárně uplatňuje echokardiografie, popř. MR. Role FDG PET u srdečních nádorů je díky nízkému výskytu literárně popsána především na úrovni kazuistických sdělení. Přínos může mít v charakterizaci primárních expanzí srdce (odlišení maligních lézí od benigních), při stanovení rozsahu postižení, při detekci vzdálených metastáz, ev. k monitoringu efektu léčby.

Relevantní systematické studie analyzující FDG PET/CT jsou aktuálně dostupné dvě, na spíše menších pacientských skupinách. Rahbar a spol. prokázali u 24 pacientů schopnost PET odlišit na základě intenzity akumulace FDG maligní léze srdce od benigních se senzitivitou 100 % a specifitou 86 %.³⁷ Nedávná práce autorů Qin a spol. u 64 pacientů prokázala pro odlišení maligních nádorů pro samostatnou FDG PET senzitivitu 92 % a specifitu 89 %, při integrativním hodnocení PET/CT senzitivitu 95 % a specifitu 89 %.³⁸

Pilotní analýza PET/MR u 20 pacientů se srdečními nádory dokumentovala pro PET v odlišení maligních ložisek senzitivitu 100 % a specifitu 92 %, komplexní hodnocení samostatné MR části vyšetření dosáhlo shodných výsledků. Integrativní analýza PET a MR parametrů dosáhla senzitivity i specifity 100 %.³⁹

Přesto, že primární charakterizace ložisek srdce pomocí FDG PET z dosavadních limitovaných zkušeností dosahuje relativně vysoké úspěšnosti, není s jistotou validováno, zda podle jeho výsledku definovat léčebný postup (např. upustit od chirurgického výkonu u FDG-neavidní léze). Hlavním klinickým přínosem FDG PET u srdečních tumorů je, stejně jako u ostatních malignit, detekce metastáz. Příklady FDG PET/CT nálezů tumorózních lézí srdce jsou prezentovány na obrázku 7 – je právě patrné, že i benigní léze mohou vykazovat vysokou akumulaci FDG (myxom na obrázku 7A, zánětlivě změněná lipomatózní hypertrofie interatriálního septa⁴⁰ na obrázku 7B).

Závěr

Hlavní role FDG PET/CT v neperfuční kardiologii je v detekci zánětlivých a vzácněji neoplastických procesů srdce. Lze očekávat nárůst jeho významu s dalším technologickým rozvojem přístrojů spojeným se zlepšováním obrazové kvality, ev. s příchodem nových, specifitějších radiofarmak. Pravděpodobně poroste i význam PET/MR.

Prohlášení autora o možném střetu zájmů

Autor vylučuje střet zájmů.

Financování

Vznik článku nebyl finančně podporován žádným privátním ani akademickým subjektem.

Prohlášení autora o etických aspektech publikace

Ilustrativní obrazová dokumentace je ve všech případech z archivu klinické praxe autora, plně anonymizována a vylučuje identifikaci pacientů. Práce neobsahuje pasáže problematické z etického hlediska.

Literatura

- Prendergast BD. The changing face of infective endocarditis. *Heart* 2006;7:879–885.
- Spacek M, Belohlavek O, Votruba J, et al. Diagnostics of “non-acute” vascular prosthesis infection using 18F-FDG PET/CT: our experience with 96 prostheses. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009;5:850–858.
- Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of infective endocarditis: The Task Force for the Management of Infective Endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J* 2015;44:3075–3128.
- Slart RH. FDG-PET/CT(A) imaging in large vessel vasculitis and polymyalgia rheumatica: joint procedural recommendation of the EANM, SNMMI, and the PET Interest Group (PIG), and endorsed by the ASNC. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018;7:1250–1269.
- Sethi I, Baum YS, Grady EE. Current Status of Molecular Imaging of Infection: A Primer. *AJR Am J Roentgenol* 2019;2:300–308.
- Beneš J, Gregor P, Mokráček A. Infekční endokarditida. Doporučené postupy diagnostiky, léčby, dispenzarizace a profylaxe. *Cor Vasa* 2007;49:106–120.
- Durack DT, Lukes AS, Bright DK. New criteria for diagnosis of infective endocarditis: utilization of specific echocardiographic findings. Duke Endocarditis Service. *Am J Med* 1994;3:200–209.
- Li JS, Sexton DJ, Mick N, et al. Proposed modifications to the Duke criteria for the diagnosis of infective endocarditis. *Clin Infect Dis* 2000;4:633–638.
- Saby L, Laas O, Habib G, et al. Positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of prosthetic valve endocarditis: increased valvular 18F-fluorodeoxyglucose uptake as a novel major criterion. *J Am Coll Cardiol* 2013;23:2374–2382.
- Rouzet F, Chequer R, Benali K, et al. Respective performance of 18F-FDG PET and radiolabeled leukocyte scintigraphy for the diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *J Nucl Med* 2014;12:1980–1985.
- Erba PA, Conti U, Lazzeri E, et al. Added value of 99mTc-HMPAO-labeled leukocyte SPECT/CT in the characterization and management of patients with infectious endocarditis. *J Nucl Med* 2012;8:1235–1243.
- Williams G, Kolodny GM. Suppression of myocardial 18F-FDG uptake by preparing patients with a high-fat, low-carbohydrate diet. *AJR Am J Roentgenol* 2008;2:151–156.
- Osborne MT, Hulten EA, Murthy VL, et al. Patient preparation for cardiac fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging of inflammation. *J Nucl Cardiol* 2017;1:86–99.
- Erba PA, Lancellotti P, Vilacosta I, et al. Recommendations on nuclear and multimodality imaging in IE and CIED infections. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018;10:1795–1815.
- Dorbala S, Di Carli MF, Delbeke D, et al. SNMMI/ASNC/SCCT guideline for cardiac SPECT/CT and PET/CT 1.0. *J Nucl Med* 2013;8:1485–1507.
- Gomes A, Glaudemans AWJM, Touw DJ, et al. Diagnostic value of imaging in infective endocarditis: a systematic review. *Lancet Infect Dis* 2017;17:e1–e14.
- Pizzi MN, Roque A, Fernandez-Hidalgo N, et al. Improving the Diagnosis of Infective Endocarditis in Prosthetic Valves and Intracardiac Devices With 18F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography Angiography: Initial Results at an Infective Endocarditis Referral Center. *Circulation* 2015;12:1113–1126.
- Pizzi MN, Roque A, Cuellar-Caballero H, et al. (18)F-FDG-PET/CTA of Prosthetic Cardiac Valves and Valve-Tube Grafts: Infective Versus Inflammatory Patterns. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;10:1224–1227.
- Cantoni V, Sollini M, Green R, et al. Comprehensive meta-analysis on [18F] FDG PET/CT and radiolabelled leukocyte SPECT-SPECT/CT imaging in infectious endocarditis and cardiovascular implantable electronic device infections. *Clinical and Translational Imaging* 2018;1:3–18.
- Van Riet J, Hill EE, Gheysens O, et al. (18)F-FDG PET/CT for early detection of embolism and metastatic infection in patients with infective endocarditis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010;6:1189–1197.
- Abikhzer G, Martineau P, Gregoire J, et al. [(18)F]FDG-PET CT for the evaluation of native valve endocarditis. *J Nucl Cardiol* 2020 Mar 16. doi: 10.1007/s12350-020-02092-6. Epub ahead of print. PMID: 32180137.
- Maurer AH, Burshteyn M, Adler LP, et al. How to differentiate benign versus malignant cardiac and paracardiac 18F FDG uptake at oncologic PET/CT. *Radiographics* 2011;5:1287–1305.
- Scholtens AM, Swart LE, Verberne HJ, et al. Confounders in FDG-PET/CT Imaging of Suspected Prosthetic Valve Endocarditis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;12:1462–1465.
- Mahmood M, Kendi AT, Ajmal S, et al. Meta-analysis of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol* 2019;3:922–935.
- Juneau D, Golfam M, Hazra S, et al. Molecular Imaging for the diagnosis of infective endocarditis: A systematic literature review and meta-analysis. *Int J Cardiol* 2018:183–188.

26. Tam MC, Patel VN, Weinberg RL, et al. Diagnostic Accuracy of FDG PET/CT in Suspected LVAD Infections: A Case Series, Systematic Review, and Meta-Analysis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020;13:1191–1202.
27. Dell'Aquila AM, Mastrobuoni S, Alles S, et al. Contributory Role of Fluorine 18-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography in the Diagnosis and Clinical Management of Infections in Patients Supported With a Continuous-Flow Left Ventricular Assist Device. *Ann Thorac Surg* 2016;1:87–94.
28. Kim MS, Kim EK, Choi JY, et al. Clinical Utility of [(18)F]FDG-PET/CT in Pericardial Disease. *Curr Cardiol Rep* 2019;9:107–113.
29. Lawal I, Sathekge M. F-18 FDG PET/CT imaging of cardiac and vascular inflammation and infection. *Br Med Bull* 2016;1:55–74.
30. Grani C, Eichhorn C, Biere L, et al. Prognostic Value of Cardiac Magnetic Resonance Tissue Characterization in Risk Stratifying Patients With Suspected Myocarditis. *J Am Coll Cardiol* 2017;16:1964–1976.
31. Nensa F, Bamberg F, Rischpler C, et al. Hybrid cardiac imaging using PET/MRI: a joint position statement by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR) and the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Radiol* 2018;10:4086–4101.
32. Rischpler C, Woodard PK. PET/MR Imaging in Cardiovascular Imaging. *PET Clin* 2019;2:233–244.
33. Chareonthaitawee P, Beanlands RS, Chen W, et al. Joint SNMMI-ASNC Expert Consensus Document on the Role of (18)F-FDG PET/CT in Cardiac Sarcoid Detection and Therapy Monitoring. *J Nucl Med* 2017;8:1341–1353.
34. Piekarski E, Benali K, Rouzet F. Nuclear Imaging in Sarcoidosis. *Semin Nucl Med* 2018;3:246–260.
35. Kim SJ, Pak K, Kim K. Diagnostic performance of F-18 FDG PET for detection of cardiac sarcoidosis; A systematic review and meta-analysis. *J Nucl Cardiol* 2019 Jan 2. doi: 10.1007/s12350-018-01582-y. Epub ahead of print. PMID: 30603894.
36. Saponara M, Ambrosini V, Nannini M, et al. (18)F-FDG-PET/CT imaging in cardiac tumors: illustrative clinical cases and review of the literature. *Ther Adv Med Oncol* 2018;10:1758835918793569.
37. Rahbar K, Seifarth H, Schafers M, et al. Differentiation of malignant and benign cardiac tumors using 18F-FDG PET/CT. *J Nucl Med* 2012;6:856–863.
38. Qin C, Shao F, Hu F, et al. (18)F-FDG PET/CT in diagnostic and prognostic evaluation of patients with cardiac masses: a retrospective study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2020;5:1083–1093.
39. Nensa F, Tezgah E, Poeppel TD, et al. Integrated 18F-FDG PET/MR imaging in the assessment of cardiac masses: a pilot study. *J Nucl Med* 2015;2:255–260.
40. Rob D, Kuchynka P, Palecek T, et al. A rare case of regressively changed lipomatous hypertrophy of the interatrial septum presenting with anemia and recurrent fever. *Cardiovasc Pathol* 2016;2:161–164.