

Zobrazování myokardu pomocí SPECT a hybridního SPECT/CT a PET/CT vyšetření

Milan Kamínek^{1,2}, Iva Metelková¹, Miroslava Budíková¹,

Lenka Henzlová¹, Eva Buriánková¹, Radim Formánek¹

¹Klinika nukleární medicíny, LF UP a FN Olomouc

²Mezinárodní centrum klinického výzkumu – Centrum molekulárního zobrazování, FN u sv. Anny, Brno

Integrace CT do nukleárně kardiologických metod umožňuje neinvazivně zobrazovat kalcifikované i nekalcifikované pláty a zjišťovat jejich hemodynamickou významnost. CT koronarografie i zobrazování perfuze myokardu pomocí SPECT jsou nezávislými testy pro diagnostiku ICHS u pacientů se střední předtestovou pravděpodobností ischemické choroby srdeční. CT koronarografie může být vhodnější spíše při nižší až střední pravděpodobnosti nemoci (< 50 %), typicky u mladších pacientů, a pokud je normální, další test není nutný. Avšak abnormální nebo nejednoznačné nálezy na CT je nutné ověřit pomocí SPECT. V řadě případů je proto nezbytné hybridní zobrazování. Oproti samostatné CT koronarografii umožňuje kombinace SPECT/CT signifikantní zlepšení specifity a pozitivní prediktivní hodnoty. U rizikových pacientů s předpokladem nemoci více tepen (diabetes mellitus, dilatace levé komory apod.) může přidaná informace o kalciovém skóre nebo CT koronarografii vést ke zlepšení senzitivity SPECT nebo PET. Současně je však třeba mít na paměti, že kombinace více metod je nákladná a zvyšuje radiační zátěž.

Klíčová slova: SPECT, PET, CT koronarografie, koronární kalciové skóre.

Cardiac imaging using SPECT and hybrid SPECT/CT or PET/CT

Integration of CT and nuclear cardiology methods have enabled noninvasive imaging of calcified and non-calcified plaques and assessing of its hemodynamic significance. CT angiography or myocardial perfusion imaging with SPECT are independent tests recommended in patients with intermediate pre-test likelihood of coronary artery disease. CT angiography would probably be convenient in low to moderate likelihood (< 50 %), typically in younger patients, and when is normal, further tests are avoided. However, abnormal or equivocal findings have to be confirmed by SPECT. Thus, hybrid imaging is essential in many cases. Compared to CT angiography alone, the combination of SPECT/CT resulted in a significant increase in specificity and positive predictive value. In patients with probability of multivessel disease (diabetes mellitus, left ventricle dilatation, etc), the addition of calcium scoring or CT angiography can improve sensitivity of SPECT or PET. However, increase imaging costs and radiation doses associated with combination of more methods must be taken into consideration.

Key words: SPECT, PET, CT angiography, Coronary artery calcium score.

Interv Akut Kardiol 2012; 11(2): 68–74

Úvod

Významný pokrok v technologii výpočetní tomografie (CT) v posledních letech umožnil rychle se rozvíjející možnosti zobrazování, jako jsou stanovení koronárního kalciového skóre nebo vizualizaci koronárních tepen pomocí neinvazivní CT koronarografie. Stejně významný pokrok v současnosti prodělává i zobrazování perfuze a funkce myokardu jednofotonovou emisní tomografií (SPECT) nebo pozitronovou emisní tomografií (PET). Tyto radionuklidové metody umožňují posoudit funkční dopad stenóz zobrazených pomocí katetrizace koronárních tepen nebo CT koronarografie na mikrocirkulaci. Díky EKG synchronizovanému nahrávání dat (gated SPECT resp. PET) lze posoudit nejen perfuzi, ale i funkci levé komory během jednoho vyšetření. Pokud jsou SPECT nebo PET správně indikovány, vyznačují se velmi dobrou senzitivitou a specifičností pro detekci ischemické choroby srdeční (ICHS) a mají významnou prognostickou cenu (1–5). V posledních deseti letech máme k dispozici dobře ověřené nukleárně

kardiologické programy pro automatickou kvantifikaci rozsahu a závažnosti perfuzní abnormality a funkčních změn levé komory, kdy metoda gated SPECT umožňuje vizualizaci regionální kinetiky stěn levé komory, měření objemů v end-diastole a systole a kalkulaci ejekční frakce (EF). Podle evropských doporučení má být nyní např. u pacientů se stabilní anginou pectoris nebo něhou ischemií revaskularizace přednostně prováděna při průkazu > 10 % ischemického myokardu (pokud se nejedná o stenózu kmene, proximálního úseku ramus interventricularis anterior nebo nemoc více tepen) (3). A právě v této kvantifikaci závažnosti ischemie SPECT vyniká.

Neustále se zlepšující software i hardware zobrazovacích metod nyní dále umožňuje integraci jednotlivých modalit a rozvíjí se hybridní SPECT/CT a PET/CT (6, 7). V literatuře velmi rychle přibývá důkazů o zlepšení přesnosti diagnostiky ICHS při integraci CT do metodiky zobrazování perfuze myokardu (8–11), což se promítlo i ve změně názvu naší vrcholné konference i pracovní skupiny

při Evropské kardiologické společnosti – Nuclear Cardiology and Cardiac CT (12). Současně však s sebou téma hybridního zobrazování přináší i některé kontroverze (13), jako např.

- kteří pacienti profitují z těchto komplexních vyšetření,
- zda a případně u koho je výhodná paušální automatická integrace CT s obrazy perfuze (záchyt onemocnění bude nejlepší, avšak zvyšuje se cena i radiační zátěž),
- pokud se postupuje vylučovací metodou (další vyšetření doplněno až v případě potřeby), u koho má být provedeno jako zobrazení perfuze a u koho CT,
- zda a za jakých okolností je účelnější pořízení hybridní kamery nebo koupě a provoz dvou specializovaných přístrojů,
- kdy je nutná softwarová fúze obrazů,
- jaké CT zvolit u hybridní kamery.

V onkologii, především pak u metody PET/CT, byla řada z těchto otázek již dávno vyřešena a jed-

noznačně zvítězila koncepce jednoho hybridního přístroje. Interpretace metabolických a funkčních změn je v onkologii bez anatomické informace většinou nemožná, fúze obrazů z vyšetření provedených na dvou různých přístrojích je pak obvykle obtížnější pro změnu polohy těla. V současnosti je proto většina PET/CT přístrojů standardně dodávána s plnohodnotným 64řadým CT. Avšak v kardiologii a zejména pak při SPECT zobrazování myokardu, je volba mnohem složitější. Většina SPECT kamer je vybavována spíše tzv. low-dose CT, které umožňuje korekci na zeslabení a jednoduchou anatomickou lokalizaci, případně středně vyspělým CT s 6 až 16 řadami. V současnosti je na trhu pouze jedna SPECT kamera s 64řadým CT umožňujícím CT koronarografii (GE Discovery NM/CT 570c). Cena přístroje je však poměrně vysoká ve srovnání s kamerou pouze pro SPECT (takto vyspělé CT proporcionálně zvyšuje cenu mnohem více než u dražší PET technologie). Pro kombinaci SPECT a CT koronarografie se proto v tuto chvíli zdají být výhodnější dva samostatně stojící přístroje, přičemž CT může být dokonalejší (128 a více řadé), než by bylo v nejdražší možné hybridní kameře (záleží však samozřejmě i na jeho dostupnosti). Na rozdíl od onkologie se zdá, že fúze obrazů srdce z vyšetření provedených na dvou různých přístrojích nečiní zásadní problémy. Cílem tohoto sdělení je proto upozornit na současné možnosti hybridního SPECT/CT a PET/CT zobrazování a v jakých indikacích je klinicky přínosné do vyšetření integrovat CT a kdy naopak postačí samotné zobrazení perfuze a funkce levé komory.

Samostatné zobrazování perfuze a funkce levé komory

Samostatné SPECT vyšetření perfuze a funkce levé komory zůstává i nadále nejpoužívanější metodou nukleární kardiologie. Jedná se o jednoduchý test k průkazu, lokalizaci a kvantifikaci ischemie, jehož využívání se řídí doporučeními kardiologických společností (2, 14, 15). Metoda má velmi dobře ověřenou přesnost pro detekci ICHS se senzitivitou a specifitou > 85 % i významnou prognostickou cenu (3–5, 16, 17). U pacientů se stabilní anginou pectoris a střední předtestovou pravděpodobností ICHS se proto SPECT velmi dobře hodí jako vstupní vyšetření před invazivní koronarografií a případnou koronární revaskularizací. Dlouhodobým sledováním souborů s více než deseti tisíci pacienty bylo prokázáno, že normální nález na SPECT představuje nízké riziko závažné kardiální příhody menší než 1 % ročně. Rovněž bylo prokázáno, že pacienti s průkazem pouze mírné ischemie (do 10 % z levé komory a s limitovaným sumačním zátěžovým resp. roz-

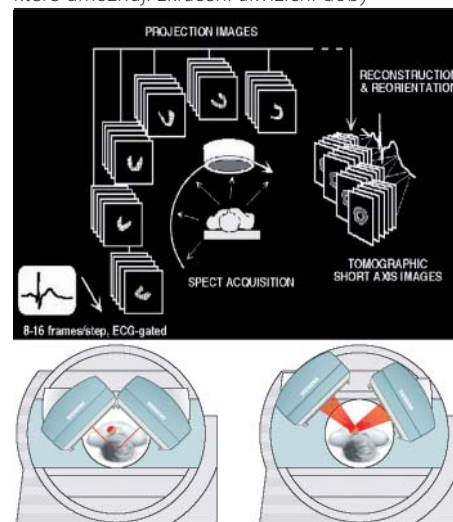
dílovým skóre) mají větší prospěch z medikamentózní léčby, zatímco ti se závažnější ischemií lépe profitují z revaskularizace (5, 16–19). U pacientů s tzv. „falešně pozitivním“ nálezem ischemie na SPECT se často jedná o endoteliální dysfunkci se špatnou prognózou, i když pacient nemá koronarograficky významná zúžení (20–22). Metoda je dále vysoce ceněná pro schopnost posoudit ischemii u pacientů po koronární revaskularizaci, dalšími indikacemi je zjišťování viability myokardu u pacientů s dysfunkcí levé komory a posouzení funkce levé komory (alternativa k radionuklidové ventrikulografii, echokardiografii apod.) (2, 5, 14).

Zároveň má však SPECT určité technické limity, neboť tato metoda posuzuje pouze regionální a nikoliv absolutní perfuzi myokardu. U pacientů s vybalancovanou nemocí tří tepen tak zcela vzácně může být zobrazen falešně negativní normální nález, naštěstí však ve většině těchto případů díky gated SPECT technice zobražíme současně funkční změny (poischemické omrácení se zhoršením regionální kinetiky stěn, poklesem pozátěžové EF a/nebo tranzitní dilataci levé komory) (3, 5, 22). Přesto může u pacientů s nemocí více tepen k podhodnocení perfuzních změn v jednotlivých povodích docházet a jako abnormální se zobrazí pouze jedno povodí.

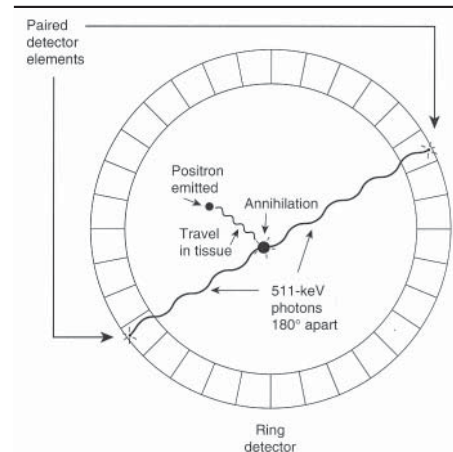
PET má vyšší rozlišení a některé práce uvádějí, že má pro detekci ICHS ve srovnání se SPECT lehce vyšší senzitivitu a specifitu > 90 % (11). Rozsáhlejší studie přímo porovnávající obě technologie na stejných pacientech však chybí a není zřejmé, že by toto mírné zlepšení ospravedlnilo mnohonásobně vyšší cenu a že by PET měl v rutinním provozu plošně nahradit SPECT. Obvykle se soudí, že PET je výhodnější jen u těžce obézních a u pacientů s vyšší pravděpodobností nemoci více tepen (23). Hlavní výhoda PET spočívá v možnosti absolutně kvantifikovat rezervu koronárního průtoku (v ml/g/min.) v situacích, kde by posouzení regionální perfuze konvenčním SPECT mohlo selhat.

Nyní však probíhají pokusy s kvantifikací perfuze pomocí „ultrafast“ SPECT na speciálních kardiologických kamerách, které mají krystaly z Cadmium Zink Teluridu (CZT). Vývojem této technologie se zabývala řada firem, na trhu je však v současnosti pouze jedna kamera GE Discovery NM 530c (nebo její výše zmíněná hybridní verze NM/CT 570c vybavená 64-řadým CT). Na rozdíl od konvenčního SPECT myokardu, kdy rotací obvykle dvou detektorů spojených v úhlu 90° získáme postupně 30–64 obrazů od pravé přední šikmé do levé zadní šikmé projekce (obrázek 1), tato revoluční kamera se konstrukčně přibližuje technologii PET s prstencem mnoha detektorů (obrázek 2). „Ultrafast“

Obrázek 1. Nahoře schéma akvizice gated SPECT myokardu: detektor kamery se postupně otáčí kolem pacienta, obrazy získané v jednotlivých projekcích jsou díky EKG synchronizaci rozděleny na dalších 8 až 16 podobrazů (od end-diastoly přes end-systolu do end-diastoly dalšího cyklu). Vlevo dole standardní dvoudetektorová kamera Siemens s kolimátory s paralelními otvory, vpravo dole s konvergentními SMARTZOOM kolimátory, které umožňují zkrácení akviziční doby



Obrázek 2. Schéma PET kamery s prstencem detektorů, které umožňují koincidenční snímání anihilačních fotonů

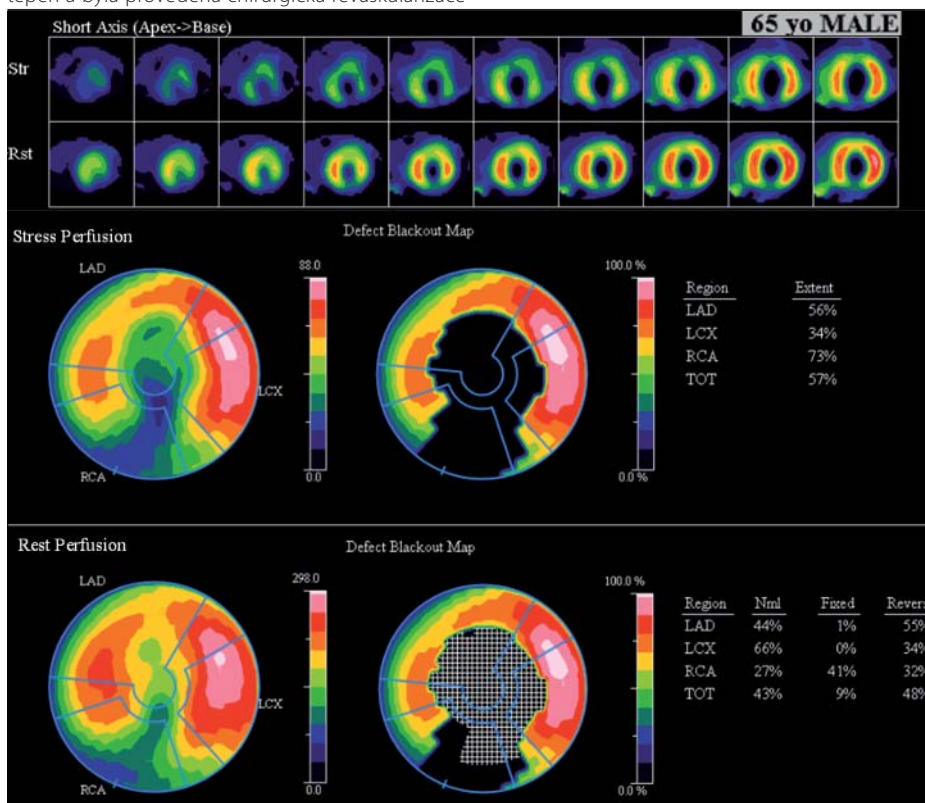


SPECT kamera disponuje 19 detektory s krystaly z Cadmium Zink Teluridu (CZT) uspořádaných v půlkruhu, podobně jako u PET již detektory nerotují, ale pomocí tzv. multipinhole kolimace s ohniskem v myokardu jsou snímány současně všechny projekce všemi detektory z mnoha úhlů. A dále zatímco u konvenčních SPECT kamer je nejprve gama záření scintilačním krystalem přeměněno na záblesk světla, které je až v jednotlivých fotonásobičích nepřímo konvertováno na napěťový impuls, odpadá u CZT detektorů potřeba fotonásobiče. Každý pinole kolimátor osvětluje příslušný CZT krystal s polovodičem a dochází k přímé konverzi gama záření na napěťový impuls. Každý CZT detektor tak vlastně tvoří miniaturní gama kameru (obrázek 3) (25). Výhodou této technologie je pak extrémně

Obrázek 3. Vlevo schéma kardiologické SPECT kamery vybavené 19 CZT detektory uspořádanými v půlkruhu a multipinhole kolimace obrazů srdce. Vpravo čelní pohled na kameru GE Discovery NM/CT 570c



Obrázek 4. Gated SPECT vyšetření u 65letého muže zobrazuje těžkou poruchu perfuze po zátěži v oblasti hrotu a přední i spodní stěny s parciální úpravou v klidu. Pro závažnou ischemii svědčí rozsah a závažnost reverzibilního defektu (48 % z levé komory, sumační rozdílové skóre = 12) i poischemické omráčení levé komory s její tranzientní ischemickou dilatací (TID poměr = 1,33), nárůstem již klidové výrazně zvýšených objemů levé komory v end-diastole (z 225 na 265 ml) a end-systole (ze 139 na 191 ml) a poklesem pozátěžové EF (z 38 na 28 %). Pacient byl odeslán k invazivní koronarografii, která prokázala nemoc tří tepen a byla provedena chirurgická revaskularizace



rychlé střídání dat, což umožňuje podat nižší aktivitu radiofarmak. Na konvenční kameře dnes aplikujeme při zátěži průměrně 300 MBq ^{99m}Tc -MIBI, což odpovídá efektivní dávce 2,4 mSv (2). Kamera s CZT umožňuje více než dvakrát snížit aplikovanou aktivitu a jsme tak schopni se dostat k hodnotám kolem 1 mSv, a to i při významné

redukci akvizičního času (až na 2 min.) (26, 27). Duvall WL, a spol. (28) prokázali v diagnostice ICHS senzitivitu 95 % a normalcy rate 97 %, díky vyššímu rozlišení CZT detektorů tyto hodnoty o něco překonávají konvenční SPECT kamery. V čem však spatřují mnozí odborníci největší přínos tohoto revolučního SPECT systému, je

přímě extrémně rychlá akvizice dat, která slibuje možnost kvantitativního hodnocení absolutního koronárního průtoku.

Budoucnost tedy ukáže, nakolik bude schopná se nová technologie SPECT stát lacinější variantou PET. I když v posledních letech došlo k významnému pokroku, největší limitací PET zůstává cena přístrojů a dostupnost i cena perfuzních PET radiofarmak. Nejvíce rozšířený je generátorový produkt ^{82}Rb (ještě před několika lety pouze v USA, nyní již distribuováno i v Evropě). Na výzkumných pracovištích s těsnou blízkostí kamery a cyklotronu lze použít krátkodobé zářiče ^{15}O -voda nebo ^{13}N -čpavek. Pozitronová perfuzní radiofarmaka mají oproti ^{99m}Tc zářičům díky velmi krátkému poločasu přeměny nižší radiační zátěž (tabulka 1). Avšak zatímco z hlediska radiační zátěže je velmi krátký poločas přeměny výhodou, pro jejich distribuci je to výraznou limitací. Proto také dosud došlo obecně u PET k masovému rozšíření do klinické praxe pouze u radiofarmak značených ^{18}F , jehož poločas 110 min. umožňuje dopravu z výrobního centra na střední vzdálenosti, a nyní s velkým očekáváním sledováno nové pozitronové perfuzní radiofarmakum frurpiridaz (^{18}F -BMS, t. č. ve III. fázi klinického zkoušení) (29).

Nukleární kardiologie a CT stanovení kalciového skóre

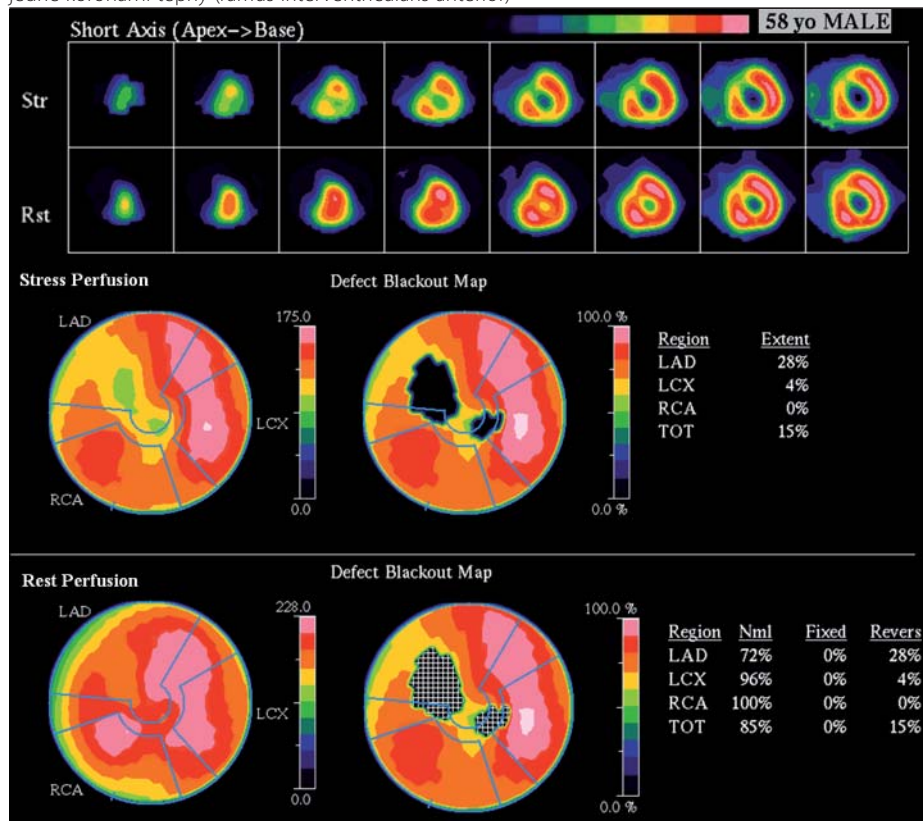
Koronární kalciové skóre je vysoce specifickým markerem aterosklerózy a jeho výše odráží celkové postižení tepen aterosklerotickými pláty. Velké množství studií ukázalo, že kalciové skóre lze použít při screeningu jako cenný ukazatel rizika další kardiální příhody v populaci pacientů s rizikem kardiovaskulárního onemocnění (1, 11, 30–34). Riziko závažných kardiálních příhod se zvyšuje s hodnotou kalciového skóre. Zatímco při nulovém skóre bylo evidováno pouze 0,4 % příhod ročně, při kalciovém skóre > 400 to byly již 2 % ročně, což je srovnatelné s pacienty s prokázanou ICHS (34).

Jako první indikace pro CT stanovení kalciového skóre se objevilo zjišťování preklinické aterosklerózy jako **screening asymptomatických rizikových jedinců**. Je nutné nejprve po-

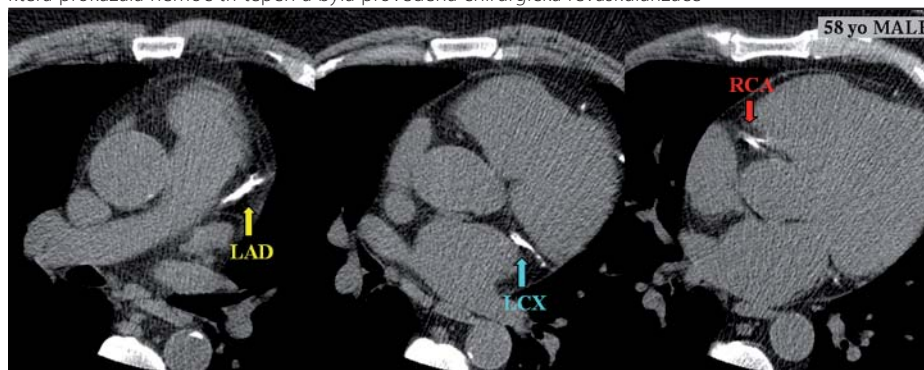
Tabulka 1. Efektivní dávky perfuzních radiofarmak používaných v současnosti v kardiologii (2)

Radiofarmakum	Efektivní dávka (mSv/MBq)
^{99m}Tc -MIBI	0,0082
^{99m}Tc -tetrofosmin	0,0073
^{15}O -voda	0,00093
^{13}N -čpavek	0,002
^{82}Rb -chlorid	0,0034

Obrázek 5a. U 58letého muže s dilatovanou levou komorou (klidové objemy v end-diastole/systole = 185/68 ml) se pomocí gated SPECT vyšetření zobrazuje reverzibilní defekt anteroseptálně a apikálně v rozsahu 15 % z levé komory (sumační rozdílové skóre bylo 7), bez známek poischemického omráčení levé komory. Nález by mohl být interpretován jako středně závažná ischemie a pravděpodobně nemoc jedné koronární tepny (ramus interventricularis anterior)



Obrázek 5b. Na CT řezech jsou však patrné těžké kalcifikace postihující až difúzně povodí všech tří koronárních tepen (LAD = left anterior descending artery, LCX = left circumflex artery, RCA = right coronary artery). Celkové koronární kalciové skóre je výrazně zvýšeno na 2474. Hybridní SPECT/CT v tomto případě správně zařadí pacienta do skupiny s vysokým rizikem. Pacient byl odeslán k invazivní koronarografii, která prokázala nemoc tří tepen a byla provedena chirurgická revaskularizace



soudit individuální 10leté riziko vzniku infarktu myokardu nebo srdeční smrti (Framinghamské skóre). Uplatnění koronárního kalciového skóre se pak jeví jako nejvýhodnější u těch, kteří mají střední riziko v rozmezí 10–20 % (1, 30, 35). I když byl prokázán nesporný prognostický význam zjišťování koronárního kalcia, významnou technickou limitací měření kalciového skóre je, že ani jeho vysoká hodnota nic nevypovídá o tom, zda je přítomná obstrukční či neobstrukční ICHS. Nelze tedy jednoznačně odlišit, který pacient bude mít větší prospěch z koronární revaskularizace než z intenzivní medikamentózní léčby

statiny. Proto je u asymptomatických pacientů s významnými kalcifikacemi (kalciové skóre > 400 a u vybraných pacientů i v rozmezí 101–400) doporučováno doplnit zátěžové SPECT zobrazení perfuze myokardu (11, 30, 36, 37).

Nověji, a zejména pak se zvyšující se dostupností hybridních přístrojů vybavených CT nižší až střední kvality se schopností vizualizace a kvantifikace koronárního kalcia, se začalo používat **kalciové skóre jako součást SPECT vyšetření u symptomatických pacientů**. Na mnoha pracovištích se metoda používá již rutinně (jedno CT slouží ke korekci radionuklidového obrazu na

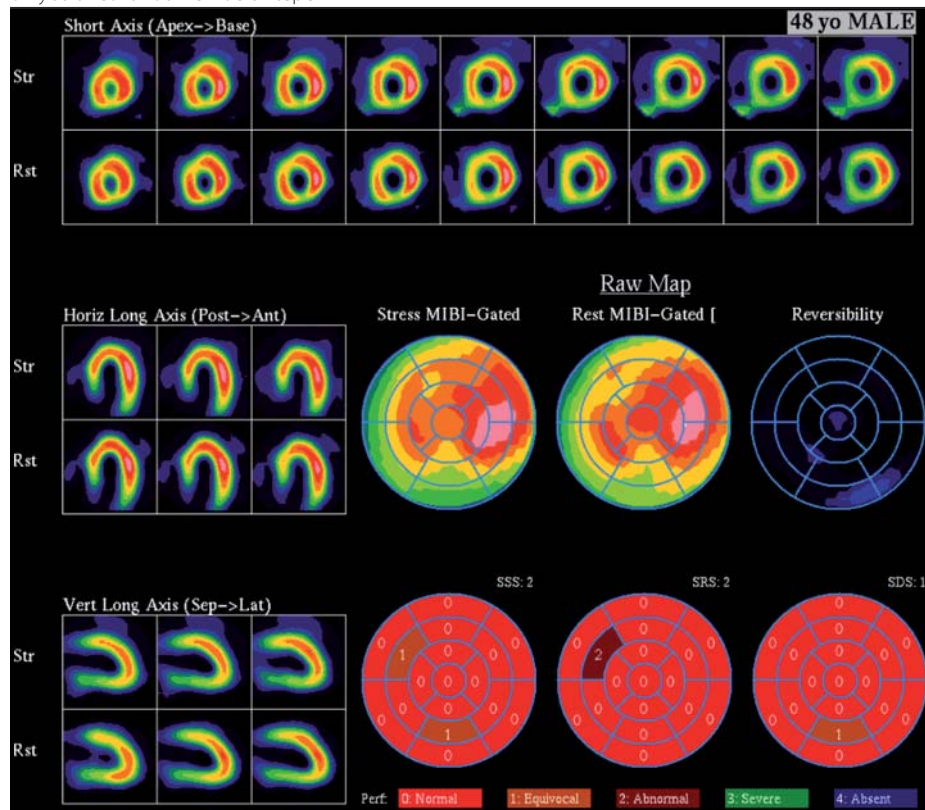
zeslabení i pro měření kalciového skóre). Obvykle je však popisován význam této kombinace pro zlepšení detekce ICHS spíše jen u vybraných pacientů. Zjištění extenzivních kalcifikací napomáhá k další rizikové stratifikaci v případech normálního nebo jen mírně abnormálního nálezu na SPECT, zejména pak u rizikových pacientů s pravděpodobnou nemocí více tepen (např. s diabetem resp. ledvinovým selháním) (11, 30, 38). Velmi přínosná je také informace o kalciovém skóre u pacientů s dilatovanou levou komorou, kdy v některých případech je diferenciací mezi ischemickou a neischemickou kardiomyopatií obtížná. Pokud zobrazíme na SPECT významný reverzibilní defekt v typické lokalizaci, kalciové skóre není nutné a jen by zbytečně zvyšovalo radiační zátěž (obrázek 4). Avšak v jiném případě se může jednat o velmi cennou informaci, např. pokud je reverzibilní defekt pouze v jednom povodí, ale pacient má difúzní extenzivní kalcifikace v povodí všech tří tepen (obrázek 5). Naopak ischemická etiologie je nepravděpodobná u pacienta s dlouhodobě dilatovanou levou komorou, normální pozátěžovou perfuzí na SPECT a nulovým kalciovým skóre (obrázek 6).

Při hodnocení kalciového skóre je třeba mít vždy na paměti, že absence koronárního kalcia nebo jeho nízká hodnota přítomnost ICHS spolehlivě nevylučuje. Nicméně o významu kalcifikovaných lézí na mikrocirkulaci velmi dobře informuje např. měření rezervy koronárního průtoku pomocí PET. Curillová a spol. (39) popsala v populaci 136 pacientů s normální regionální perfuzí myokardu zjištěnou pomocí ⁸²Rb PET inverzní vztah mezi kalcifikacemi a rezervou koronárního průtoku. Při narůstajícím koronárním kalcii se rezerva koronárního průtoku signifikantně snižovala ($1,8 \pm 0,5$ u nulového kalciového skóre vs. $1,7 \pm 0,5$ resp. $1,5 \pm 0,4$ u kalciového skóre 1–400 resp. > 400, $p = 0,048$). Průkaz extenzivních kalcifikací (kalciové skóre > 1 000) při normálním nálezu na SPECT by měl být vodítkem pro odeslání nemocného k invazivní koronarografii (CT koronarografie by v tomto případě nebyla přínosná). CT kalciové skóre se tedy ukazuje být velmi cennou a přítomnou pomocnou pomůckou (nepoužívá se kontrastní látka), má nízkou radiační zátěž (efektivní dávka < 1 mSv) a data z jednoho CT skenu se navíc dají využít pro měření kalciového skóre i pro korekci na zeslabení (11).

Nukleární kardiologie a CT koronarografie

Jak již bylo zmíněno výše, kombinaci **SPECT/CT koronarografie** se zdá být v současnosti

Obrázek 6a. U 48letého muže s dilatovanou levou komorou (klidové objemy v end-diastole/systole = 179/102 ml) je pomocí SPECT zobrazena jen minimální heterogenita perfuze po zátěži i v klidu, bez známek reverzibilní ischemie. Přesto však nemůžeme ICHS jednoznačně vyloučit, mohlo by se jednat o vybalancovanou nemoc tří tepen



výhodnější provádět na dvou specializovaných SPECT a CT přístrojích (cenově výhodnější, hybridní data jsou důležitější než hybridní přístroj) (40). Obě metody mají významnou prognostickou cenu a vynikají vysokou negativní prediktivní hodnotou (NPV) (10, 41, 42). Avšak specifita a pozitivní prediktivní hodnota (PPV) samotné CT koronarografie není optimální, zejména pak u starších pacientů, při nálezů výraznějších kalcifikací, řada zobrazených stenóz není hemodynamicky významná apod. V tomto případě SPECT umožní eliminaci řady artefaktů a nejasných resp. falešně pozitivních nálezů na CT (8, 9, 11). Sato, a spol. (10) popsal, že při kombinaci SPECT/CT v porovnání se samotnou CT koronarografií došlo k úpravě specifity (z 80 na 92 %) a PPV (z 69 na 58 %), aniž by se změnila senzitivita a NPV (95 % resp. 97 %). Proto i když jsou obě metody obecně indikovány u pacientů se střední předtestovou pravděpodobností ICHS, CT je výhodné volit jako první test spíše u těch s relativně nižší pravděpodobností (při očekávání negativního výsledku – obrázek 7) (13, 42). Obdobně jako u kalciového skóre, je kombinace zobrazování perfuze myokardu s CT koronarografií vysoce výhodná u pacientů s vyšší pravděpodobností nemoci více tepen. Santana, a spol. (43) popsali v tomto případě zlepšení senzitivity o 17 %. Zde se také nejvíce může uplatnit fúze obrazů. Gaemperli, a spol. (8) uvádějí,

že fúze obrazů má nejvyšší přínos u pacientů se stenózami více koronárních tepen nejasné hemodynamické významnosti. Lze pak přímo určit „culprit lesion“, na které se má přednostně provést perkutánní koronární intervence (PCI), případně multi PCI nebo bypass při zobrazení ischemie ve více puvodích. Fúze obrazů ovšem vyžaduje zakoupení licence na nákladný software. Jak však uvádí Georgoulis, a spol. (13), při porovnávání SPECT a CT koronarografie postačí v mnoha případech velmi dobře i prostá „fúze v hlavách hodnotících lékařů“, obdobně jako jsme zvyklí neustále konfrontovat perfuzní SPECT s invazivní koronarografií. Samotná softwarová fúze je pak nezbytná pouze u složitějších případech.

Asi nejdůležitější je určit, u kterých pacientů kombinovat SPECT a CT. Hybridní vyšetření je přínosné zejména u složitějších případů při počátečních diagnostických rozpacích (zdá má pacient nemoc a jak významnou), pro další sledování průběhu nemoci je však jeho přínos spíše sporný. CT např. není potřeba, pokud již byla provedena invazivní koronarografie a zkoumá se vliv zobrazených stenóz na mikrocirkulaci. Podobně je tomu většinou i u pacientů po infarktu myokardu nebo koronární revaskularizaci, kde posuzujeme rozsah ischemického a fixního defektu. V těchto indikacích postačí SPECT vyšetření perfuze a funkce levé komory.

Nejvíce informací poskytuje **PET/CT koronarografie**, kde může být hemodynamická významnost stenóz ověřována nejen posouzením regionální perfuze ale i kvantifikací průtoků. Toto vyšetření je většinou prováděno ve výzkumných centrech excelence (např. Univerzita Turku, Finsko), obvykle na špičkových hybridních přístrojích s 64řadým CT. Kajander, a spol. (44, 45) z tohoto pracoviště prokázali, že hybridní PET/CT umožňuje přesnější hodnocení významu stenóz než obě metody separátně. Jak se dalo očekávat, kvantifikace myokardiálního průtoku byla nejprínosnější opět u pacientů s nemocí více tepen. Autoři také prokázali, že pokud se provede CT koronarografie jako první test, až polovina pacientů potřebuje pokračovat zobrazením myokardiální perfuze (44).

Závěr

Technologický pokrok umožňuje integraci CT do nukleární kardiologických metod, jejichž kombinací lze neinvazivně zobrazovat kalcifikované i nekalcifikované pláty a zjišťovat jejich hemodynamickou významnost. CT koronarografie i SPECT jsou nezávislými testy pro diagnostiku ICHS s vysokou NPV u pacientů se střední předtestovou pravděpodobností (CT vhodnější při relativně nižší pravděpodobnosti než SPECT). V řadě případů je výhodná kombinace obou metod. Doplnění SPECT k anatomické informaci zjištěné pomocí CT koronarografie umožňuje zlepšení specifity a PPV, aniž by došlo ke snížení senzitivity a NPV. U pacientů s rizikem nemoci více tepen (diabetes mellitus, dilatace levé komory) byl prokázán přínos CT, kdy pomocí měření koronárního kalciového skóre nebo CT koronarografie došlo ke zlepšení senzitivity SPECT. V této indikaci je rovněž vysoce přínosná kvantifikace průtoků pomocí PET.

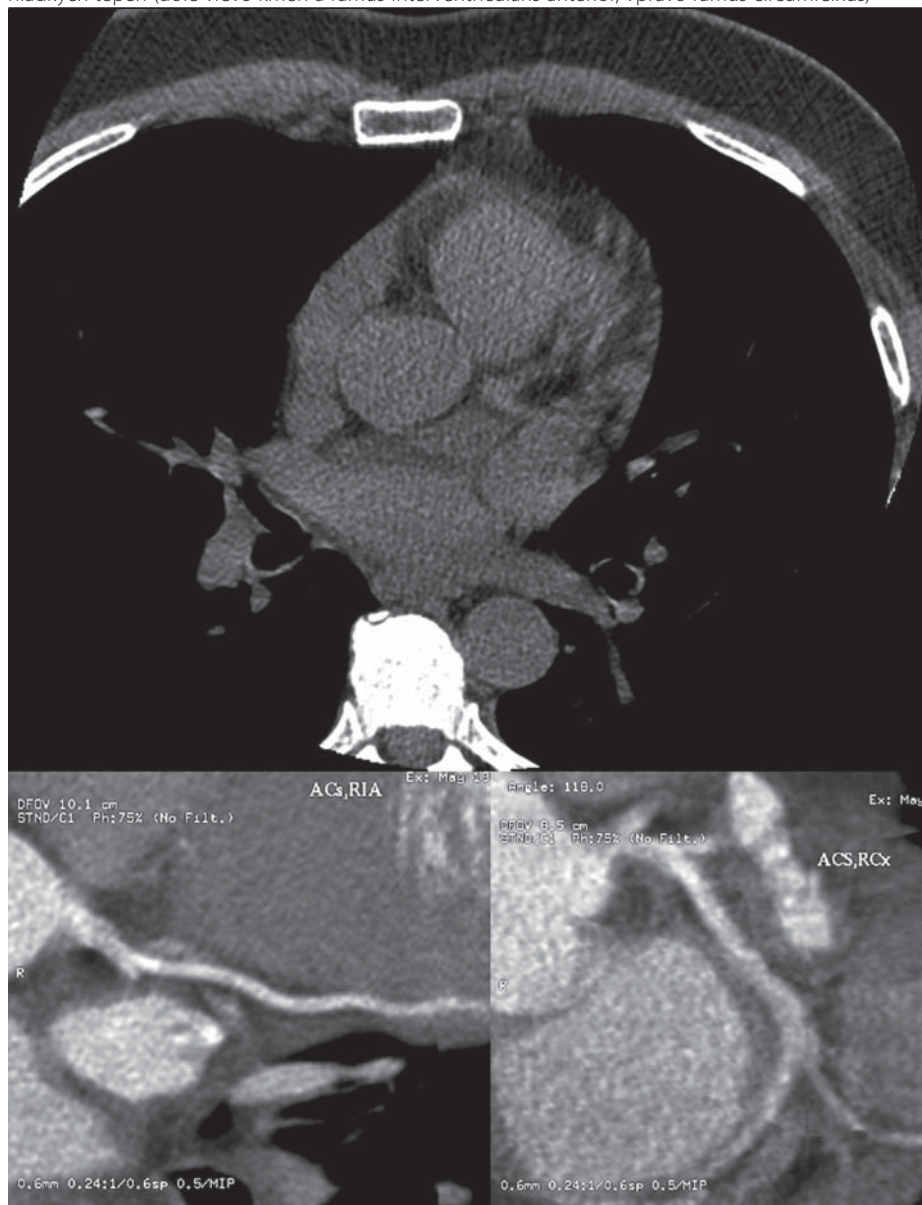
Současně je však třeba mít neustále na paměti, že komplexní hybridní vyšetření je nákladné a zvyšuje radiační zátěž (i když moderní SPECT a CT přístroje umožňují její významnou redukci). Hybridní vyšetření je přínosné zejména u složitějších případů při počátečních diagnostických rozpacích (zdá má pacient nemoc a jak významnou), pro další sledování průběhu nemoci však jeho přínos již obvykle není tak zásadní.

Supported by European Regional Development Fund – Project FNUSA-ICRC
(No. CZ.1.05/1.1.00/02.0123).

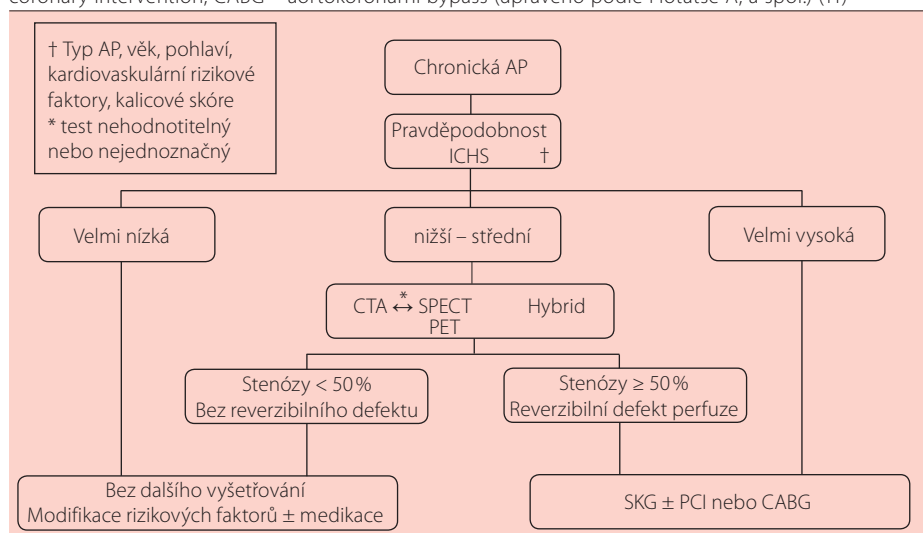
Literatura

1. Schroeder S, Achenbach S, Bengel F, et al. Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the

Obrázek 6b. CT neprokázalo v koronárním řečišti kalcifikace, celkové kalciové skóre = 0 (nahore). Ischemická kardiomyopatie je v tomto případě velmi nepravděpodobná, což potvrdila i CT koronarografie s nálezem hladkých tepen (dole vlevo kmen a ramus interventricularis anterior, vpravo ramus circumflexus)



Obrázek 7. Algoritmus možného využití neinvazivních zobrazovacích technik u pacientů se stabilní chronickou anginou pectoris (AP). CTA – CT angiografie, SKG – selektivní koronarografie, PCI – percutaneous coronary intervention, CABG – aortokoronární bypass (upraveno podle Flotats A, a spol.) (11)



European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. Eur Heart J 2008; 29: 531–556.

2. Hesse B, Tägil K, Cuocolo A, et al. EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear cardiology. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2005; 32: 855–897.

3. Wijns W, Kolh P, Danchin N, et al. Guidelines on myocardial revascularization. European Heart Journal 2010; 31: 2501–2555.

4. Marcassa C, Bax JJ, Bengel F, et al. Clinical value, cost-effectiveness, and safety of myocardial perfusion scintigraphy: a position statement. Eur Heart J 2008; 29: 557–563.

5. Lang O, Kamínek M, Trojanová H. Nukleární kardiologie. Galén, Praha, 2008.

6. Schäfers KP, Stegger L. Combined imaging of molecular function and morphology with PET/CT and SPECT/CT: image fusion and motion correction. Basic Res Cardiol 2008; 103: 191–199.

7. Slomka PJ, Patton JA, Berman DS, Germano G. Advances in technical aspects of myocardial perfusion SPECT imaging. J Nucl Cardiol 2009; 16: 255–276.

8. Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, et al. Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT: clinical experience. J Nucl Med 2007; 48: 696–703.

9. Santana CA, Garcia EV, Faber TL, et al. Diagnostic performance of fusion of myocardial perfusion imaging (MPI) and computed tomography coronary angiography. J Nucl Cardiol 2009; 16: 201–211.

10. Sato A, Nozato T, Hikita H, et al. Incremental value of combining 64-slice computed tomography angiography with stress nuclear myocardial perfusion imaging to improve noninvasive detection of coronary artery disease. J Nucl Cardiol 2010; 17: 19–26.

11. Flotats A, Knuuti J, Gutberlet M, et al. Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT. A point position statement by the European Association of Nuclear Medicine (EANM), the European Society of Cardiac Radiology (ESCR) and the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC). Eur J Nucl Med Mol Imaging 2011; 38: 201–212.

12. www.escardio.org/communities/Working-Groups, www.escardio.org/congresses/ICNC10.

13. Georgoulas P, Tsougos I, Valotassiou V, Demakopoulos N. Does hybrid diagnostic imaging in cardiology have the same significance as in oncology? Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2011; 38(5): 979–981.

14. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging – executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). J Am Coll Cardiol 2003; 42: 1318–1333.

15. Fox K, Garcia MA, Ardissino D, et al. Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary: the Task Force on the Management of Stable Angina Pectoris of the European Society of Cardiology. Eur Heart J 2006; 27: 1341–1381.

16. Shaw LJ, Iskandrian AE. Prognostic value of gated myocardial perfusion SPECT. J Nucl Cardiol 2004; 11: 171–185.

17. Hachamovitch R, Rozanski A, Shaw LJ, et al. Impact of ischaemia and scar on the therapeutic benefit derived from myocardial revascularization vs. medical therapy among patients undergoing stress-rest myocardial perfusion scintigraphy. Eur Heart J 2011; 32: 1012–1024.

18. Boden WE, O'Rourke RA, Teo KK, et al. Optimal medical therapy with or without PCI for stable coronary disease. N Engl J Med 2007; 356: 1503–1516.

19. Hachamovitch R, Hayes SW, Friedman JD, Cohen I, Berman DS. Comparison of the short-term survival benefit associated with revascularization compared with medical therapy in patients with no prior coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion single photon emission computed tomography. Circulation 2003; 107: 2900–2907.

20. von Mering GO, Arant CB, Wessel TR, McGorray SP, et al. Abnormal coronary vasomotion as a prognostic indicator of car-

diovascular events in women: Results from the National Heart, Lung, and Blood Institute-Sponsored Women's Ischemia Syndrome Evaluation (WISE). *Circulation* 2004; 109: 722–725.

21. Adamu U, Knollmann D, Almutairi B, et al. Stress/rest myocardial perfusion scintigraphy in patients without significant coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 2010; 17: 38–44.

22. Kamínek M, Metelková I, Budíková M, Sovová E, Lukl J, Študentová H. Prognostický význam zátěžového zobrazení myokardiální perfuze a funkce levé komory jednofotonovou emisní tomografií. *Cor Vasa* 2008; 50(10): 373–377.

23. Dona M, Massi L, Settimo L, et al. Prognostic implications of post-stress ejection fraction decrease detected by gated SPECT in the absence of stress-induced perfusion abnormalities. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2011; 38: 485–490.

24. Le Guludec D, Lautamäki R, Knuuti J, et al. European Council of Nuclear Cardiology. Present and future of clinical cardiovascular PET imaging in Europe—a positron statement by the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC). *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2008; 35: 1709–1724.

25. Bocher M, Blevis M, Tsukerman L, et al. A fast cardiac gamma camera with dynamic SPECT capabilities: design, system validation and future potential. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010; 37: 1887–1902.

26. Duvall WL, Croft LB, Ginsberg ES, et al. Reduced isotope dose and imaging time with a high-efficiency CZT SPECT camera. *J Nucl Cardiol*. 2011 Apr 29. (Epub ahead of print).

27. Herzog BA, Buechel RR, Katz R, et al. Nuclear myocardial perfusion imaging with a cadmium-zinc-telluride detector technique: optimized protocol for scan time reduction. *J Nucl Med*. 2010; 51(1): 46–51.

28. Duvall WL, Sweeny JM, Croft LB, et al. Comparison of high efficiency CZT SPECT MPI to coronary angiography. *J Nucl Cardiol*. 2011; 18(4): 595–604.

29. Yu M, Nekolla SG, Schwaiger M, Robinson SP. The next generation of cardiac positron emission tomography imaging agents: discovery of flurpiridaz F-18 for detection of coronary disease. *Semin Nucl Med*. 2011; 41(4): 305–313.

30. Perrone-Filardi P, Achenbach S, Möhlenkamp S, et al. Cardiac computed tomography and myocardial perfusion scintigraphy for risk stratification in asymptomatic individuals without known cardiovascular disease: a position statement of the Working Group on Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2011; 32(16): 1986–1993.

31. Raggi P, Berman DS. Computed tomography coronary calcium screening and myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol*. 2005; 12(1): 96–103.

32. Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST, et al. Longterm prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25,253 patients. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 1860–1870.

33. Bellasi A, Lacey C, Taylor AJ, et al. Comparison of prognostic usefulness of coronary artery calcium in men versus women (results from a meta- and pooled analysis estimating all-cause mortality and coronary heart disease death or myocardial infarction). *Am J Cardiol* 2007; 100: 409–414.

34. Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med* 2008; 358: 1336–1345.

35. Greenland P, LaBree L, Azen SP, Doherty TM, Detrano RC. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004; 291: 21–215.

36. Hendel RC, Abbott BG, Bateman TM, et al. The role of radionuclide myocardial perfusion imaging for asymptomatic individuals. *J Nucl Cardiol* 2011; 18(1): 3–15.

37. Budíková M, Kamínek M, Sovová E, Kaletová M, Metelková I, Henzlová L, Buriánková E, Formánek R. Prognostický význam koronárního kalciového skóre a zátěžového zobrazení myokardu pomocí jednofotonové emisní tomografie u asymptomatických rizikových pacientů. *Cor Vasa* (v tisku).

38. Metelková I, Kamínek M, Sovová E, et al. Stratifikace rizika pomocí zátěžového SPECT zobrazení myokardu v kombinaci se stanovením koronárního kalciového skóre u rizikových pacientů s diabetem a/nebo ledvinovým selháním. *Vnitř Lék* 2010; 56(11): 1122–1129.

39. Curillova Z, Yaman BF, Dorbala S, et al. Quantitative relationship between coronary calcium content and coronary flow reserve as assessed by integrated PET/CT imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2009; 36(10): 1603–1610.

40. Kaufmann PA, Gaemperli O. Combining CT and nuclear: a winning hybrid team. *J Nucl Cardiol*. 2009; 16(2): 170–172.

41. van Werkhoven JM, Schuijf JD, Gaemperli O, et al. Prognostic value of multislice computed tomography and gated single-photon emission computed tomography in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2009; 53: 623–632.

42. Schuijf JD, Bax JJ. Defining noninvasive imaging strategies in coronary artery disease: Which patients require further evaluation after coronary angiography with multislice computed tomography? *J Nucl Cardiol*. 2008; 15(3): 301–304.

43. Santana CA, Garcia EV, Faber TL, et al. Diagnostic performance of fusion of myocardial perfusion imaging (MPI) and computed tomography coronary angiography. *J Nucl Cardiol* 2009; 16: 201–211.

44. Kajander SA, Joutsiniemi E, Saraste M, et al. Cardiac positron emission tomography/computed tomography imaging accurately detects anatomically and functionally significant coronary artery disease. *Circulation* 2010 (Epub Jul 26).

45. Kajander SA, Joutsiniemi E, Saraste M, et al. Clinical Value of Absolute Quantification of Myocardial Perfusion with 15O-water in Coronary Artery Disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2011 Sep 16. (Epub ahead of print).

Článek přijat redakcí: 6. 10. 2011
Článek přijat k publikaci: 23. 11. 2011

prof. MUDr. Milan Kamínek, PhD.

Klinika nukleární medicíny, FN Olomouc a LF UP
I. P. Pavlova 6, 775 20 Olomouc
milankaminek@seznam.cz