

Kvantitativní hodnocení myokardiální perfuze, funkce a viability pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie

Milan Kamínek, Miroslav Mysliveček, Václav Hušák

Klinika nukleární medicíny FN, Olomouc

Je podán přehled o současném stavu nukleární kardiologie, zejména o pokroku v zobrazování myokardiální perfuze jednofotonovou emisní výpočetní tomografií (SPECT). Standardem je v současnosti EKG-gated SPECT vyšetření umožňující posouzení perfuze i funkce levé komory (LK). Významně se mění spektrum pacientů, odesílaných na toto vyšetření. SPECT myokardu stále hraje důležitou roli jednak v diagnostice ischemické choroby srdeční (ICHS), v současné době však stále více nabývá na významu posuzování prognózy u pacientů s velmi pravděpodobnou nebo již koronarograficky prokázanou ICHS, detekce ischemie u vybraných pacientů po koronární revaskularizaci a zjišťování viabilního myokardu u pacientů s dysfunkcí LK srdeční. Kvantifikace rozsahu a závažnosti perfuzních defektů pomocí stanovení sumačního zátěžového skóre (SSS) přináší důležité informace při rozhodování o dalším terapeutickém postupu. U pacientů s normální perfuzí (SSS 0–3) resp. s mírně abnormální perfuzí (SSS 4–8) je riziko srdeční smrti nízké (< 1 % ročně) a lze upřednostnit medikamentózní terapii. Naopak u pacientů se střední resp. těžkou abnormalitou perfuze (SSS > 8) je preferována invazivní strategie.

Klíčová slova: myokardiální perfuze, gated SPECT, ischemická choroba srdeční, stratifikace rizika.

QUANTITATIVE EVALUATION OF MYOCARDIAL PERFUSION, FUNCTION AND VIABILITY USING SINGLE PHOTON EMISSION COMPUTED TOMOGRAPHY

A review is given about the present state of nuclear cardiology, particularly about the progress in single photon emission computed tomography (SPECT). ECG-gated SPECT examination is a current standard which makes possible the evaluation of left ventricular (LV) myocardial perfusion and function. A spectrum of patients referred for this examination changes significantly. Myocardial perfusion SPECT plays the important role in diagnostics of coronary artery disease (CAD), however, there is nowadays growing significance of the evaluation of prognosis in patients known or suspected CAD, detection of ischemia CAD in some patients after coronary revascularization, and viability assessment in patients with LV dysfunction. Quantification of the extent and severity of perfusion defects by means of a summed stress score (SSS) yields important information on decision concerning further therapy. In patients with the normal perfusion (SSS 0–3) or with the mildly abnormal perfusion (SSS 4–8) the risk of heart death is low (< 1 % annually) and medicamentous therapy can be preferred. On the contrary, in patients with the moderate or severe abnormality of perfusion (SSS > 8) preference is given to the invasive strategy.

Key words: myocardial perfusion, gated SPECT, coronary artery disease, risk stratification.

Interv Akut Kardiolog 2003;2:190–197

Úvod

Kardiovaskulární choroby jsou stále hlavní příčinou úmrtí ve většině vyspělých zemí. Obrovský pokrok, zejména v intervenční kardiologii a současně limitované prostředky v systému zdravotní péče ve všech zemích světa, s sebou přináší zásadní otázku – kteří pacienti budou mít prospěch z těchto nákladných diagnostických a léčebných technik⁽¹⁾. Nikdy dříve tedy nebyla potřeba neinvazivních vyšetření tak aktuální jako nyní. Zátěžová elektrokardiografie zůstává i nadále nejrozšířenějším neinvazivním testem. Její použití a výtěžnost je však limitována u pacientů neschopných adekvátní fyzické zátěže nebo s abnormální klidovou EKG křivkou, proto jsou stále více využívány zobrazovací techniky. Současně s bouřlivým rozvojem kardiologie tak dochází v posledních letech i k významnému pokroku v radionuklidovém zobrazování myokardu, zejména u zátěžové jednofotonové emisní výpočetní tomografie (SPECT). Tento vývoj se dotýká nejen samotné techniky zobrazování myokardiální perfuze a funkce (metoda gated SPECT) a nových programů pro kvantitativní

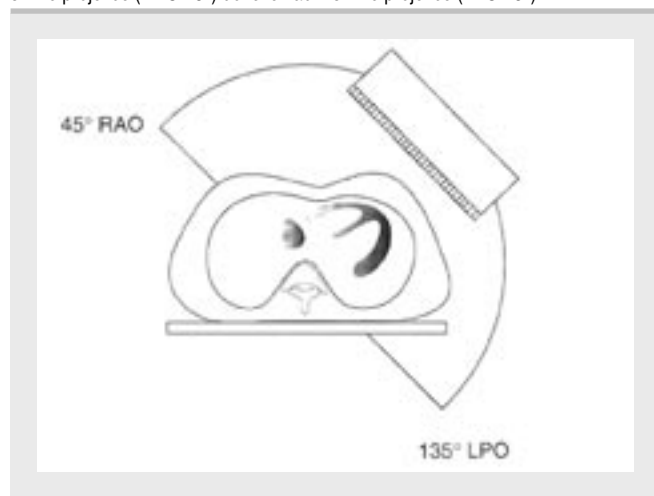
hodnocení, ale i klinického využívání a počtu prováděných vyšetření. Významně se mění spektrum pacientů odesílaných na toto vyšetření. SPECT myokardu stále hraje důležitou roli jednak v diagnostice ischemické choroby srdeční (ICHS), v současné době však stále více nabývá na významu posuzování prognózy u pacientů s velmi pravděpodobnou nebo již koronarograficky prokázanou ICHS, detekce ischemie u vybraných pacientů po koronární revaskularizaci a zjišťování viabilního myokardu u pacientů s dysfunkcí levé komory (LK) srdeční a nízkou ejekční frakcí (EF)^(2–10). Celosvětově je pozorován trvalý nárůst počtu SPECT vyšetření myokardiální perfuze, na čemž se podílí mimo jiné i významná úspora prostředků při racionálním využívání této metody, jak prokázaly výsledky studií cenové efektivity^(11, 12). Nárůst počtu SPECT myokardu je nejvýraznější v USA (v letech 1996–1998 nárůst o 19,1 % ročně)⁽¹²⁾. Dle průzkumu z r. 2001⁽¹³⁾ bylo v České republice celkem provedeno 15 740 nukleárně kardiologických vyšetření (graf 1). Frekvence vyšetření perfuze myokardu v r. 2001 vzrostla ve srovnání s r. 2000 o 10 %, avšak s průměr-

ným počtem 1,5 vyšetření připadajícím na 1 000 obyvatel a rok zaostává nukleární kardiologie v České republice za ukazateli v Evropské unii (2,2 studií/1 000 obyvatel v r. 1994) a zejména v USA (15 studií/1 000 obyvatel v r. 1997)^(13,14).

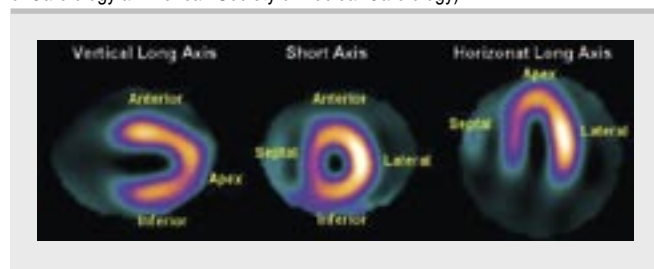
Princip a metodika vyšetření gated SPECT

Při akvizici SPECT se otáčí detektor scintilační kamery v postupných krocích kolem pacienta (obrázek 1). Při rekonstrukci SPECT se používá standardní orientace pro tomografické zobrazování myokardiální perfuze (obrázek 2). Technika gated SPECT umožňuje současně posoudit perfuzi i funkci LK během jednoho vyšetření. Princip tohoto vyšetření spočívá v EKG-synchronizované akvizici dat (obrázek 3). Získáme

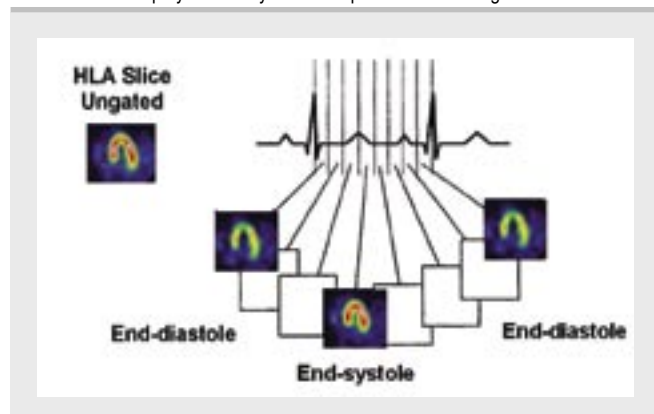
Obrázek 1. Schéma akvizice SPECT myokardu: zpravidla je získáno 32–64 projekcí při rotaci detektoru scintilační kamery kolem pacienta v úhlu 180° z pravé přední šikmé projekce (RAO 45°) do levé zadní šikmé projekce (LPO 45°).



Obrázek 2. Standardní orientace pro SPECT zobrazování myokardu (podle doporučení amerických společností Society of Nuclear Medicine, American College of Cardiology a American Society of Nuclear Cardiology).



Obrázek 3. Princip vyšetření myokardiální perfuze metodou gated SPECT.



tak obraz perfuze myokardu v průběhu jednoho reprezentativního srdečního cyklu (od end-diastoly přes end-systolu po end-diastolu dalšího srdečního cyklu), můžeme kvantifikovat EF LK, systolické ztlusňování stěn LK (na základě systolického nárůstu hustoty impulzů – wall thickening index) a jejich hybnosti v mm (wall motion). Technika gated SPECT tedy přináší řadu cenných údajů, a jelikož nijak významně nezvyšuje cenu vyšetření ve srovnání se studií bez EKG-synchronizace (ungated), je doporučováno její rutinní používání (prakticky jedinou technickou limitací pro gating je fibrilace síní)⁽¹⁵⁾.

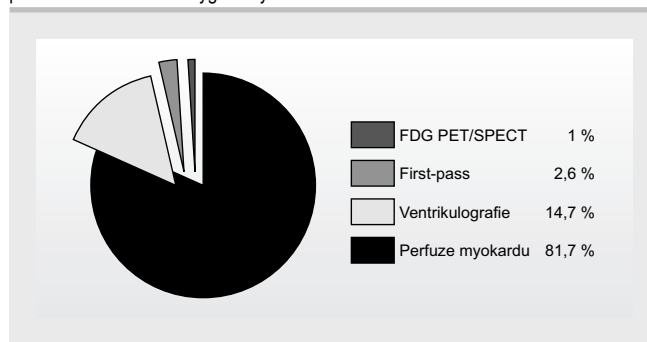
Perfuzní radiofarmaka

Thallium-201 (Tl-201) zůstává pro své výhodné farmakokinetické vlastnosti (vysoká extrakční frakce, redistribuce) i nadále rozšířeným perfuzním radiofarmakem s velmi dobře ověřenou validitou pro detekci ICHS i pro posouzení viability myokardu⁽²⁻⁴⁾. Tl-201 je však nutno dovážet z výrobního centra (cyklotronový produkt) a nelze jím efektivně pokrýt potřebu vyšetření po dobu celého pracovního týdne. V současnosti se tak stále více prosazují novější perfuzní radiofarmaka značená techneciem-99m (Tc-99m). Na trhu jsou k dispozici MIBI a tetrofosmin^(13,14,16). Zatímco ještě v polovině 90. let Tl-201 na trhu dominovalo, dle průzkumu z r. 2001⁽¹³⁾ již v České republice převažovala ^{99m}Tc-radiofarmaka (graf 2). Situace v ČR tak prakticky kopíruje trend známý z ostatních evropských zemí a z USA⁽¹⁴⁾.

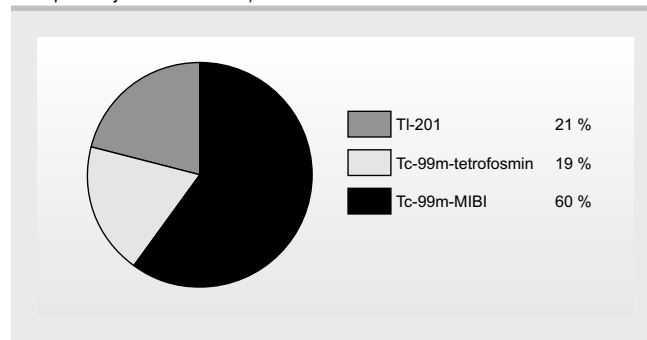
Metody zátěže

Nejčastěji používanou metodou zátěže je fyzická dynamická zátěž (bicykl nebo běhátko), u pacientů neschopných

Graf 1. Zastoupení jednotlivých metod nukleární kardiologie v České republice (% z celkového počtu vyšetření v r. 2001)⁽¹³⁾. FDG – vyšetření metabolismu glukózy pomocí F-18-fluorodeoxyglukózy.

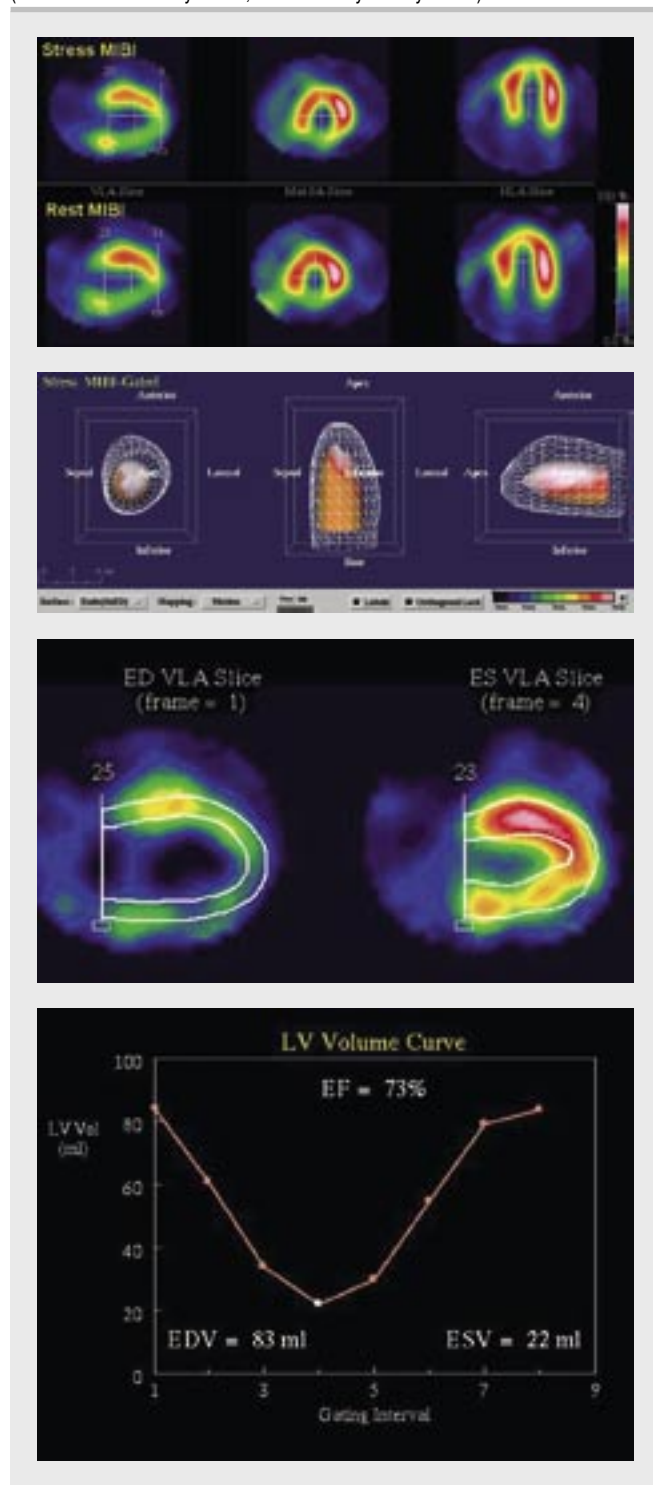


Graf 2. Zastoupení radiofarmak pro zobrazování myokardiální perfuze (% z celkového počtu vyšetření v r. 2001)⁽¹³⁾.



adekvátní fyzické zátěže je alternativou farmakologická vazodilatace koronárního řečiště dipyridamolem nebo adenosinem^(9,17–19). Další možnosti farmakologické zátěže je do-

Obrázek 4. (A) Zátěžové a klidové MIBI SPECT u 69letého těžce obézního muže, je patrný inferiorní fixní defekt. Gated SPECT (B–D) však zobrazuje normální hybnost a ztlušťování stěn LK včetně spodní stěny. Příčinou fixního defektu inferiorně je zeslabení záření (artefakt) spíše než jizva myokardu. (B) Pohled z několika perspektiv na 3-dimenzionální (3D) zobrazení levé komory (LK). Neprůhledně je znázorněn povrch endokardu v end-systole (ES), který je překryt mřížkou znázorňující endokard zafixovaný v end-diastole (ED). (C) ED/ES obrazy ve vertikální dlouhé ose (VLA). (D) Normální volumová křivka LK, ejekční frakce 73% (EDV = end-diastolický volum, ESV = end-systolický volum).



butamin v kombinaci s atropinem, který se obvykle provádí při kontraindikaci k dipyridamolu nebo adenosinu (nejčastěji u pacientů s asthma bronchiale)⁽¹⁹⁾. Farmakologická zátěž dipyridamolem, adenosinem a dobutaminem má poměrně četné vedlejší účinky, avšak závažné komplikace (náhlá srdeční smrt či nefatální infarkt myokardu) se vyskytují zřídka⁽¹⁹⁾. Výhodná je v některých případech kombinace dipyridamolu resp. adenosinu se současnou submaximální fyzickou zátěží, což vede do značné míry k eliminaci některých z nežádoucích účinků. Nejnověji byla popsána kombinace fyzické zátěže s atropinem^(20,21). Při nedostatečném nárůstu tepové frekvence byl obdobně jako u dobutaminové zátěže podán atropin, což vedlo ke zvýšení srdeční frekvence v průměru o 14 tepů/min⁽²⁰⁾ resp. 28 tepů/min⁽²¹⁾.

Intepretace SPECT zobrazení

Scintigrafické nálezy jsou obvykle tříděny na normální perfuzi, reverzibilní defekt (ischemii) a fixní defekt. Při interpretaci nálezu je třeba přihlížet k habitu pacienta a rovněž k určitým anatomickým odlišnostem mezi oběma pohlavími. U mužů činí největší problém správné posouzení nálezu na spodní stěně srdeční, kde dochází k výraznému zeslabení záření vlivem bránice a tukové tkáně. Naopak u žen bývá vlivem tkáně prsů nejvíce zeslabeno záření detekované na přední stěně. Tento problém lze řešit porovnáváním vlastního nálezu s normálovou databází. Komerčně jsou nabízeny databáze vytvořené ze souboru zdravých dobrovolníků. Při chabějším zobrazení spodní stěny je dále možné doplnit tzv. prone projekci (vyšetření na břiše). Další možností je korekce na zeslabení, kdy se současně s emisním snímkem (SPECT) provádí transmisní sken (jako zdroj se nejčastěji používá Gd-153). Na základě získaných informací o regionálním zeslabení záření se pak obraz perfuze v jednotlivých segmentech myokardu koriguje. Korekce na zeslabení je však poměrně nákladná a dosud nedošlo k jejímu širšímu uplatnění ve stejné míře jako u techniky gated SPECT^(13,14). Současné zobrazení perfuze i funkce levé komory významně zlepšuje interpretaci standardního sumačního „ungated“ SPECT zobrazení myokardiální perfuze a umožňuje např. odlišení jizvy a artefaktu (obrázek 4).

Diagnostika ICHS

Podle Bayesova teorému je optimální indikovat neinvazivní vyšetření pro detekci ICHS u pacientů se střední předtestovou pravděpodobností ICHS^(6,22). Pacienti s vysokou předtestovou pravděpodobností (např. muži s typickou anginou pectoris) mají být z diagnostických důvodů odesláni přímo na koronarografii, jelikož i při negativním nálezu neinvazivního vyšetření je riziko ICHS stále významné (nein-

Tabulka 1. Předtestová pravděpodobnost ICHS (%) podle věku, pohlaví a charakteru bolesti na hrudi⁽²²⁾.

Věk	Atypická angina pectoris		Typická angina pectoris	
	muži	ženy	muži	ženy
30–39	22	4	70	26
40–49	46	13	87	55
50–59	59	32	93	79
60–69	67	54	94	90

vazivní vyšetření však může být cenné např. při rozhodování o revaskularizaci, pro detekci viability apod.)⁽⁶⁾. Předtestová pravděpodobnost ICHS podle věku, pohlaví a typu obtíží je uvedena v tabulce 1.

Nejčastějším kritériem pro ověření přesnosti zátěžového testu je koronarografický nález a jako pozitivní pro ICHS bývá ve většině prací uváděno zúžení lumen jedné z hlavních epikardiálních tepen o 50 % a více, část prací si stanovuje jako kritérium 70 % zúžení. Jak prokázali Van Train a spol.⁽²³⁾, volba 70 % nebo 50 % stenózy jako kritéria pro ICHS nemá signifikantní vliv na senzitivitu SPECT. Je však třeba se zmínit o tzv. potestové selekci – na koronarografii vždy směřují převážně pacienti s pozitivním nálezem při neinvazivním vyšetření. Proto mají všechny soubory relativně nižší zastoupení koronarograficky ověřených osob s normálním nálezem, což může vést k ovlivnění výpočtu specificity. Z tohoto důvodu uvádějí některé novější práce jako další statistický ukazatel tzv. „normalcy rate“. Jedná se o procentuální podíl testem správně určených negativních nálezů v souboru, který byl vytvořen zařazením zdravých dobrovolníků mezi nemocné s ICHS. „Normalcy rate“ pro SPECT myokardu se pohybuje v rozmezí 96–98 %⁽²⁵⁾.

Při porovnávání neinvazivního vyšetření s koronarografií tedy můžeme narazit na určité obtíže a ani koronarografie není „zlatým standardem“ – může význam stenózy podhodnocovat i nadhodnocovat, jak prokázaly práce s intravaskulární sonografií⁽²⁴⁾. Navzdory těmto limitacím je koronarografické ověření výsledků neinvazivního vyšetření praktickým standardem. Skýtá možnost objektivně posoudit výsledky různých neinvazivních vyšetření (zátěžové EKG, dobutaminové echokardiografie a SPECT myokardiální perfuze). Další výhodou tohoto porovnávání je, že výsledek koronarografie je nejdůležitější pro další léčbu – konzervativní postup nebo perkutánní koronární intervence (PCI) resp. chirurgické řešení (CABG). V tabulce 2 je uveden přehled souborů pacientů, u nichž byla dg. přesnost SPECT ověřena koronarograficky.

Stratifikace rizika a posouzení závažnosti stenózy zjištěné při koronarografii

Hlavní výhoda SPECT vyšetření myokardiální perfuze vůči ostatním, v současnosti rutinně prováděným zobrazo-

Tabulka 2. Senzitivita, specificita a dg. přesnost zátěžového SPECT vyšetření myokardiální perfuze pro detekci ICHS.

Odkaz	n	Senzitivita	Specificita	Dg. přesnost
Tamaki a spol. ⁽²⁾	104	98% (80/82)	91% (20/22)	96% (100/104)
Mahmarián a spol. ⁽³⁾	296	87% (192/221)	87% (65/75)	87% (257/296)
DePasquale a spol. ⁽⁴⁾	210	95% (170/179)	74% (23/31)	92% (193/210)
Kamínek a spol. ⁽²⁶⁾	209	93% (140/151)	86% (50/58)	91% (190/209)
Casanova a spol. ⁽²⁷⁾	57	85% (24/28)	93% (27/29)	89% (51/57)
Santana-Boado a spol. ⁽²⁸⁾	163	91% (92/101)	90% (56/62)	91% (148/163)
Azzareli a spol. ⁽²⁹⁾	235	95% (199/209)	77% (20/26)	93% (219/235)
Iskandrián a spol. ⁽³⁰⁾	148	92% (121/132)	88% (14/16)	91% (135/148)
Lisbona a spol. ⁽³¹⁾	82	74% (29/39)	79% (34/43)	77% (63/82)
Francisco a spol. ⁽³²⁾	75	90% (46/51)	96% (23/24)	92% (69/75)
Huikuri a spol. ⁽³³⁾	93	96% (78/81)	75% (9/12)	94% (87/93)
Nguyen a spol. ⁽³⁴⁾	60	92% (49/53)	100% (7/7)	93% (56/60)
Souhrnně	1 732	92% (1 220/1 327)	86% (348/405)	91% (1 568/1 732)

vacím vyšetřením (tedy zejména zátěžové echokardiografii), spočívá v možnosti kvantitativního posouzení regionálních perfuzních abnormalit. Pacienti s normální perfuzí po adekvátní zátěži mají velmi nízkou frekvenci kardiálních příhod nezávisle na přítomnosti koronarograficky prokázané ICHS. Studie s více než 10 000 pacienty prokázaly, že riziko infarktu myokardu nebo náhlé srdeční smrti je u takových osob menší než 1 % ročně^(5, 35, 36). Dobrá prognóza se pojí i s nevelkým fixním defektem při celkově dobré funkci levé komory. Naopak riziko kardiální příhody lze předpokládat u všech pacientů s reverzibilním defektem perfuze. Vyšší riziko mají pacienti s rozsáhlým perfuzním defektem a při známkách pozátěžové dysfunkce LK (tranzientní ischemická dilatace LK, pokles pozátěžové EF, zvýšené vychytávání TI-201 v plicích).

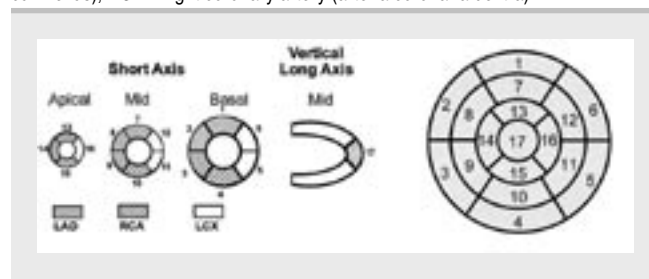
a) Kvantitativní perfuzní SPECT

Pokud pomocí SPECT zobrazíme perfuzní defekty, nestačí popsat pouze jejich lokalizaci a zda se jedná o reverzibilní či fixní poruchu perfuze. Je nutné se vyjádřit také k rozsahu a závažnosti perfuzní abnormality. Tu lze kvantifikovat na polárních mapách pomocí segmentálního skóring systému (podle současných doporučení je prosazován sedmnácti segmentový model LK, obrázek 5)⁽³⁷⁾. Perfuze v jednotlivých segmentech je charakterizována zpravidla pětistupňovou škálou:

- 0 normální perfuze
- 1 nejednoznačný nález
- 2 abnormální perfuze
- 3 závažná porucha
- 4 absence vychytávání radiofarmaka.

Každý ze segmentů LK je takto ohodnocen a body se sčítají – stanovuje se tzv. sumační zátěžové skóre (summed stress score, SSS) a sumační klidové skóre (summed rest score, SRS)^(35, 36). V současných nukleárně kardiologických vyhodnocovacích programech probíhá tato kvantitativní analýza plně automaticky podle počtu standardních odchylek ve srovnání s normálovou databází. Pokud je SSS menší než 4, je perfuzní defekt hodnocen jako nevýznamný. Naopak při SSS > 13 se jedná o těžkou poruchu perfuze a riziko je vysoké (obrázek 6). Hachamovitch a spol.⁽³⁶⁾ analyzovali soubor 5 183 pacientů, kteří byli vyšetřeni pomocí SPECT myokardu. Zatímco u pacientů se sumačním zátěžovým skóre < 4 bylo riziko náhlé srdeční smrti nízké (0,3 % ročně), u pacientů se sumačním zátěžovým skóre > 13 bylo evidováno 3,7 % úmrtí ročně (tabulka 3). U pacientů s mírně abnormální perfuzí (SSS 4–8) je středně vysoké riziko infarktu myokardu, ale riziko srdeční smrti je nízké (ob-

Obrázek 5. Segmentální dělení tomografických řezů levé komory, tvorba polární mapy a povodí jednotlivých koronárních tepen. LAD = left anterior descending artery (ramus interventricularis anterior), LCX = left circumflex artery (ramus circumflexus), RCA = right coronary artery (arteria coronaria dextra).



rázek 7). U těchto pacientů by měla být preferována agresivní modifikace rizikových faktorů (sekundární prevence). U pacientů se střední a s těžkou abnormalitou perfuze (SSS > 8) je preferována invazivní strategie.

b) Gated SPECT a stratifikace rizika

Hachamovitch a spol.⁽³⁸⁾ sledovali soubor 1695 osob a prokázali, že pacienty s abnormálním sumačním zátěžovým skóre (SSS) lze dále třídit podle výsledku gated SPECT. Mortalita byla signifikantně vyšší u pacientů s nízkou pozátěžovou EF. Obdobně Sharir a spol.⁽³⁹⁾ v souboru 1680 pacientů prokázali vyšší riziko u osob s pozátěžovou EF < 45 % a se zvýšeným end-diastolickým objemem (> 120 ml) resp. end-systolickým objemem (> 70 ml).

I když zátěžové SPECT vyšetření myokardiální perfuze s vysokou dg. přesností identifikuje pacienty s ICHS, u pacientů s nemocí více tepen nemusí být zobrazen perfuzní defekt ve všech postižených povodích⁽²⁵⁾. Metoda totiž posuzuje spíše relativní než absolutní perfuzi, v některých případech dochází k přerušení zátěže pro symptomy anginy pectoris při ischemii vyvolané v nejvíce postiženém povodí. Novější práce ukázaly, že tyto rizikové pacienty se závažným postižením koronárního řečiště pomáhá identifikovat poischemické omračení LK zjištěné pomocí gated SPECT^(40–43). Často je zjištěn významný pokles pozátěžové EFLK ve srovnání s klidovou hodnotou nebo regionální zhoršení kinetiky LK (obrázek 8). Toto omračení (stunning) může trvat až jednu hod po zátěži, a lze je proto prokázat v době akvizice pozátěžové gated SPECT studie^(44, 45).

Vyšetřování pacientů po revaskularizaci

U pacientů po PCI nebo CABG je indikována zátěžová scintigrafie myokardu zejména při rekurenci symptomů. Rutinní vyšetřování všech asymptomatických osob po revaskularizaci není zahrnuto v doporučených postupech. Indikace SPECT myokardu je oprávněná u pacientů s pozitivní či nediagnostickou zátěžovou elektrokardiografií. Klinický prospěch z neinvazivního zobrazovacího vyšetření mohou mít rovněž asymptomatictí diabetičtí pacienti, stejně jako pacienti více než 5 let po CABG (zvláště mají-li venózní štěpy), a pacienti s inkompletní revaskularizací⁽¹⁰⁾. Díky obrovskému rozvoji intervenční kardiologie v posledních 10 letech tvoří v současnosti porevaskularizační studie velmi významný a neustále narůstající podíl v zastoupení jednotlivých indikací SPECT vyšetření⁽⁴⁶⁾.

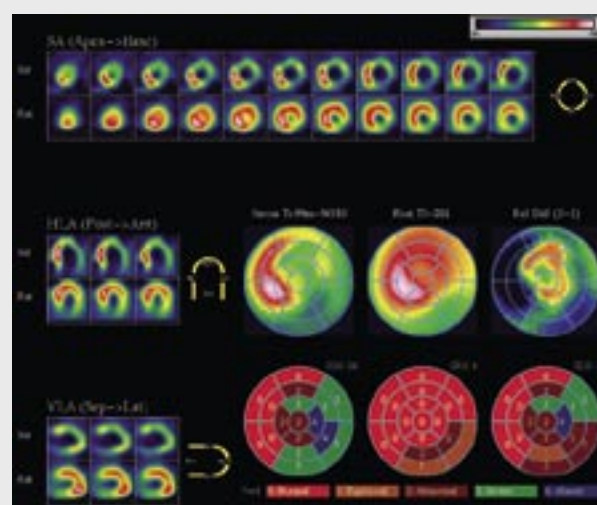
Tabulka 3. Frekvence náhlé srdeční smrti a nefatálního infarktu myokardu (% za rok) u 5 183 pacientů vyšetřených pomocí SPECT myokardiální perfuze podle závažnosti poruchy perfuze. SSS – summed stress score (sumační zátěžové skóre), n – počet pacientů. Frekvence kardiální příhody se signifikantně zvyšuje s rostoucím SSS⁽⁶⁶⁾.

Zátěžová perfuze	SSS	Náhlá srdeční smrt	Nefatální infarkt myokardu
Normální (n=2946)	< 4	0,3	0,5
Mírně abnormální (n=884)	4 – 8	0,8	2,7
Středně abnormální (n=455)	9 – 13	2,3	2,9
Těžká porucha (n=898)	> 13	3,7	4,2

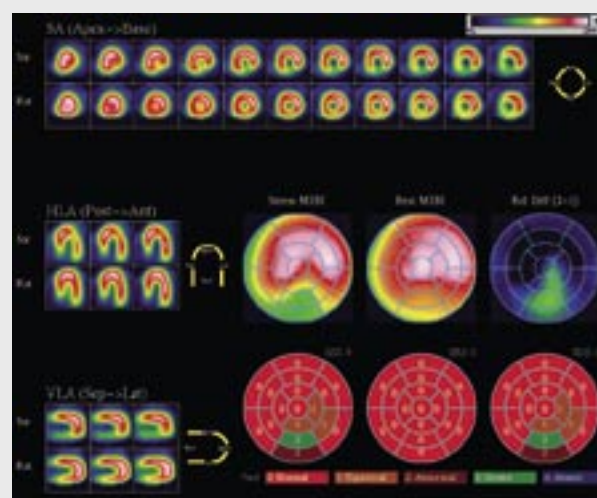
Detekce viability

Zjištění viability myokardu má klinický význam u pacientů s dysfunkcí levé komory a nízkou EF levé komory (EF pod 40%)⁽⁶⁾. Signifikantně horší prognózu mají nemocní s dysfunkčním viabilním myokardem, nejsou-li revaskularizováni, než ti, kteří se podrobili revaskularizaci, nebo než nemocní s dysfunkčním neviabilním myokardem^(6,47). Zátěžové vyšetření myokardiální perfuze umožňuje detekovat ischemii i viabilitu. Pokud je klinický dotaz pouze na viabilitu nebo pacient není schopen zátěže, lze provést pouze klidové vyšetření. Dysfunkční segmenty s fixním defektem kumulujícím méně než 50 % maximální aktivity (četnosti impulsů) jsou obvykle považovány za jizvu po infarktu myokardu,

Obrázek 6. Zátěž MIBI/klid ²⁰¹Tl SPECT u 66leté pacientky prokazuje reverzibilní defekt perfuze anteriorně, apikálně, inferiorně a laterálně. Sumační zátěžové skóre (SSS) je 34, zatímco sumační klidové skóre (SRS) je 6. Koronarograficky bylo prokázáno závažné postižení všech tří tepen.



Obrázek 7. Zátěžové MIBI SPECT vyšetření u 35letého pacienta s typickou anginou pectoris. Je zobrazen reverzibilní defekt inferiorně. Sumační zátěžové skóre (SSS) je 8, zatímco sumační klidové skóre (SRS) je 0. Koronarograficky po 4 týdnech prokázán 100% uzávěr ve středním úseku pravé koronární tepny, která se dále plní z povodí ramus interventricularis anterior. Pacientovy obtíže byly zvládnuty medikamentózně.



[illegible]

Akutní koronární syndrom

Srovnání SPECT a zátěžové echokardiografie

Limitace metody

SPECT myokardiální perfuze je vysoce senzitivním testem pro detekci ICHS, přičemž zobrazení perfuzních abnormalit je častější u pacientů s nemocí více tepen než

u pacientů s nemocí jedné tepny^(23,25). Jak však již bylo výše zmíněno v odstavci „*Gated SPECT a stratifikace rizika*“, jistou limitací SPECT je, že zobrazuje spíše relativní než absolutní myokardiální perfuzi. Pokud tedy je snížený průtok ve všech třech povodích, jako normální se na SPECT zobrazuje povodí s nejlepším průtokem (tedy s nejmenším postižením). Navíc, pokud je při zátěžovém testu indukována ischemie související s nejvýznamnější stenózou koronárního řečiště, ischemické symptomy mohou zabránit v dalším pokračování zátěže, a nedojde tak k zobrazení dalších perfuzních defektů.

V multicentrické studii Van Traina a spol.⁽²³⁾ byla senzitivita SPECT pro detekci ICHS u pacientů s nemocí 1, 2 a 3 tepen 84 %, 91 % resp. 96 %. Avšak správná identifikace rozsahu onemocnění byla u pacientů s postižením 2 a 3 tepen pouze 43 % resp. 38 %. Rovněž v našem souboru 151 pacientů kvantitativní analýza perfuze ukázala nárůst sumačního zátěžového skóre se stoupajícím počtem postižených povodí: průměrné SSS bylo 9 pro nemoc 1 tepny, zatímco při postižení 2 a 3 povodí bylo SSS 15 resp. 16⁽⁵²⁾. Avšak pouze 48 % (30/63) pacientů s nemocí více tepen mělo reverzibilní defekty ve více povodích. Může tak docházet k určitému podhodnocení u pacientů s nemocí více tepen, vybalancované postižení všech tří tepen dokonce může být vzácnou příčinou falešně negativního zátěžového SPECT vyšetření⁽⁵³⁾. Naštěstí má 96 % pacientů s nemocí tří tepen abnormální perfuzní SPECT. Toto číslo je navíc možno zvýšit pomocí vedlejších ukazatelů, jako je

tranzientní ischemická dilatace, pozátěžové zhoršení ejekční frakce levé komory a u thalliové scintigrafie vyšší kumulace radiofarmaka v plicích.

Závěr

Současně s bouřlivým rozvojem kardiologie došlo v posledních letech i k významnému pokroku v radionuklidovém zobrazování myokardu, zejména u SPECT vyšetření myokardiální perfuze. Standardem je v současnosti EKG-synchronizované gated SPECT vyšetření, umožňující posouzení perfuze i funkce levé komory, k dispozici jsou nové kardiologické programy umožňující srovnání pacientových dat s normálovou databází, kvantifikaci rozsahu a závažnosti perfuzních defektů, automatické stanovení ejekční frakce levé komory atd. Významně se mění spektrum pacientů, odesílaných na toto vyšetření. SPECT myokardu stále hraje důležitou roli jednak v diagnostice ICHS, v současné době však stále více nabývá na významu posuzování prognózy u pacientů s velmi pravděpodobnou nebo již koronarograficky prokázanou ICHS. Kvantifikace rozsahu a závažnosti perfuzních defektů pomocí stanovení sumačního zátěžového skóre přináší důležité informace při rozhodování o dalším terapeutickém postupu. U pacientů s normální perfuzí (SSS 0–3) resp. s mírně abnormální perfuzí (SSS 4–8) je riziko srdeční smrti je nízké (< 1 % ročně) a lze upřednostnit medikamentózní terapii. Naopak u pacientů se střední resp. těžkou abnormalitou perfuze (SSS > 8) je preferována invazivní strategie.

Literatura

1. Niederle P. Hodnocení viability myokardu – stále aktuální problém. *Cor Vasa* 2002; 44: 166–167.
2. Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, et al. Stress thallium-201 transaxial computed tomography: Quantitative versus qualitative analysis for evaluation of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1984; 4: 1213–1221.
3. Mahmarian JJ, Boyce TM, Goldberg RK, et al. Quantitative exercise thallium-201 single photon emission computed tomography for enhanced diagnosis of ischemic heart disease. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 318–329.
4. DePasquale EE, Nody AC, DePuey EG, et al. Quantitative rotational thallium-201 tomography for identifying and localizing coronary artery disease. *Circulation* 1988; 77: 316–327.
5. Brown KA. Prognostic Value of a Nuclear Cardiology Techniques. In: Gerson MC. *Cardiac Nuclear Medicine*. 3rd edition, New York: McGraw Hill, 1997: 619–654.
6. Meluzin J. Postavení zátěžových testů v diagnostice nemoci koronárních tepen a při posuzování její prognózy. *Cor Vasa* 1997; 39: 44–49, 105–110.
7. Kósa I, Blasini R, Schneider-Eicke J, et al. Myocardial Perfusion Scintigraphy to Evaluate Patients After Coronary Stent Implantation. *J Nucl Med* 1998; 39: 1307–1311.
8. Milan E, Zoccarato O, Terzi A, Etti F, Leonzi O, Niccoli L, Giubbini R. Technetium-99m-sestamibi SPECT to detect restenosis after successful percutaneous coronary angioplasty. *J Nucl Med* 1996; 37: 1300–1305.
9. Strauss HW, Miller DD, Wittry MD, et al. Procedure Guideline for Myocardial Perfusion Imaging. *J Nucl Med* 1998; 39: 918–923.
10. Klocke FJ, Baird MG, Beverly HL, et al. ACC/AHA/ASNC Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging – Executive Summary. *Circulation* 2003; 108: 1404–1418.
11. Underwood SR, Godman B, Salyani S, Ogle J, Eli PJ. Economics of Myocardial Perfusion Imaging in Europe – The Empire Study. *Eur Heart J* 1999; 20: 157–166.
12. Levin DC, Parker L, Intenzo CHM, Sunshine JH. Recent Rapid Increase in Utilization of Radionuclide Myocardial Perfusion Imaging and Related Procedures: 1996–1998 Practice Patterns. *Radiology* 2002; 222: 144–148.
13. Kamínek M, Hušák V, Mysliveček M, Lang O. Activity and Practice of Nuclear Cardiology in the Czech Republic 2001. *Eur J Nucl Med* 2003; 30 (2): 321–324.
14. Prvulovich E, Metcalfe MJ. Nuclear cardiology in the UK: activity and practice 1997. *Eur J Nucl Med* 2002; 29: 553–558.
15. Hachamovitch R. Clinical value of combined perfusion and function imaging in the diagnosis, prognosis, and management of patients with suspected or known coronary artery disease. In: Germano G, Berman DS. *Clinical gated cardiac SPECT*, Armonk, New York: Futura Publishing Company, Inc., 1999: 239–258.
16. Taillefer R., Tamaki, N. *New Radiotracers in Cardiac Imaging. Principles and Applications*. Stamford – Connecticut, USA. Appleton & Lange, 1999.
17. Kamínek M, Mysliveček M, Hušák V, Kubinyi J, Lang O, Záhlava J. Metody zátěže používané v nukleární kardiologii. *Cor Vasa* 2000; 42 (1): 40–46.
18. Mysliveček M, Kamínek M. Doporučení k provádění zátěžových testů v nukleární kardiologii. *Cor Vasa* 2000; 42 (3): K54–56.
19. Follansbee WP. Alternatives to Leg Exercise in the Evaluation of Patients with Coronary Artery Disease: Functional and Pharmacologic Stress Modalities. In: Gerson MC. *Cardiac Nuclear Medicine*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1997: 193–235.
20. Cosin-Sales J, Maceira AM, Garcia-Velloso MJ, Macias A, Gimenez M, Garcia-Bolao I, a spol. Safety and feasibility of atropine added to submaximal exercise stress testing with Tl-201 SPECT for the diagnosis of myocardial ischemia. *J Nucl Cardiol* 2002; 9: 581–586.
21. De Lorenzo A, Foerster J, Sciammarella MG, Suey C, Hayes SW, Friedman J, D, et al. Use of atropine in patients with submaximal heart rate during exercise myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2003; 10: 51–55.
22. Diamond GA, Forrester JS. Analysis of probability as an aid in the clinical diagnosis of coronary-artery disease. *N Engl J Med* 1979; 300: 1350–1358.
23. Van Train KF, Garcia EV, Maddahi J, et al. Multicenter trial validation for quantitative analysis of same-day rest-stress technetium-99m-sestamibi myocardial tomograms. *J Nucl Med* 1994; 35: 609–618.
24. Bachmann R, Sechtem U, Voth E, Schröder J, Höpp HW, Schicha H. Dipyridamole Scintigraphy and Intravascular Ultrasound After Successful Coronary Intervention. *J Nucl Med* 1997; 38: 553–558.
25. Gerson MC. Tests Accuracy, Test Selection, and Test Result Interpretation in Chronic Coronary Artery Disease. Gerson MC. In: *Cardiac Nuclear Medicine*. 3/e. New York: McGraw-Hill, 1997: 527–579.
26. Kamínek M, Mysliveček M, Škvařilová M, Hušák V, Lang O. Neinvazivní detekce ischemické choroby srdeční zobrazením myokardiální perfuze – srovnání fyzické zátěže a infuze dipyridamolu. *Cor Vasa* 1999; 41 (4): 180–185.
27. Casanova R, Patroncini A, Guidalotti PL, et al. Dose and test for dipyridamole infusion and cardiac imaging early after uncomplicated myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1992; 70: 1402–1406.
28. Santana-Boado C, Candell-Riera J, Castell-Conesa, et al. Diagnostic Accuracy of Technetium-99m-MIBI Myocardial SPECT in Women and Men. *J Nucl Med* 1998; 39: 751–755.
29. Azzarelli S, Galassi AR, Foti R, et al. Accuracy of 99mTc-tetrofosmin myocardial tomography in the evaluation of coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 1999; 6 (2): 183–189.

30. Iskandrian AS, Heo J, Nguyen T, et al. Assessment of coronary artery disease using single-photon emission computed tomography with thallium-201 during adenosine-induced coronary hyperemia. *Am J Cardiol* 1991; 67: 1190-1194.
31. Lisbona R, Linh L, Derbekyan V, Novales-Diaz JA. Supine and Prone SPECT Tc-99m MIBI Myocardial Perfusion Imaging for Dipyridamol Studies. *Clin Nucl Med* 1995; 20: 674-677.
32. Francisco DA, Collons SM, Go RT, et al. Tomographic thallium-201 myocardial perfusion scintigrams after maximal coronary artery vasodilation with dipyridamole: Comparison of qualitative and quantitative approaches. *Circulation* 1982; 66: 370-379.
33. Huikuri HV, Korhonen UR, Airaksinen J, et al. Comparison of dipyridamole-handgrip test and bicycle exercise test for thallium tomographic imaging. *Am J Cardiol* 1988; 61: 264-268.
34. Nguyen T, Heo J, Ogilby JD, et al. Single photon emission computed tomography with thallium-201 during adenosine-induced coronary hyperemia: Correlation with coronary angiography, exercise thallium imaging and two-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 16: 1375-1383.
35. Hachamovitch R, Berman DS, Kiat H, et al. Exercise myocardial perfusion SPECT in patients without known coronary artery disease: incremental prognostic value and use in risk stratification. *Circulation* 1996; 93 (5): 905-914.
36. Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ, et al. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation* 1998; 97 (6): 535-543.
37. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *J Nucl Cardiol* 2002; 9: 240-245.
38. Hachamovitch R, Berman DS, Lewin H, et al. Incremental prognostic value of gated SPECT ejection fraction in patients undergoing dual isotope exercise or adenosine stress SPECT. *J Nucl Med* 1998; 39: 101P.
39. Sharir T, Geramano G, Kavangh PB, et al. Incremental prognostic value of post-stress left ventricular ejection fraction and volume by gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 1999; 100: 1035-1042.
40. Heiba SI, Santiago J, Mirzaiehrane M, Jana S, Fuat D, Abdel-Dayem HM. Transient postischemic stunning evaluation by stress gated Tl-201 SPECT myocardial imaging: effect on systolic left ventricular function. *J Nucl Cardiol* 2002; 9: 482-490.
41. Sharir T, Bacher-Stier C, Dhar S, et al. Identification of severe and extensive coronary artery disease by postexercise regional wall motion abnormalities in Tc-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography. *Am J Cardiol* 2000; 86 (11): 1171-1175.
42. Yamagishi H, Shirai N, Yoshiyama M, et al. Incremental value of left ventricular ejection fraction for detection of multivessel coronary artery disease in exercise 201Tl gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2002; 43: 131-139.
43. Shirai N, Yamagishi H, Yoshiyama M, et al. Incremental value of regional wall motion for detection of multivessel coronary artery disease in exercise 201Tl gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2002; 43: 443-450.
44. Johnson LL, Verdesca SA, Aude WY, et al. Postischemic stunning can affect left ventricular ejection fraction and regional wall motion on post-stress gated sestamibi tomograms. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1641-1648.
45. Paul AK, Hasegawa S, Yoshioka J, et al. Exercise-induced stunning continues for at least one hour: evaluation with quantitative gated single-photon emission tomography. *Eur J Nucl Med* 1999; 26: 410-415.
46. Marcassa CC, Campini R, Calza P, Galli M, Terazzi A, Maugeri S. Evolution of nuclear cardiology: its role in the current clinical practice. *J Nucl Cardiol* 2003; 10: S44.
47. Dilsizian V. Myocardial Viability: A Clinical and Scientific Treatise. Armonk, New-York, Futura Publishing Company, Inc. 2000.
48. Wackers FJTh, Brown KA, Heller GA, Kontos MC, Tatum JL, Udelsom JA, et al. American Society of Nuclear Cardiology position statement on radionuclide imaging in patients with suspected acute ischemic syndromes in the emergency department or chest pain center. *J Nucl Cardiol* 2002; 9: 46-50.
49. Gerson MC, Hoit BD. Comparison of stress myocardial perfusion imaging and stress echocardiography in assessment of coronary artery disease. In: Gerson, M. C.: *Cardiac Nuclear Medicine*, Third edition, New York: McGraw-Hill, 1997: 581-607.
50. Bax JJ, Poldermans D, Schinkel AF, Boersma E, Elhendy A, Maat A, et al. Perfusion and contractile reserve in chronic dysfunctional myocardium: relation to functional outcome after surgical revascularization. *Circulation* 2002; 106: I14-18.
51. Bax JJ, Maddahi J, Poldermans D, Elhendy A, Cornel JH, Boersma E, et al. Sequential (201)Tl imaging and dobutamine echocardiography to enhance accuracy of predicting improved left ventricular ejection fraction after revascularization. *J Nucl Med* 2002; 43: 795-802.
52. Kamínek M, Škvařilová M, Ostřanský J, et al. Transient postischemic stunning evaluation by gated SPECT has the potential to detect patients with multivessel coronary artery disease: Validation of the 4D-MSPECT software. *Eur J Nucl Med* 2003; 30 (Suppl.): S254.
53. Kamínek M, Lang O, Hušák V, Mysliveček M. *Atlas nukleární kardiologie*. Praha, Lacomed spol s r.o., 2003, 34.

*MUDr. Milan Kamínek, Ph.D.,
Klinika nukleární medicíny FN Olomouc,
I. P. Pavlova 6, 775 20 Olomouc
e-mail: milan.kaminek@fnol.cz*

*Článek přijat redakcí: 4. 9. 2003
Článek přijat k publikaci: 23. 10. 2003*