

Tkáňová dopplerovská echokardiografie u ischemické choroby srdeční – diagnostické možnosti v predikci ischemického substrátu a viability myokardu

Tomáš Skála, Martin Hutýra

I. interní klinika, Fakultní nemocnice Olomouc
a Lékařská fakulta Univerzity Palackého, Olomouc, Česká republika

Skála T, Hutýra M (I. interní klinika, Fakultní nemocnice Olomouc a Lékařská fakulta Univerzity Palackého, Olomouc, Česká republika). **Tkáňová dopplerovská echokardiografie u ischemické choroby srdeční – diagnostické možnosti v predikci ischemického substrátu a viability myokardu.** *Cor Vasa* 2008;50(3):109–116.

Tkáňová dopplerovská echokardiografie (TDE) je ultrazvuková modalita umožňující relativně přesné zobrazení a kvantifikaci regionálního pohybu myokardu a jeho deformace. Cílem tohoto přehledového článku je pojednání o možnostech jednotlivých modalit TDE v diagnostice ischemie a viability myokardu. V textu jsou systematicky uvedeny jednotlivé systolické a diastolické rychlostní a deformační parametry TDE, jejich potenciální klinické využití v diagnostice ischemie myokardu i hodnocení viability myokardu v klidu i při zátěžovém echokardiografickém vyšetření před zvažovanou revaskularizací myokardu.

Klíčová slova: Tkáňová dopplerovská echokardiografie – Ischemická choroba srdeční – Revaskularizace – Viabilita myokardu – Tissue velocity imaging – Strain – Strain rate

Skála T, Hutýra M (Internal Department, Olomouc University Hospital and Palacky University Medical School, Olomouc, Czech Republic). **Tissue Doppler echocardiography in ischemic heart disease – the diagnostic potential for predicting the ischemic substrate and myocardial viability.** *Cor Vasa* 2008;50(3):109–116.

Tissue Doppler echocardiography (TDE) is an ultrasound modality enabling relatively accurate visualization and quantification of regional myocardial motion and deformation. The aim of this review is to discuss the possibilities of individual TDE modalities in the diagnosis of myocardial ischemia and viability. The paper systematically reviews the individual systolic and diastolic velocity and deformation parameters of TDE, and their potential clinical use in diagnosing myocardial ischemia and in assessing myocardial viability at rest and during dobutamine stress echocardiography before considering surgical revascularization.

Key words: Tissue Doppler echocardiography – Ischemic heart disease – Revascularization – Myocardial viability – Tissue velocity imaging – Strain – Strain rate

Adresa: MUDr. Tomáš Skála, I. interní klinika, Fakultní nemocnice Olomouc a Lékařská fakulta Univerzity Palackého, I. P. Pavlova 6, 772 00 Olomouc, Česká republika, e-mail: tomasskala@gmail.com

1. ÚVOD

Tkáňová dopplerovská echokardiografie (TDE) je ultrazvuková modalita umožňující relativně přesné zobrazení a kvantifikaci regionálního pohybu a deformace myokardu. K zobrazení tkání se používá speciální „high-pass“ filtr, pomocí kterého je zobrazen pohyb srdečních stěn, charakterizovaný nízkou rychlostí a vysokou amplitudou, který kontrastuje s vysokorychlostním a nízkoamplitudovým krevním tokem. Vzhledem k vysokému časovému rozlišení je možné touto metodou studovat pohyb a deformaci myokardu, které dosud dostupné ultrazvukové techniky nedokázaly dostatečně zachytit a zajistit jejich odpoví

ídající objektivní kvantifikaci. Konvenční semikvantitativní hodnocení regionální kinetiky vizualizací endokardu a ztlušování myokardu v režimu B a M-mode je zde tedy nahrazeno možností tyto děje, díky vysoké snímkovací frekvenci, přesně zobrazit a kvantifikovat relativně nezávisle na hodnotícím subjektu. Parametry získané z analýzy TDE tedy objektivizují a poskytují další přídatné informace k nálezům konvenční klidové a zátěžové echokardiografie.

Přesná identifikace regionální dysfunkce myokardu je důležitá pro diagnostiku a léčbu pacientů s ischemickou chorobou srdeční (IČHS). Nicméně současně používané metody hodnocení regionální funkce myokardu spočívají na semikvantitativním vizuálním hod-

nocení stupně pohybu endokardu a ztlustění stěny myokardu, jsou tak vysoce subjektivní. Vizuální hodnocení navíc nemůže rozlišit podíl jak přeneseného pohybu z kontrakce v jiné oblasti („tethering“), tak nemůže odlišit abnormality v pohybu generované pasivním přenosem pohybu z jiných tkání od vlastní kontrakce myokardu. Cílem tohoto přehledu je pojednání o možnostech jednotlivých modalit TDE v diagnostice ischemie a viability myokardu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

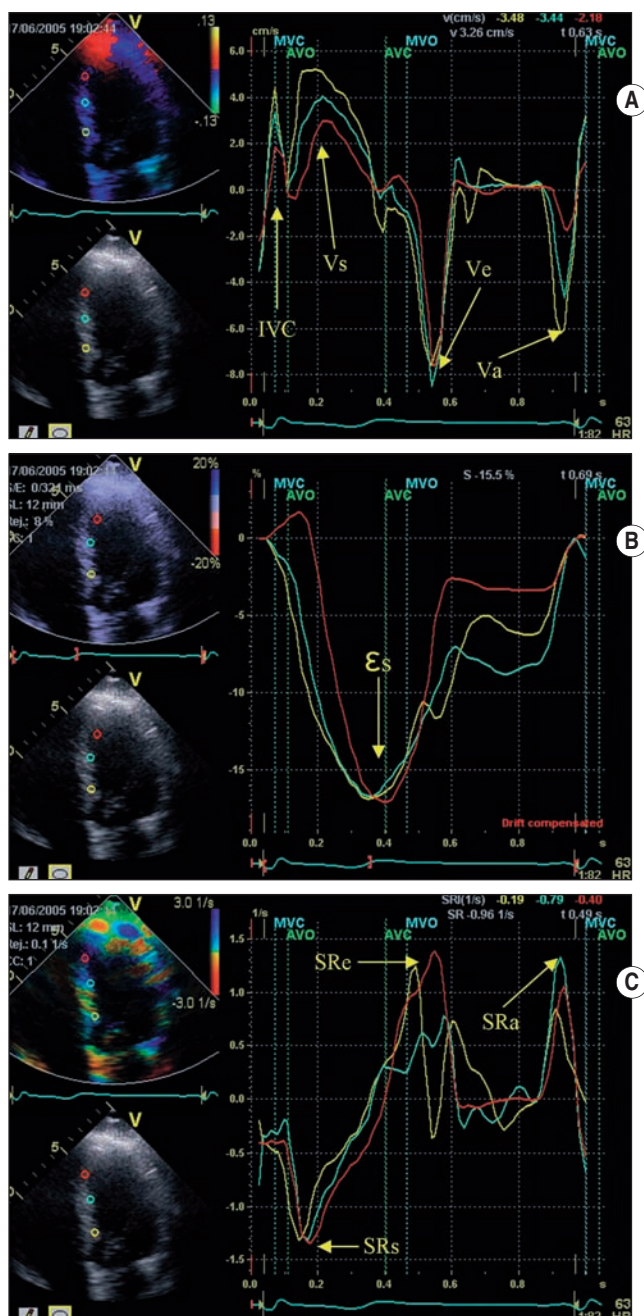
Rychlost v systole	Vs
Rychlost v časně diastole	Ve
Strain	ε
Systolický strain	ε_s
Vrcholový strain	ε_{\max}
Postsystolický strain	ε_{ps}
Časně diastolický strain	ε_a
Strain rate	SR
Systolický strain rate	SRs
Vrcholový strain rate	SRmax
Časně diastolický strain rate	SRe
Pozdně diastolický strain rate	SRa
Postsystolický pohyb	PSM
Postsystolic shortening	PSS
Postsystolický index	PSI
Izovolumická relaxační fáze	IVR
Izovolumická kontrakční fáze	IVC
Čas do začátku izovolumické relaxační fáze	TR
Čas do začátku systoly	Tbos
Čas do konce systoly	Teos
Čas od uzavření aortální chlopně do vrcholového strain	T ε
Uzavření aortální chlopně	AVc
Wall motion score	WMS
Tkáňová dopplerovská echokardiografie	TDE

2. DIAGNOSTIKA ISCHEMIE

2.1. Klidové vyšetření ischemie myokardu

Zdravý myokard vykazuje za normálních okolností pozitivní krátce trvající rychlost v průběhu izovolumické kontrakční fáze (IVC), která reprezentuje mírné longitudinální zkrácení před ejekční fází levé komory (LK). V ejekční fázi dochází k rychlému nárůstu rychlostí s vrcholem časně v systole (obrázek 1). V průběhu izovolumické relaxační fáze (IVR) pak lze pozorovat krátce trvající negativní „spike“ hodnoty rychlostí, odrážející mírné prodloužení myokardu před nástupem plnění LK.

Redukce regionálního krevního průtoku způsobuje snížení regionální kontraktility, s následnou změnou charakteru regionální deformace. Dochází k progresivnímu snížení myokardiálních systolických rychlostí (Vs) a časně diastolických rychlostí (Ve), paralelně spolu s nárůstem v myokardiálních rychlostech odpovídajících postsystolickému pohybu (PSM) zjištěnému během fáze IVR.⁽¹⁾



Obr. 1 Normální TDE nález u zdravého jedince (autora článku TS)

- Zachovalé rychlosti v IVC, přítomný fyziologický rychlostní gradient Vs od báze septa k hrotu LK, normální délka trvání izovolumické kontrakční a relaxační fáze, fyziologický poměr Em/Am;
- Symetrické normální hodnoty systolického ε_s – asi 16 % s vrcholem před uzavřením aortální chlopně (AVC), bez přítomnosti signifikantní postsystolické kontrakce;
- Fyziologické hodnoty SRs, SRe a SRa.

TDE – tkáňová dopplerovská echokardiografie, IVC – izovolumická kontrakční fáze, Vs – rychlost v systole, LK – levá komora, Em/Am – poměr rychlostí časně a pozdně diastolického plnění

Regionální rychlosti myokardu jsou utvářeny zčásti lokálním zkrácením vláken myokardu a zčásti přeneseným pohybem z jiných oblastí. Jejich velikost tak jednoznačně nerozlišuje mezi aktivní kon-

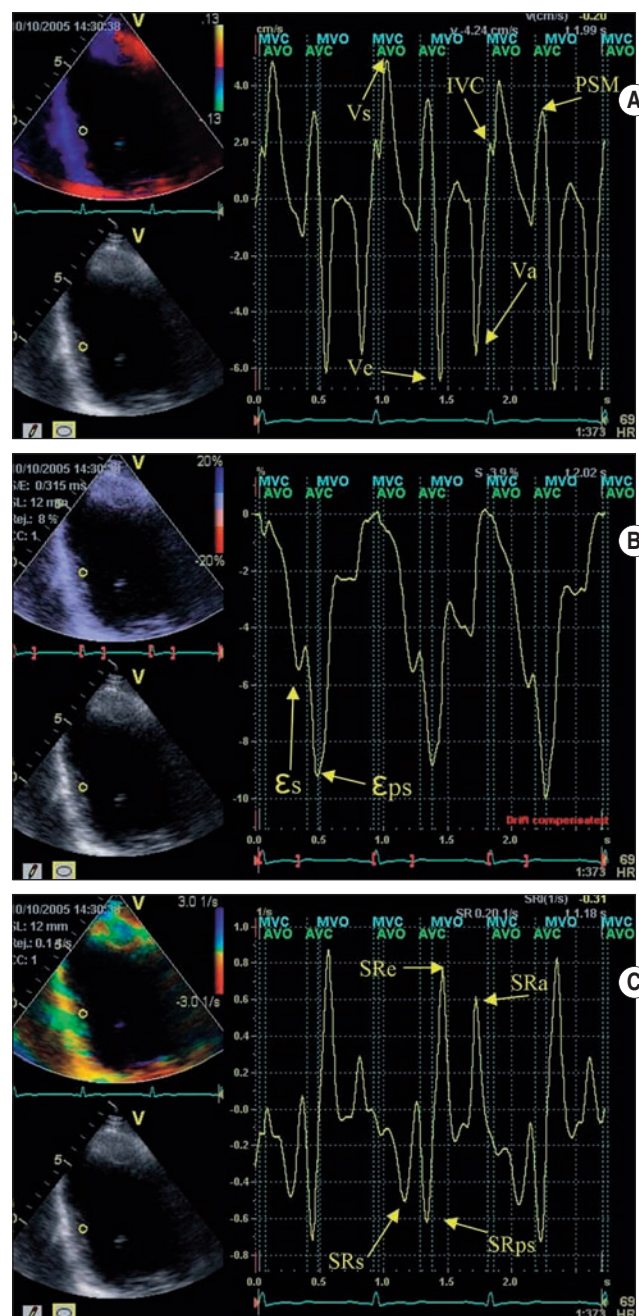
trakcí a pasivním pohybem. Výslednou rychlost tak mohou ovlivnit rotační a translační pohyby celého srdce, stejně jako aktivní kontrakce v daném segmentu, popř. v sousedních segmentech. Analýza tkáňových rychlostí z apikálních projekcí je tak komplikována faktem, že získané hodnoty představují kumulativní rychlost všech segmentů apikálně nad segmentem hodnoceným, což ústí v heterogenní rozložení tkáňových rychlostí, s progresivním poklesem hodnot směrem od báze k apexu. Vliv segmentů lokalizovaných apikálně tak snižuje možnost správně zjistit, zda je kontraktilita snížena na úrovni analyzovaného segmentu. Vrcholové ejekční rychlosti tak nejsou vhodné k hodnocení funkce závažně ischemického myokardu. V detekci ischemie myokardu má hodnocení velikosti rychlostí senzitivitu 68 %, specificitu 65 %.⁽²⁾

Strain (ϵ) a strain-rate (SR) jsou kvantitativně hodnotitelné parametry derivované z TDE, které umožňují hodnocení míry regionální deformace myokardu a její rychlost v daném zvoleném místě a časovém horizontu. ϵ je bezrozměrná veličina, která charakterizuje míru deformace objektu ve zvoleném místě a je vyjádřena v %. SR charakterizuje rychlost deformace daného objektu (1/s). Hodnoty myokardiálního ϵ a SR jsou v jednotlivých segmentech zdravého myokardu rozloženy relativně homogenně, tedy jsou méně ovlivněny pasivním pohybem okolních segmentů myokardu („tethering“), dalších srdečních a extrakardiálních translačních pohybů. Tato charakteristika myokardiálního ϵ odráží fakt, že regionální kontraktilita individuální oblasti myokardu je relativně jednotná a napomáhá tak odlišení normální a abnormální kontraktility v různých oblastech srdce (obrázek 1).⁽³⁾

Možnosti využití deformační analýzy TDE pomocí ϵ a SR byly experimentálně ověřeny jak *in vitro*,⁽⁴⁾ tak *in vivo* pomocí ultrazvukových krystalů⁽⁵⁾ a zobrazení magnetickou rezonancí.⁽⁶⁾ Asi největším úskalím TDE se zdá být intra- a interobservační variabilita hodnocení ϵ a SR *in vivo*; podle několika studií je variační koeficient uvedených deformačních parametrů sice nižší než 15 %, ⁽⁷⁾ u méně zkušených echokardiografistů je nicméně třeba očekávat variabilitu měření vyšší. Podle předběžných výsledků studie PROSPECT je interpersonální variabilita parametrů TDE větší než variabilita ostatních dopplerovských parametrů.⁽³³⁾ Zatím ne zcela uspokojivá intra- a interobservační variabilita je tak asi největší limitací metody.

Dalším úskalím TDE je úhlová závislost měření, která snižuje vyšetřitelnost segmentů s incidenčním úhlem nad 20 %, tedy zejména segmentů apikálních. U remodelovaných, kulovitých LK, je nicméně obtížné dosáhnout adekvátního incidenčního úhlu pod 20 % i u bazálních segmentů, vyšetřitelné tak mohou být jen střední segmenty. Tato metoda je rovněž použitelná jen u pacientů s dobrou vyšetřitelností.⁽³¹⁾ Nezanedbatelná je i časová náročnost vyšetření; k detailnímu posouzení funkce LK a případně i dalších srdečních oddílů jsou zapotřebí desítky minut navíc ke standardní echokardiografii.

Hodnoty longitudinálního ϵ a SR se u zdravé populace pohybují podle řady prací mezi $-12 \% \pm 5 \%$ do $-26 \% \pm 10 \%$ pro ϵ a mezi $-1,1 \pm 0,4 \text{ s}^{-1}$ do $-1,7 \pm 0,4 \text{ s}^{-1}$



Obr. 2 Patologický PSS

Popis a odlišení patologického PSS je uveden v textu A. Tkáňové rychlosti, B. ϵ , C. SR.

PSS – postsystolic shortening, ϵ – strain, SR – strain rate

pro SR.⁽³¹⁾ Podle studie publikované Edwardsenem a spol. se při porovnání s magnetickou rezonancí v myokardu zdravých jedinců hodnoty vrcholového ϵ pohybují mezi 9 a 30 %. ϵ nižší než 9 % nebyl dokumentován v myokardu žádného ze zdravých jedinců, což napovídá, že ϵ pod touto hranicí může být hodnocen jako marker poškození myokardu.⁽⁶⁾

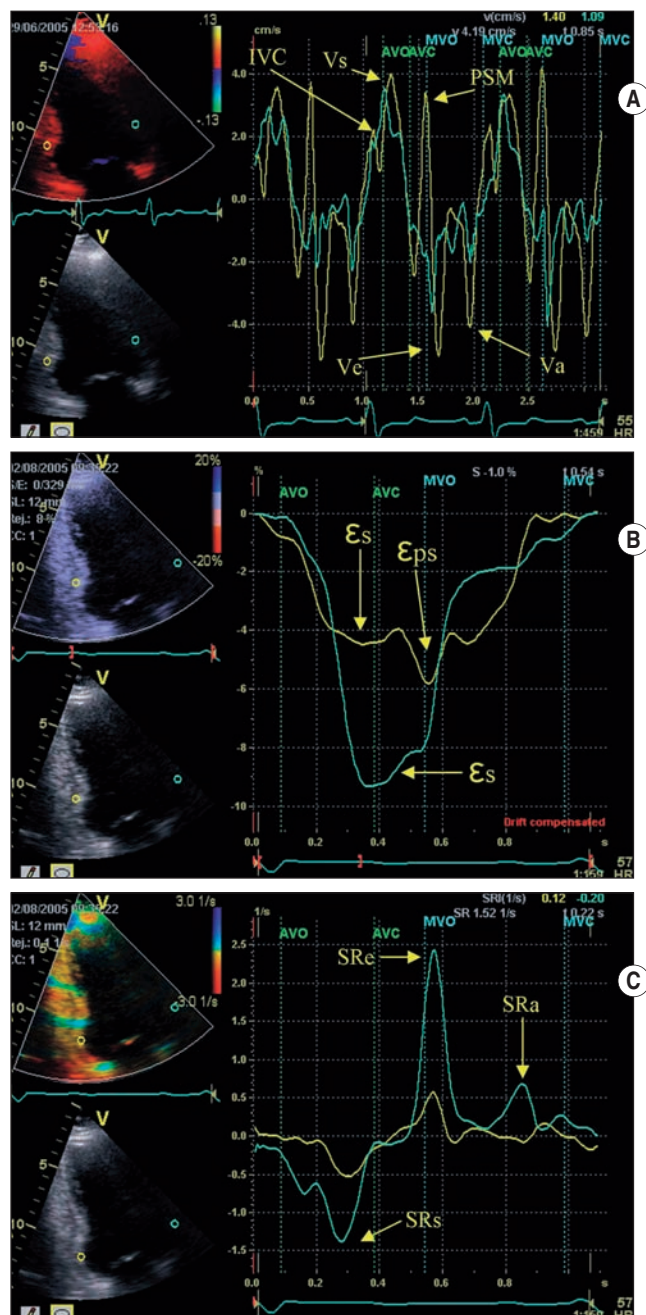
Experimentální studie naznačily, že by pro detekci ischemie mohlo být přínosné měření především SR, času do začátku IVR a velikost postsystolické deformace (PSS). V ischemickém myokardu se snižuje systolický SR (SRs) i časné diastolický SR (SRa). V oblasti akutně ischemického myokardu pak lze nalézt reverz-

ní hodnoty SR. Pokud má ischemie krátké trvání, pak se po reperfuzi navrácí ϵ a SR k normě.⁽⁸⁾

Několik klinických studií se pokusilo stanovit optimální „cut-off“ hodnoty longitudinálních ϵ , SR a rychlostí pro detekci akutní ischemie myokardu – snížení systolického SR pod $-0,8/s$ (senzitivita 75%, specifická 63%), snížení vrcholového systolického ϵ (ϵ_{max}) pod -10% (senzitivita 86%, specifická 83%), postsystolický index (PSI, viz níže) větší než 0,25 (senzitivita 95%, specifická 89%).⁽⁹⁾ Systolický ϵ (ϵ_s) a SRs mají v detekci ischemie myokardu větší diagnostickou přesnost než samotné hodnoty systolických rychlostí, hodnocených TVI /Tissue Velocity Imaging/ (ϵ_s – senzitivita 75%, specifická 80%; SRs – senzitivita 80%, specifická 82%). Pro porovnání – systolické rychlosti – senzitivita 68%, specifická 65%).⁽²⁾

Jako zcela nejpřesnější metoda pro identifikaci závažně ischemických segmentů se jeví kombinace systolických a diastolických ϵ indexů – v průběhu koronární okluze se snižuje radiální i longitudinální ϵ_s okolo 50 % oproti normálním hodnotám. Ve stejné době se zvyšuje postsystolická deformace (PSS – postsystolic shortening), a to jak v hodnotách absolutních – postsystolický ϵ (ϵ_{ps}), tak i v hodnotách relativních – postsystolický index (PSI). Současně dochází k signifikantnímu opoždění ϵ_{max} , které ústí v prodloužení časové prodlevy od uzavření aortální chlopně do vrcholového ϵ (T_e).⁽⁹⁾ PSI lze vypočítat ze vzorce $(\epsilon_{max} - \epsilon_s) / \epsilon_{max}$. PSS byl popsán v podmínkách jiných než jen ischemie myokardu – například u hypertrofie levé komory a jejího přetížení, ale i v bazálních segmentech septa u zdravých jedinců. Podle několika publikovaných klinických studií je PSS přítomen v chronicky ischemických segmentech s 80%, takřka až 100% senzitivitou. Tento parametr je nicméně relativně málo specifický, podle Voigta a spol. lze PSS nalézt i u 47 % segmentů neischemických. U zdravých jedinců se PSS vyskytuje zřejmě proto, že jen málo segmentů levé komory je během relaxační fáze skutečně izometrických, u části z nich vzniká postejekční zkrácení a u části časné prodloužení. PSS septa byl popsán rovněž u pacientů s bloádou levého Tawarova raménka (LBBB), podle studie Citra a spol. se zdá, že by mohl být užitečný v odlišení izolovaného a ischemického LBBB – specifický septální pohyb charakterizovaný poměrem V_s k postsystolickému pohybu (PSM) nižším než 1 byl detekován u 86 % pacientů s hemodynamicky významnou stenózou ramus interventricularis anterior (RIA) a pouze u 22 % pacientů bez stenózy se senzitivitou 73% a specifitou 77%. Všechny výše uvedené situace, ve kterých se vyskytuje PSS, různými mechanismy prodlužují trvání ejekční fáze a dobu trvání IVR, způsobující tak prodlouženou asynchronní kontrakci zhoršující diastolickou i systolickou dysfunkci levé komory.⁽¹⁰⁾ K odlišení ischemického a neischemického PSS a zvýšení specifity tohoto vysoce senzitivního markeru ischemie je užitečné stanovení poměru velikosti PSS a ϵ_s . Během ischemie narůstá díky PSS a redukovanému ϵ_s poměr $\epsilon_{ps} / \epsilon_s$.⁽¹¹⁾ Ischemický PSS má větší velikost a pozdější vrchol v porovnání s PSS normálních subjektů (obrázek 2).⁽¹²⁾

Jako kritéria navržená k identifikaci PSS ischemického původu patří celková míra systolické deformace, koexistující redukce v ϵ_s , přesah ϵ_{ps} oproti



Obr. 3 Netransmurální jizva u pacienta po prodělaném infarktu spodní stěny s chronickým LBBB, koronarografickým nálezem chronického uzávěru ACD a zobrazením posterobazálního aneuryzmatu LK a EF LK 25–30 % při ventrikulografii, echokardiografii a MR srdce.

- V projekci A2CH perzistující preejekční rychlosti v IVC, symetrické vrcholové rychlosti v obou segmentech, výrazný postsystolický pohyb v segmentu 4;
- Zachovalý aktivní, ale výrazně redukovaný ϵ_s v segmentu 4 s přítomnou postsystolickou kontrakcí (typický PSS) v porovnání s normálním segmentem 1;
- Výrazná redukce SRs v oblasti segmentu 4. Vyšetření MR srdce na viabilitu prokázalo 5mm a 50% rozsah fenoménu „delayed enhancement“ v oblasti segmentu 4, SPECT myokardu s normálním klidovým nálezem perfuze v obou segmentech. Závěry vyšetření indikují viabilní myokard.

LBBB – blokáda levého Tawarova raménka, ACD – arteria coronaria dextra, LK – levá komora, EF LK – ejekční frakce LK, MR – magnetická rezonance, IVC – izovolumická kontrakční fáze, ϵ_s – systolický strain, PSS – postsystolic shortening, SRs – systolický strain rate

es o více než 20 % a opoždění PSS o více než 90 ms po uzavření aortální chlopně (AVC). Kombinace parametrů es a eps, měřené v době totální obstrukce koronární arterie, identifikují akutně ischemický myokard se senzitivitou 86–95% a specificitou 83–89%.⁽⁹⁾

Z časových parametrů je u ischemických segmentů zpožděný čas do začátku relaxace myokardu (TR). Akutně ischemický segment vykazuje vyšší hodnoty regionální deformace během fáze IVR než během ejekční fáze.⁽¹³⁾

2.2. Vyšetření ischemie myokardu při zátěži dobutaminem

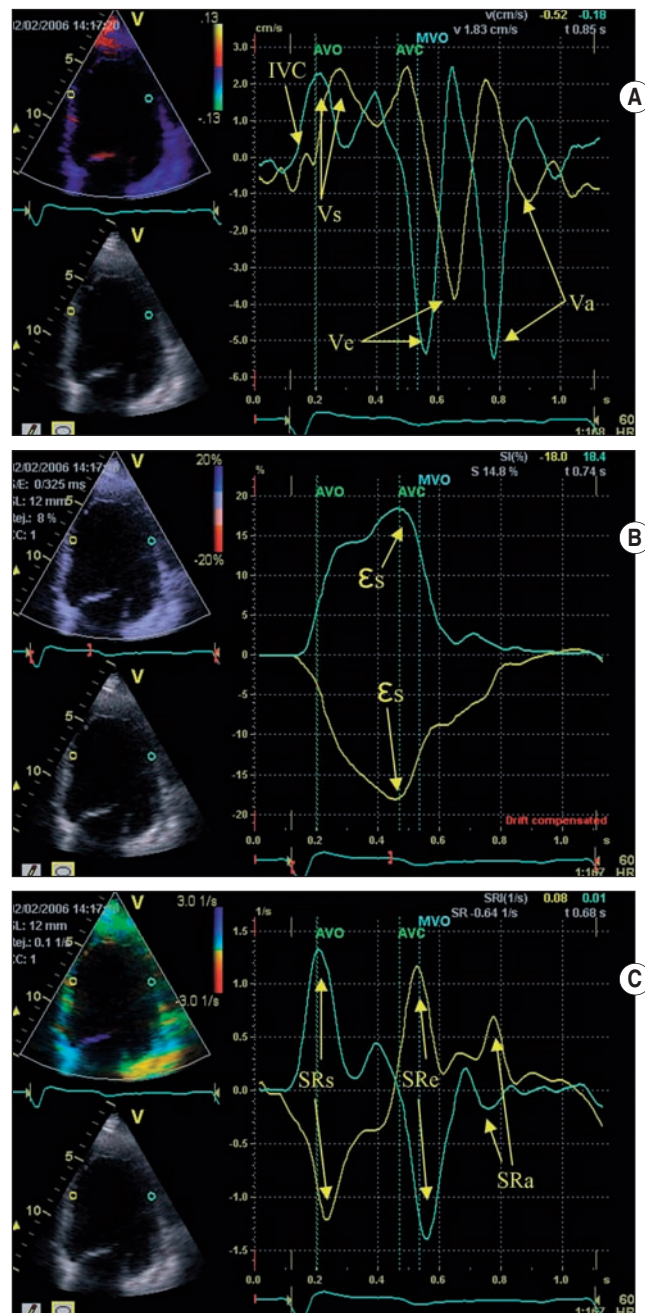
Dobutaminová zátěžová echokardiografie je široce používaná metoda detekce ischemie a viability myokardu. Při indukci ischemie dochází k regionálnímu zhoršení pohybu myokardu.⁽¹⁴⁾ Hodnocení je ale subjektivní, silně závislé na zkušenosti vyšetřujícího, což logicky ústí ve snahu nalézt nějaké objektivnější markery ischemie, kde by své případné perspektivní místo mohla nalézt tkáňová dopplerovská echokardiografie.⁽¹⁵⁾

V ischemických segmentech dochází při zátěžovém vyšetření s dobutaminem k nižšímu nárůstu vrcholových systolických rychlostí než v normálních segmentech. Hodnocení pomocí ϵ a SR je nicméně v detekci indukované ischemie myokardu přesnější než měření systolických rychlostí.⁽³⁰⁾

U normálně perfundovaného myokardu SRs vzrůstá s podávanou dávkou dobutaminu; ϵ v ejekční fázi vykazuje bifázickou odpověď – při nízké dávce dobutaminu narůstá, následně při vysoké dávce dochází k signifikantnímu poklesu.⁽¹¹⁾ Tato rozdílná odpověď je způsobena tím, že SR odráží regionální kontraktilní funkci myokardu, zatímco ϵ spíše změny v geometrii LK.⁽³²⁾ SR se tak zdá být vhodnějším parametrem k posouzení funkce myokardu při zátěži.

V ischemických segmentech je SRs redukován. Nárůst SR vykazuje bifázický průběh podle dávky dobutaminu.⁽¹⁶⁾ Redukované jsou i hodnoty es, ale vzhledem k objevení se eps se celkově u ischemických segmentů ϵ_{\max} zřetelně nesnižuje.⁽¹⁷⁾ Pouhé měření absolutních vrcholových hodnot ϵ a SR se ale zatím nezdá být velkým přínosem v detekci ischemie při dobutaminové echokardiografii. Podle doposud publikovaných studií je zatím nejlepším kvantitativním parametrem pro hodnocení zátěži indukované ischemie při dobutaminové echokardiografii poměr eps/es. Podle Voigta a spol. má zvýšení hodnoty poměru eps/es o více než 35 % v detekci zátěži indukované ischemie senzitivitu 82% a specificitu 85%. V porovnání s konvenční dobutaminovou echokardiografií tak celkově zvyšuje hodnocení pomocí SRI senzitivitu dobutaminové echokardiografie z 81 % na 82 % a specificitu z 86 % na 90 %.⁽¹¹⁾

V přítomnosti ischemie dochází k signifikantnímu nárůstu doby do začátku (time to beginning of systole – Tbos) a konce (time to end of systole – Teos) kontrakce myokardu, a to díky opožděné kontrakci a PSS. Během dobutaminové zátěže je u ischemie detekovatelné signifikantní zkrácení TR (čas do začátku izovolumické relaxační fáze) – podle Abrahama a spol. identifikuje zkrácení TR o > 20 % ischemický myokard při dobutaminové zátěži se senzitivitou 92% a specificitou 75%.⁽¹⁸⁾



Obr. 4 Neviabilní segment u pacienta s chronickou ICHS, po recidivujících IM, chronický RBBB a LAH, s koronarografickým nálezem MVD včetně hemodynamicky významné stenózy kmene ACS, EF LK podle echokardiografie a ventrikulografie 15–20 %.

A. Projekce A4CH – přítomnost preejekční rychlosti v IVC v segmentu 9, naopak absence V_{IVC} v segmentu 12, symetrické maximální systolické rychlosti s předpokladem „tetheringu“, asynchronní pohyb LK;

B. Výrazný reverzní es a SRs v segmentu 12; vyšetření SPECT myokardu s perfuzním nálezem 4 (absence klidové perfuze) a 90% rozsahem delayed enhancement podle MR srdce v segmentu 12 v porovnání s normálním MR a SPECT perfuzním nálezem v segmentu 9;

C. Reverzní SRs, SRe i SRA v neviabilním segmentu 12 v porovnání s normálně perfundovaným segmentem 9

ICHS – ischemická choroba srdeční, IM – infarkt myokardu, RBBB – blokáda pravého Tawarova raménka, LAH – levý přední hemiblok, MVD – multi vessel disease /nemoc více tepen/, ACS – arteria coronaria sinistra, EF LK – ejekční frakce levé komory, IVC – izovolumická kontrakční fáze, V_{IVC} – rychlost ve fázi izovolumické kontrakce, es – systolický strain, SRs – systolický strain rate, SRe – časné diastolický strain rate, SRA – pozdní diastolický strain rate

3. DIAGNOSTIKA VIABILITY

3.1. Klidové vyšetření viability myokardu

V experimentálním modelu akutního infarktu myokardu bylo prokázáno, že přítomnost rychlostí v izovolumické fázi kontrakce je podmíněna viabilitou myokardu v daném vyšetřeném segmentu. Perzistence preejekční rychlosti v reperfundovaném ischemickém dysfunkčním segmentu myokardu je asociována s přítomností netransmurální nekrózy a viabilitou, zatímco absence preejekčních rychlostí indikuje rozvoj transmurní jizvy a neviabilní myokard. Dysfunkční, ale viabilní segment myokardu je schopen minimální kontrakční síly během IVC, kdy intraventrikulární tlak relativně rychle narůstá, ale je nízký v porovnání s ejekční fází. Naopak neviabilní dysfunkční segmenty nejsou schopny generovat jakoukoliv, ani minimální preejekční kontrakci. Detekce přítomnosti preejekční rychlosti predikuje přítomnost viabilního myokardu v daném vyšetřeném segmentu se senzitivitou 93% a specificitou 60%.⁽³⁴⁾ Limitací tohoto parametru je výše uvedená závislost preejekčních rychlostí na pasivním pohybu způsobeném sousedními segmenty (tethering). Tento fakt může nadhodnocovat výpovědní schopnost tohoto parametru ve vztahu k viabilitě.⁽¹⁹⁾ Limitováno je rovněž vyšetření apikálních segmentů vzhledem k nepříznivému incidenčnímu úhlu apikálních segmentů a limitovanému pohybu apexu. Nízké rychlosti v apikálních segmentech navíc prakticky limitují adekvátní zhodnocení rychlostí ve fázi IVC.

Pomocí Vs a Ve nebylo možno rozeznat segmenty s transmurní jizvou od segmentů s jizvou netransmurní. Naopak jak u SRs, tak u segmentů SRe s transmurní jizvou jsou v porovnání s normálním myokardem a segmenty s netransmurní a subendokardiální jizvou po infarktu myokardu zřetelně sníženy. Navíc SRs a SRe jsou rovněž signifikantně sníženy u subendokardiální jizvy v porovnání s normálním myokardem (obrázky 3 a 4).⁽²⁰⁾

Podle Zhanga a spol. hodnoty longitudinálního SRs > -0,59/s určovaly transmurní jizvy se senzitivitou 90,9% a specificitou 96,4%. Hodnoty SRs mezi -0,98 až -1,26/s pak rozlišovaly subendokardiální jizvu od myokardu normálního se senzitivitou 81,3% a specificitou 83,3%.⁽²¹⁾ Čím větší je PSS v porovnání s ϵ s, tím pravděpodobněji je přítomna aktivní kontrakce.

Možný přínos může mít i hodnocení relaxace i compliance myokardu. Reperfundovaný myokard s transmurní jizvou má vzhledem ke zvýšené tuhosti myokardu signifikantně redukovanou schopnost diastolické deformace. Omráčený (stunned) myokard má schopnost pasivní diastolické deformace prakticky normální, což odpovídá zachované compliance tkáně. Myokard s transmurní jizvou může vykazovat oproti normálnímu myokardu a myokardu omráčenému méně než čtvrtinové hodnoty odrážející pasivní deformaci /snížené hodnoty pozdní diastolického ϵ (ϵ s), SRe i SR během pozdní fáze diastoly (SRa)/, odrážející tak abnormality relaxace i compliance.⁽²²⁾ Podle Hoffmanna nicméně při klidovém vyšetření není signifikantní rozdíl mezi SRe a SRa v porovnání segmentů viabilních a neviabilních.⁽²³⁾

3.2. Vyšetření viability myokardu při zátěži dobutaminem

Hodnocení viability myokardu pomocí detekce kontraktlní rezervy dobutaminovou echokardiografií má diagnostickou přesnost porovnatelnou s dalšími zavedenými technikami, jako je SPECT a PET.⁽²⁴⁾ Ačkoliv je dobutaminová echokardiografie široce užívanou a relativně ekonomicky nenáročnou technikou detekce viability, její adekvátní zhodnocení stále zůstává subjektivní a spočívá na semikvantitativním zhodnocení pohybu endokardu a ztlustění stěny myokardu, což značně závisí na adekvátním tréninku a zkušenostech vyšetřujícího.⁽²⁵⁾

Měřením tkáňových rychlostí pomocí TDE nebylo možné predikovat funkční zotavení po revaskularizaci.⁽²⁶⁾

Při klidovém vyšetření jsou u omráčeného, akutně ischemického myokardu, i u netransmurní jizvy po infarktu, sníženy hodnoty ϵ s i SRs spolu s přítomností PSS. U transmurní jizvy lze nalézt ještě nižší hodnoty ϵ s i SRs, PSS pak v menší míře.⁽²⁷⁾ U normálního myokardu dochází při zvyšujících se dávkách dobutaminu k nárůstu hodnot SR, hodnoty ϵ v ejekční fázi vykazují bifázickou odpověď – rovněž vzestupně se zvyšující dávkou dobutaminu narůstají, ale se vzrůstající tepovou frekvencí pak dochází k jejich poklesu.⁽¹¹⁾ U omráčeného myokardu se při nízkých dávkách dobutaminu zvyšují hodnoty ϵ a SR a snižuje se PSS. U netransmurní jizvy SR narůstá jen mírně, ϵ prakticky vůbec, hodnota PSS progresivně narůstá s dávkou dobutaminu. U transmurní jizvy jsou hodnoty ϵ i SR prakticky beze změn, PSS se během dobutaminového testu rovněž signifikantně nemění.⁽²⁷⁾

Podle Hoffmana má hodnocení SR v diagnostice viability myokardu (při použití cut-off nárůstu longitudinálního SR o 0,23) senzitivitu 83% a specificitu 84%.⁽²⁸⁾ K podobným výsledkům došla i Hanekom. Optimální cut-off hodnoty pro predikci viability myokardu byly při nízké dávce dobutaminu následující: relativní změna SR o 0,25 s⁻¹ a dosažení absolutní hodnoty SR < -1 s⁻¹ v porovnání se vstupním stavem.⁽²⁹⁾

Kombinované měření parametrů ϵ (především ϵ s) a SR s wall motion score (WMS) je v klinické praxi proveditelné a zlepšuje senzitivitu hodnocení viability pomocí dobutaminové echokardiografie (podle Hanekom a spol. 82% oproti 73%, $p = 0,015$), specificity obou metod jsou porovnatelné (80% a 77%, $p = 0,2$).⁽²⁶⁾ Jak již bylo uvedeno, při klidovém vyšetření není mezi SRe a SRa v porovnání segmentů viabilních a neviabilních signifikantní rozdíl. Při dobutaminové stimulaci narůstá SRe u viabilních segmentů, zatímco u neviabilních zůstává SRe beze změny. SRa narůstá při dobutaminu v obou případech, ale u viabilních segmentů je nárůst vyšší.⁽²³⁾

4. ZÁVĚR

Tkáňová dopplerovská echokardiografie je perspektivní metoda hodnocení regionální systolické a diastolické funkce myokardu v celé řadě klinických situací (hodnocení regionální a globální systolické a diastolické funkce jednotlivých srdečních oddílů, ICHS, asynchronie LK, hemodynamika atd.). I přes doposud slibné publikované výsledky si své místo v klinické

praxi tato relativně nová ultrazvuková metoda, zejména s ohledem na reprodukovatelnost vyšetření, hledá. Zásadní limitací metody omezující zatím její větší rozšíření v klinické praxi je doposud ne zcela uspokojivá intra- a interobservační variabilita, časová náročnost a komplexnost vyšetření. Jako slibné se jeví použití „speckle tracking“ metod, které nejsou natolik úhlově závislé a potenciálně skýtají možnost zlepšení detekce viability myokardu v klinických podmínkách. Pro nalezení optimálního místa v diagnostickém algoritmu u jednotlivých kardiálních onemocnění a zejména ve specifické situaci diagnostiky ICHS a viability myokardu bude nutná validace s metodami „zlatého standardu“ (SPECT, MR, PET, DE) se stanovením optimálních cut-off hodnot pro jednotlivé parametry a nalezení kombinovaných parametrů s co možná nejvyšší prediktivní hodnotou, senzitivitou a specificitou ve vztahu k hodnocení viabilního myokardu, posouzení ischemie myokardu, hodnocení ischemických morfologických substrátů, zejména pak odlišení transmurní jizvy od netransmurní.

LITERATURA

- Derumeaux G, Ovize M, Loufoua J, et al. Doppler tissue imaging quantitates regional wall motion during myocardial ischemia and reperfusion. *Circulation* 1998; 97:1970–7.
- Kukulski T, Jamal F, D'Hooge J, et al. Acute changes in systolic and diastolic events during clinical coronary angioplasty. A comparison of regional velocity, strain rate and strain measurement. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:1–12.
- Galiuto L, Ignone G, DeMaria AN. Contraction and relaxation velocities of the normal left ventricle using pulsed-wave tissue Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1998;81:609–14.
- Belohlavek M, Bartleson VB, Zobitz ME. Real-time strain rate imaging: Validation of peak compression and expansion rates by a tissue-mimicking phantom. *Echocardiography* 2001;18:565–71.
- Urheim S, Edvardsen T, Torp H, et al. Myocardial strain by Doppler echocardiography: validation of a new method to quantify regional myocardial function. *Circulation* 2000;102:1158–64.
- Edvardsen T, Gerber BL, Garot J, et al. Quantitative assessment of intrinsic regional myocardial deformation by Doppler strain rate echocardiography in humans: validation against three-dimensional tagged magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002;106:50–6.
- Edvardsen T, Skulstad H, Aakhus S, et al. Regional myocardial systolic function during acute myocardial ischemia assessed by strain Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:726–30.
- Jamal F, Kukulski T, Strotmann J, et al. Quantification of the spectrum of changes in regional myocardial function during acute ischemia in closed chest pigs: An ultrasonic strain rate and strain study. *J Am Soc Echocardiogr* 2001;4:874–84.
- Kukulski T, Jamal F, Herbots L, et al. Identification of acutely ischemic myocardium using ultrasonic strain measurements. A clinical study in patients undergoing coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:810–9.
- Citro R, Galderisi M, Guarini P, et al. Post-systolic motion in left bundle branch block with and without coronary artery disease: Analysis by pulsed tissue Doppler. *Ital Heart J* 2003;4:706–12.
- Voigt JU, Exner B, Schmiedehausen K, et al. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation* 2003;107:2120.
- Voigt JU, Lindenmeier G, Exner B, et al. Incidence and characteristics of segmental postsystolic longitudinal shortening in normal, acutely ischemic and scarred myocardium. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:415–23.
- Belohlavek M, Pislaru C, Bae RY, et al. Real-time strain rate echocardiographic imaging: temporal and spatial analysis of postsystolic compression in acutely ischemic myocardium. *J Am Soc Echocardiogr* 2001;14:360–9.
- Mairesse GH, Marwick TH, Vanoverschelde JL, et al. How accurate is dobutamine stress electrocardiography for detection of coronary artery disease? *J Am Coll Cardiol* 1994;24:920–7.
- Hoffmann R, Lethen H, Marwick T, et al. Analysis of interinstitutional observer agreement in interpretation of dobutamine stress echocardiograms. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:330–6.
- Miyasaka Y, Haiden M, Kamihata H, et al. Usefulness of strain rate imaging in detecting ischemic myocardium during dobutamine stress. *Int J Cardiol* 2005; 102:225–31.
- Voigt JU, Exner B, Schmidt A, et al. Are there typical strain rate imaging patterns of myocardial ischemia during dobutamine stress echocardiography? *Circulation* 2001;104 (Suppl S):S3538.
- Abraham TP, Belohlavek M, Thomson HL, et al. Time to onset of regional relaxation: feasibility, variability and utility of a novel index of regional myocardial function by strain rate imaging. *J Am Coll Cardiol* 2002;39: 1531–7.
- Pislaru C, Bruce CJ, Belohlavek M, et al. Intracardiac measurements of preejection myocardial velocities estimates the transmural extent of viable myocardium early after reperfusion in acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:1748–56.
- Shan K, Constantine G, Sivananthan M, et al. Role of cardiac magnetic resonance imaging in the assessment of myocardial viability. *Circulation* 2004;109:1328–34.
- Zhang Y, Chan AK, Yu CM, et al. Strain rate imaging differentiates transmural from non-transmural myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:864–71.
- Pislaru C, Bruce CJ, Anagnostopoulos PC, et al. Ultrasound strain imaging of altered myocardial stiffness stunned versus infarcted reperfused myocardium. *Circulation* 2004;109:2905–10.
- Hoffmann R, Altiok E, Nowak B, et al. Strain rate analysis allows detection of differences in diastolic function between viable and nonviable myocardial segments. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;4:330–5.
- Bax JJ, Wijns W, Cornel JH, et al. Accuracy of currently available techniques for prediction of functional recovery after revascularization in patients with left ventricular dysfunction due to chronic coronary artery disease: comparison of pooled data. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1451–60.
- Hoffmann R, Marwick TH, Poldermans D, et al. Refinements in stress echocardiographic techniques improve inter-institutional agreement in interpretation of dobutamine stress echocardiograms. *Eur Heart J* 2002;23:821–9.
- Hanekom L, Jenkins C, Jeffries L, et al. Incremental value of strain rate analysis as an adjunct to wall-motion scoring for assessment of myocardial viability by dobutamine echocardiography. *Circulation* 2005;112:3892–900.
- Weidemann F, Dommke C, Bijnens B, et al. Defining the transmural extent of a chronic myocardial infarction by ultrasonic strain-rate imaging: implications for identifying intramural viability: an experimental study. *Circulation* 2003;107:883–8.
- Hoffmann R, Altiok E, Nowak B, et al. Strain rate measurement by Doppler echocardiography allows improved assessment of myocardial viability in patients with depressed left ventricular function. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:443–9.

29. Hanekom L, Jenkins C, Jeffries L, et al. Incremental Value of Strain Rate Analysis as an Adjunct to Wall-Motion Scoring for Assessment of Myocardial Viability by Dobutamine Echocardiography: A Follow-Up Study After Revascularization. *Circulation* 2005;112: 3892-900.
30. Tsutsui H, Uematsu M, Shimizu H, et al. Comparative usefulness of myocardial velocity gradient in detecting ischemic myocardium by a dobutamine challenge. *J Am Coll Cardiol* 1998;31:89-93.
31. Meluzin J, Panovsky R, Kincel V, et al. The role of strain and strain rate imaging. *Cor Vasa* 2005;47:51-7.
32. Weidemann F, Jamal F, Kowalski M, et al. Can strain rate and strain quantify changes in regional systolic function during dobutamine infusion, B-blockade, and atrial pacing-implications for quantitative stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:416-24.
33. Ghio S. Results of the predictors of response to CRT (PROSPECT) trial. European Society of Cardiology Congress 2007; September 4, 2007, Vienna, Austria. Hotline 3.
34. Penicka M, Tousek P, De Bruyne B, et al. Myocardial positive pre-ejection velocity accurately detects presence of viable myocardium, predicts recovery of left ventricular function and bears a prognostic value after surgical revascularization. *Eur Heart J* 2007;28:1366-73.

Došlo do redakce 24. 8. 2007

Přijato po úpravách 24. 10. 2007

KOMPLEXNÍ VYBAVENÍ PRO KARDIOLOGIE



BTL-08 LC
dvanáctikanálové EKG



BTL-08 3K EKG holter
24-hod. kontinuální holter

BTL-08 SPIRO – spirometrie



BTL-08 ABPM
24, 48-hod. ambulantní monitor TK



Bionet BM5 – pacientský monitor



BTL-08 Win ERGO – ergometrické systémy

Primedix Defi-N – základní defibrilátor



BTL-1800 TILT
vertikalizační stůl



- ◇ EKG
- ◇ Ergometrie
- ◇ Defibrilátory
- ◇ EKG holtery
- ◇ ABPM
- ◇ Spirometry
- ◇ Vertikalizační stoly
- ◇ Pacientské monitory



BTL zdravotnická technika, a.s.
Šantrochova 16, 162 00 Praha 6
TEL/FAX 235 363 606
GSM 777 920 272-4
E-MAIL obchod@btl.cz
www.btl.cz