

# Tkáňová dopplerovská echokardiografie v resynchronizační léčbě srdečního selhání

E. Mandysová



**MUDr. Eva Mandysová, CSc.**

Promovala v roce 1975 na I. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Titul kandidáta věd získala v r. 1991 v Ústavu fyziologických regulací Československé akademie věd. V současné době pracuje na kardiologickém oddělení Nemocnice Na Homolce jako vedoucí neinvazivní kardiologie. Je autorkou více než padesáti publikací a tří monografií. Od r. 1997 je předsedkyní pracovní skupiny echokardiografie České kardiologické společnosti.

## Klíčová slova

tkáňová dopplerovská echokardiografie – srdeční selhání – resynchronizační léčba

## Souhrn

Tkáňová dopplerovská echokardiografie (TDI) představuje novou echokardiografickou metodu, s jejíž pomocí je možné kvantifikovat regionální myokardiální funkci. Její předností je velké časové rozlišení, dovolující studovat rychle probíhající děje, mezi které patří myokardiální kontrakce i relaxace. V praxi se TDI začíná uplatňovat při výběru nemocných k resynchronizační léčbě i k posuzování jejího efektu u pacientů s pokročilým srdečním selháváním.

## Keywords

tissue Doppler imaging – heart failure – cardiac resynchronization therapy

## Abstract

Tissue velocity imaging (TDI) is a newly developing echocardiographic method for quantification of regional myocardial function. Its high time resolution enables to follow quickly running events of myocardial contraction and relaxation. In clinical practice, TDI helps in selecting patients for cardiac resynchronization therapy and in evaluation of its effectiveness in patients with advanced heart failure.

Srdeční selhání je definováno jako patofyziologický stav, při kterém je abnormální srdeční funkce zodpovědná za selhání srdce jako pumpy s následným nedostatečným krytím metabolických požadavků tkání.

Echokardiografie představuje neinvazivní metodu pro hodnocení srdeční funkce, patří proto k základním kardiologickým metodám užívaným v diagnostice srdečního selhání. Rozvoj echokardiografie v posledních letech přispěl nejen k výraznému zkvalitnění základních typů zobrazení, ale byly vyvinuty i nové modalities, mezi které patří především tkáňová dopplerovská echokardiografie (TDE). Schopnost nejen měřit, ale také kvantifikovat myokardiální rychlosti s dobrou prostorovou rezolucí a s časovou rezolucí nesrovnatelně vyšší než jiné zobrazovací techniky předurčila tuto metodu ke studiu rychle probíhajících srdečních dějů. Jednu z prvních oblastí klinic-

ké kardiologie, ve které si tato technika našla své opodstatnění, je arytmiologie. Zde TDE začala sloužit k posuzování regionální asynchronie kontrakcí a spolu s klasickou echokardiografií k výběru nemocných k resynchronizační léčbě, k optimalizaci programace resynchronizačních systémů, k posuzování jejího krátkodobého efektu i k dalšímu monitorování klinického průběhu onemocnění.

Inter- nebo intraventrikulární zpoždění převodu vzruchu, manifestující se jako rozšíření QRS-komplexu nebo blok levého raménka Tawarova, způsobuje poruchu elektromechanických vztahů, vedoucí k mechanické dyssynchronii, tj. k postižení synchronie kontrakcí i relaxace uvnitř srdečních komor i mezi nimi navzájem [1].

U pacientů se srdečním selháním představuje největší mezikomorové zpoždění blok levého

raménka Tawarova, který se ve skupině NYHA III – IV vyskytuje ve 20–30 % případů.

Bylo prokázáno, že interventrikulární zpoždění převodu představuje nezávislý predikční faktor zhoršeného klinického stavu i zvýšené mortality u nemocných se srdečním selháním [2].

Asynchronní kontrakce však mohou být přítomny i v případech, že elektrokardiograficky nelze identifikovat jasnou převodní poruchu, tzn. i v případech úzkého QRS-komplexu. Z uvedeného důvodu současně platné indikace k resynchronizační léčbě (tab. 1) zahrnují i echokardiografické posouzení pacienta.

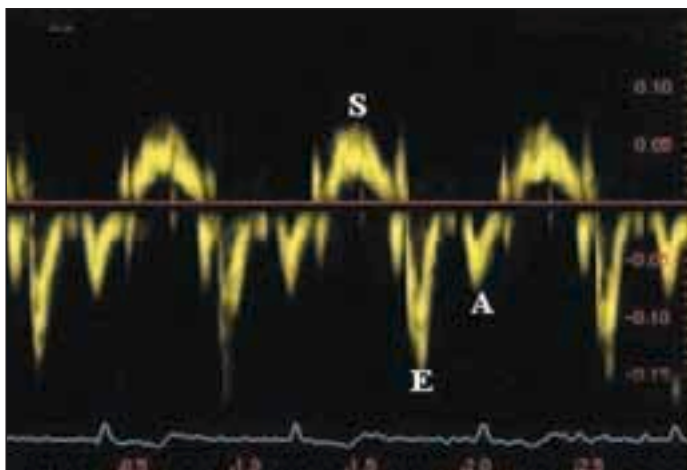
Kromě klasické echokardiografie (stanovení ejekční frakce, dopplerovské hodnocení elektromechanického nebo interventrikulárního zpoždění) jsou také v tkáňové dopplerovské echokardiografii hledána kritéria ke stále přesnějšímu posuzování srdeční kontrakce. Dosud byly zkoumány všechny vyvíjené způsoby zobrazení. Mezi publikovanými sděleními stále převažují práce, hodnotící dopplerovské myokardiální rychlosti (obr. 1, 2 a 3).

K názornému zobrazení časoprostorového rozložení regionálních myokardiálních rychlostí slouží C-způsob zobrazení (obr. 4 a 5), který zatím nemá v klinické praxi větší uplatnění.

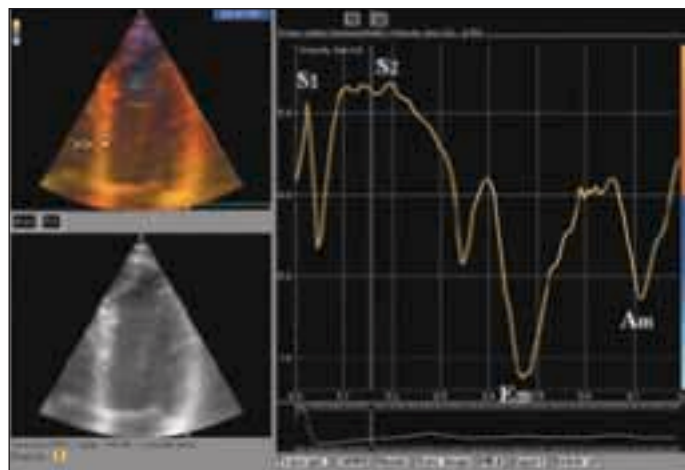
Některé z prací se zabývají semikvantifikací rychlostního systolického gradientu [3, 4] s pomocí metody *tissue tracking* (doslovně možno přeložit jako tkáňová směrová stabilita), s níž je možné zhruba posoudit, které oblasti levé srdeční komory vykazují v systole pozitivní myokardiální rychlosti (obr. 6, 7, 8 a 9).

**Tab. 1. Indikační kritéria k resynchronizační léčbě.**

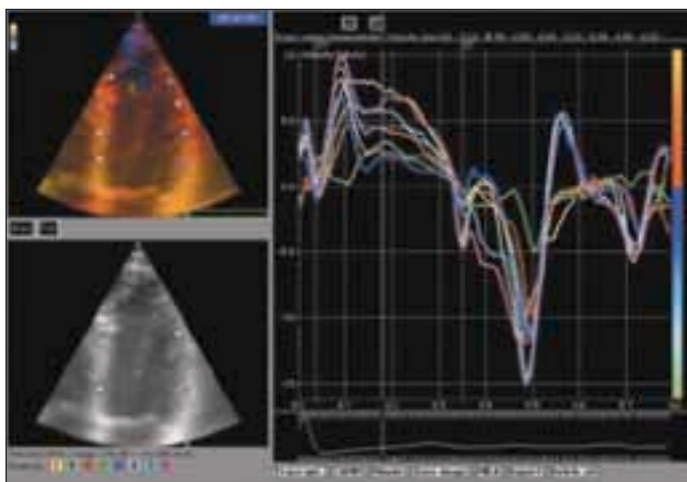
- funkční klasifikace NYHA III – IV (II?)
- neúčinná farmakologická léčba
- ejekční frakce  $\geq 35\%$
- šířka QRS  $\geq 150$  ms (120 ms?)
- echokardiografická kritéria



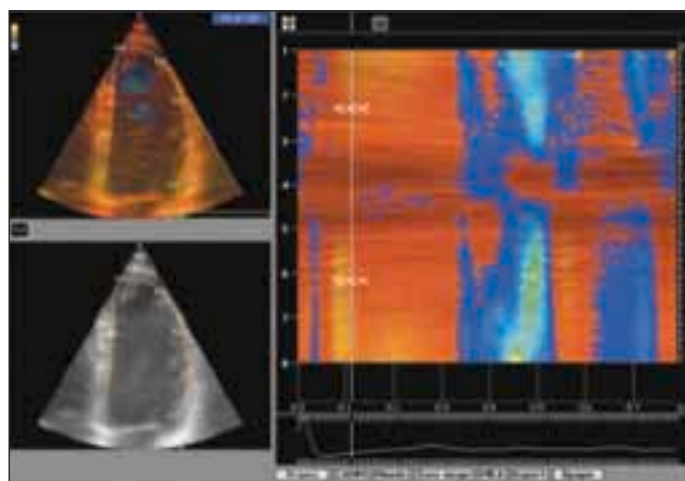
**Obr. 1. Křivka pulzního TDI.** Vzorkovací objem pulzního dopplerovského vyšetření byl umístěn do myokardu bazálního septa levé komory. Ze spektrální dopplerovské křivky je možné odečítat vrcholové rychlosti v průběhu jednoho srdečního cyklu (viz EKG záznam v dolní části obrázku). Je na ní vykreslena pozitivní systolická vlna (S), časná diastolická negativní vlna (E) a pozdní diastolická negativní vlna (A).



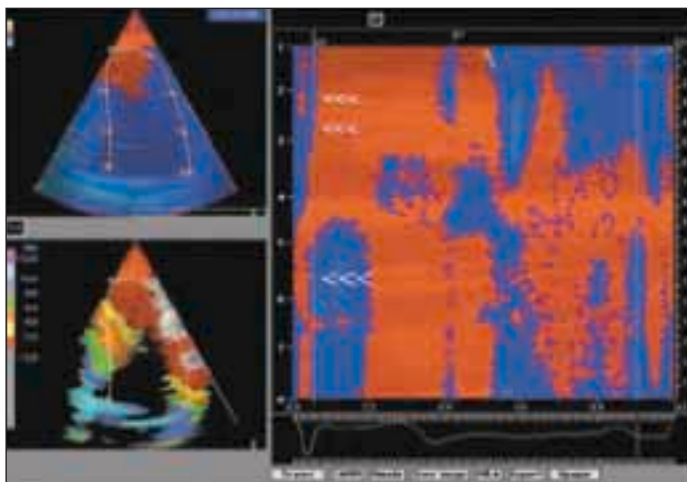
**Obr. 2. Barevné tkáňové dopplerovské zobrazení I.** Vlevo nahoře: Barevný tkáňový dopplerovské vyšetření v dvojrozměrném zobrazení. Místa pohybující se směrem k sondě jsou kódována červeně, pohyb od sondy modře. Vlevo dole: Klasické dvojrozměrné zobrazení (oba obrázky z hrotové 4dutinové projekce). Vpravo: Křivka znázorňuje normální profil myokardiálních rychlostí z bazální části mezikomorového septa (viz šipka v levém horním obrázku) během 1 srdečního cyklu. Křivka má obdobný průběh jako při snímání pulzním TDE. V systole (viz simultánně snímáný EKG záznam) je možné měřit vrcholovou rychlost systolického zkrácení ( $S_1$ ), v diastole časnou diastolickou myokardiální relaxační rychlost ( $E_m$ ) a pozdní diastolickou myokardiální rychlost spojenou s kontrakcí síně ( $E_a$ ). Vrcholová rychlost  $S_1$  představuje myokardiální rychlost spojenou s izovolumickou kontrakcí.



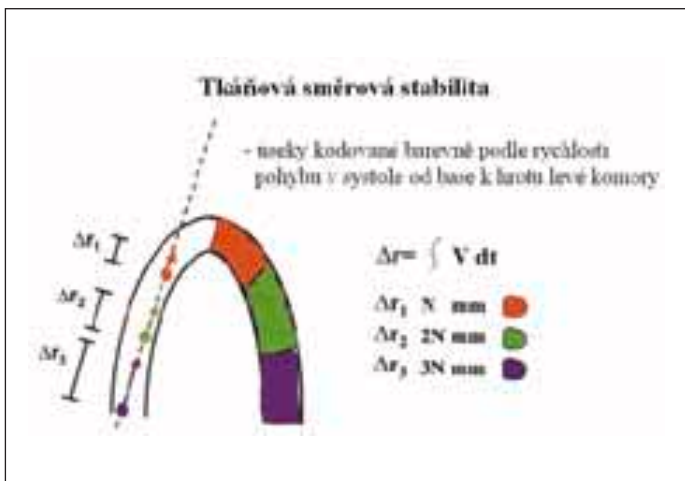
**Obr. 3. Barevné tkáňové dopplerovské zobrazení II.** Obdobný obrázek jako obr. 2, profily myokardiálních rychlostí jsou však získány z 8 míst (4 ze septa a 4 z laterální stěny levé komory). Barvy jednotlivých křivek odpovídají barvám bodů ve stěně levé komory, ze kterých jsou křivky snímány. Křivky myokardiálních rychlostí mají odlišný profil – na laterální stěně dvojrýchlový, v oblasti septa mají jen jeden vrchol (viz text).



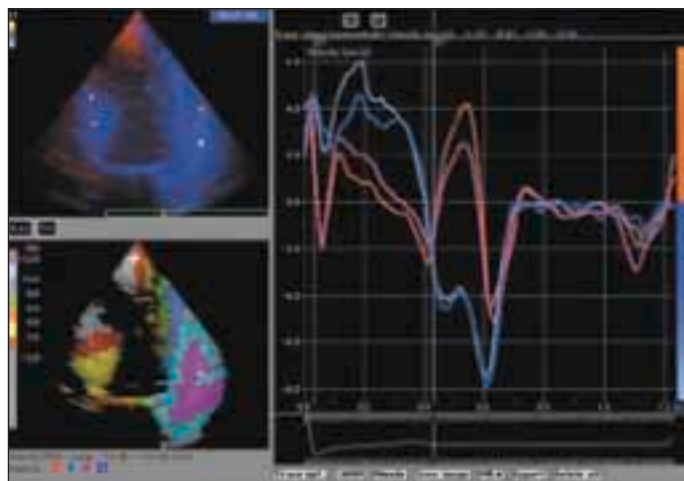
**Obr. 4. C-způsob zobrazení (podkovovitě zakřivený M-způsob) I.** Vlevo nahoře: Barevný tkáňový Doppler v dvojrozměrném zobrazení. Vlevo dole: Klasické dvojrozměrné zobrazení (oba obrázky z hrotové čtyřdutinové projekce). Vpravo: Barevně kódované myokardiální rychlosti získané v průběhu 1 srdečního cyklu z linie tvaru C, obkružující dutinu levé komory na obrázcích vlevo. Čas je zobrazen na ose x a prostorová informace od bazální části septa směrem k hrotu levé komory a dolů na bázi laterální stěny je vynesena na ose y. Číslo jednotlivých bodů na křivce ve tvaru C i na ose y jsou přiřazena stejným místům ve stěně levé komory. Pohyb směrem k sondě je opět kódován červeně, pohyb od sondy má modrou barvu. Za normálních okolností se počátkem systoly téměř současně začíná pohybovat septum i laterální stěna levé komory – viz šipky. Jelikož se pohybují směrem k sondě, mají obě červenou barvu.



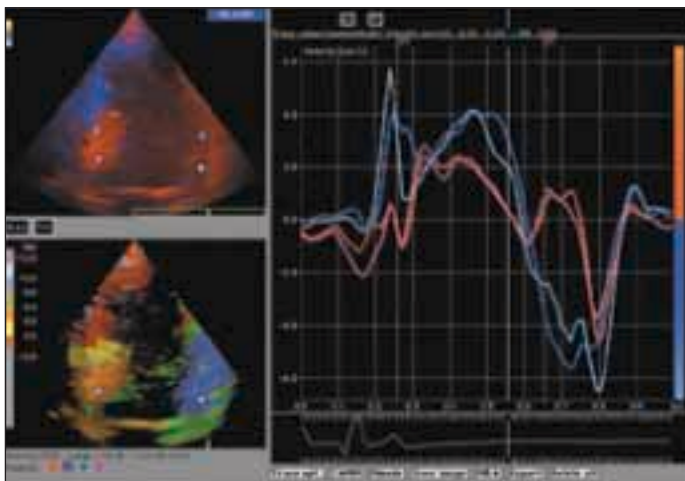
**◀ Obr. 5. C-způsob zobrazení (podkovovitě zakřivený M-způsob) II.** Vlevo nahoře: Barevný tkáňový Doppler v dvojrozměrném zobrazení. Vlevo dole: Stěna levé komory obarvena metodou *tissue tracing* (viz další obr.). Vpravo: V C-způsobu zobrazení je patrné zpoždění kontrakce v oblasti laterální stěny (odpovídající body 5–8, viz velká šipka), ve stejnou dobu má septum červenou a laterální stěna modrou barvu. Ze záznamu nelze odlišit, zda zpoždění kontrakce způsobila zpožděná aktivace nebo ischemizace tkáně.



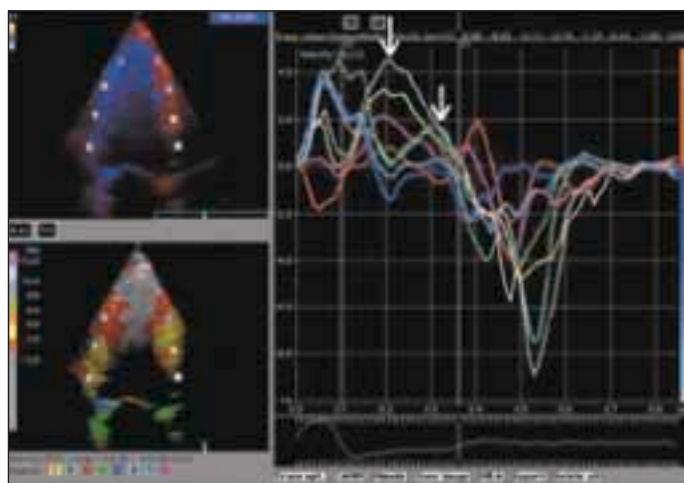
**Obr. 6. Princip metody tissue tracking (doslovný překlad: tkáňová směrová stabilita).** Stěna levé komory je obarvena proužky různých barev podle toho, s jakou rychlostí se daná oblast pohybuje směrem k sondě umístěné v hrotu levé komory. Za normálních okolností rychlost pohybu plynule narůstá od hrotu směrem k bázi levé komory. Uvedená metoda slouží k názornému posouzení, zda jsou v systole přítomny pozitivní myokardiální rychlosti.



**Obr. 7. Nemocný s dilatační kardiomyopatií.** Vlevo nahoře: Barevný tkáňový Doppler v dvojrozměrném zobrazení. Vlevo dole: Stěna levé komory obarvena metodou tissue tracking. Ve srovnání s barevnou škálou (vlevo) je zřejmé, že laterální stěna se dobře pohybuje celá až do hrotu, barevné proužkování zůstává zachováno, i když proužky jsou nestejně široké. Bazální oblast septa se pohybuje s nízkou rychlostí, apikální polovina septa se v systole nepohybuje vůbec (zůstává neobarvena). Vpravo: Obdobné modré křivky z oblasti bazální části laterální stěny (světlá a tmavá) mají relativně vysoké rychlosti v systole. Červené křivky vykazují v části systoly nízké pozitivní a v části systoly dokonce negativní hodnoty rychlosti. Pozitivní hodnoty jejich rychlosti stoupají až v postsystole, kdy již je kontrakce pro vypuzovací funkci srdce neefektivní. Jedná se o zpoždění kontrakcí v oblasti mezikomorového septa.



**Obr. 8. Nemocný po resynchronizační léčbě** (stejný nemocný jako na obr. 7). Ve srovnání s obr. 7 je zde metodou tissue tracking (vlevo dole) obarvena oblast apikální poloviny septa, neboť myokardiální rychlosti (obr. vpravo) zde nabyly pozitivních hodnot. Daná oblast se tedy začala v systole pohybovat. Současně se zvýšily vrcholové hodnoty systolických myokardiálních rychlostí z oblasti bazálního septa a snížily hodnoty postsystolických myokardiálních rychlostí v této oblasti (červený a růžový bod a křivky stejných barev).



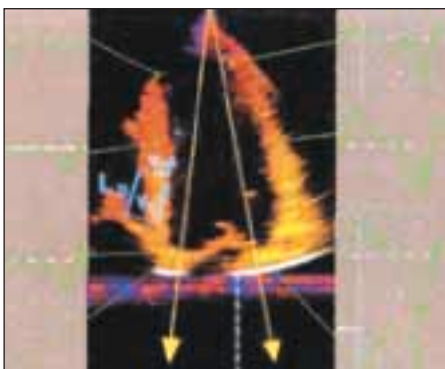
**Obr. 9. Citlivost metody tissue tracking.** Vlevo nahoře: Barevný tkáňový Doppler v dvojrozměrném zobrazení. Vlevo dole: Stěna levé komory obarvena metodou tissue tracking. Septum i laterální stěna jsou obarvena proužky stejných barev, kontrahují se tedy v systole. Metoda však neodliší menší zpoždění (zde cca 120 ms) mezi vrcholovými rychlostmi (viz šipky) bazálních částí laterální stěny (bílá křivka) a septa (světle zelená křivka).

Normální aktivace komor se rychle šíří převodním systémem a vede k synchronizované kontrakci komorových stěn. U zdravé komory je průměrné časové zpoždění mezi nástupem QRS a nástupem regionálního systolického pohybu hodnoceného TVI v rozmezí 100–110 ms. Nejčasnější nástup systolického pohybu je pozorován hlavně v posterobazálním segmentu s krátkým zpožděním ostatních stěn, což vede k synchronní longitudinální kontrakci. Odpovídající časové rozlišení je základem podmínkou pro správné časování systolického pohybu. V barevném tkáňovém dopplerovském vyšetření je požadována snímková frekvence nad 145/s k tomu, aby bylo možné rozlišit izovolumické děje a identifi-

kovat spolehlivě nástup regionální systoly. Snímkové frekvence pod 100/s mohou totiž vést ke splnutí izovolumického a systolického rychlostního signálu a vést tak k podhodnocení časového zpoždění systolického pohybu. Vyššího časového rozlišení (< 5 ms) je možné dosáhnout pulzním dopplerovským vyšetřením. Teoreticky může být synchronie pohybu kvantifikována také z vrcholové rychlosti systolického rychlostního profilu. Avšak i tento přístup má své problémy. V pulzním tkáňovém dopplerovském vyšetření vykazuje septum většinou rychlostní křivku s jedním

vrcholem. Naopak volné stěny levé komory (laterální a posterolaterální) mají bifázický rychlostní profil se 2 vrcholy. Není proto jasné, který vrchol měřit (obr. 3).

Na zadní stěně se první systolický vrchol pulzního dopplerovského vyšetření u longitudinálního pohybu objevuje téměř simultánně s vrcholem dP/dt levé komory a s otevřením aortální chlopně. To vedlo k předpokladu, že odráží vzestup tlaku v levé komoře. Ve srov-

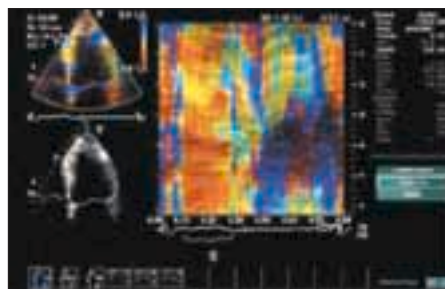


**Obr. 10. Princip metody strain rate.** Strain rate (SR) se rovná rozdílu rychlostí ( $\Delta v = v_1 - v_2$ ) na jednotku délky (L):  $SR = \Delta v / L$ . V praxi se nejmenší vzdálenost, na kterou je v současné době možné měřit SR bez velkého šumu, pohybuje až kolem 1 cm, na menší vzdálenost nelze zatím dosáhnout dostatečné přesnosti měření.

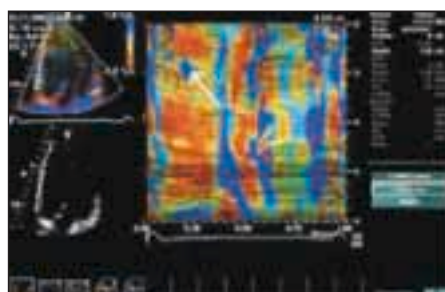
nání s tímto časným vrcholem je monofázický vrchol septa pozorován o 30–40 ms později a odpovídá mnohem více vrcholovému systolickému tlaku. Podle všeho oba tyto vrcholy představují různé hemodynamické děje, a nemohou být používány zaměnitelně k definování synchronie. Druhý vrchol v bifázické křivce se objevuje pozdě v systole a časově se vztahuje k uzavěru aortální chlopně. Díky této variabilitě v regionálních rychlostních profilech nemůže být doporučeno užívat čas od nástupu QRS k regionálnímu vrcholu systolického pohybu jako parametru komorové synchronicity. Tyto rozdíly v časování regionálních vrcholových systolických rychlostí se zdají být méně vyjádřeny v barevném dopplerovském zobrazení. Je to pravděpodobně díky skutečnosti, že barevné dopplerovské zobrazení užívá autokorelační metodu, která pracuje s průměry vrcholových rychlostí místo rychlostí skutečně vrcholových.

V průběhu testování daných metod se ukazuje, že užití myokardiálních rychlostí k posuzování asynchronie kontrakcí má mnohá úskalí. Zpravidla jsou měřeny jen longitudinální myokardiální rychlosti (při snímání signálu z hrotu levé komory) a opomíjeny zůstávají rychlosti kontrakce v radiálním směru i rotační pohyby komory. Jak se nejnověji ukazuje, může tak být posuzována funkce jen určité část svaloviny srdeční stěny, neboť za longitudinální kontrakce je zodpovědná především subendokardiální vrstva srdeční stěny [5].

S výjimkou několika studií, ve kterých bylo užíváno spektrální dopplerovské zobrazení, vycházela většina studií z barevné TDE s relativně nízkou snímkovou rychlostí (méně než 100 snímků/s). Nižší snímková rychlost může vést k významným chybám, jak v časování událostí, tak v odhadu vrcholových rychlostí. Dále byla všechna časová měření prováděna v jedné oblasti ve vztahu k nástupu QRS–komplexu [6] a nikdo nesrovnával regionál-



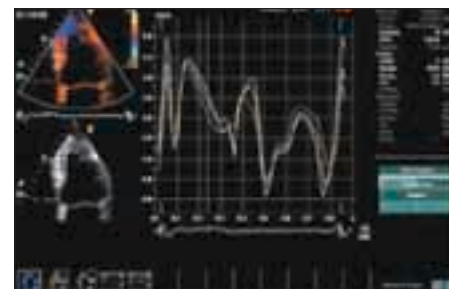
**Obr. 11. Mapa strain rate I.** Normální nález. Ve snaze názorně prezentovat přítomnost a směr srdečních kontrakcí, byl vyvinut C-způsob zobrazení také pro metodu strain rate. Křivka je vedena v podélné ose septa (viz obr. vlevo nahoře i vlevo dole). Osa x barevné mapy na obr. vpravo odpovídá uvedeným křivkám. Na časové ose y je znázorněna EKG–křivka 1 srdečního cyklu. Červená barva v systole (S) svědčí pro přítomnost aktivní kontrakce v tomto období.



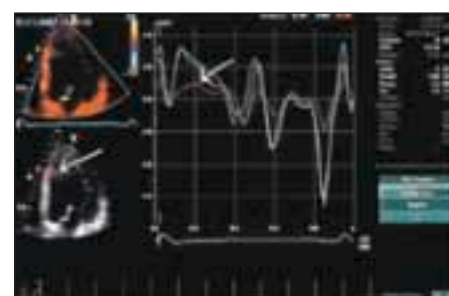
**Obr. 13. Mapa strain rate II.** Porucha kinetiky v distální polovině septa. Stejně zobrazení jako na obr. 11. Červená barva v systole je v distální polovině septa přerušena modrou barvou (viz šipka), v tomto místě je hodnota strain rate pozitivní, chybí zde tedy kontrakce.

ní časování s přesným časováním celkových srdečních dějů, které jsou u nemocných se srdečním selháním významně ovlivněny převodními poruchami. Správná identifikace celkových srdečních dějů je předpokladem pro precizní srovnání různých oblastí a dovoluje jasné odlišení izovolumických časových intervalů a eejkce. Toto je třeba brát v úvahu, aby bylo zabráněno chybám a omylům v interpretaci dat. Největší metodologickou limitací všech studií je fakt, že byly založeny jen na rychlostních datech. Regionální myokardiální pohyb v dané oblasti je ovlivněn sousedními segmenty a celkovým pohybem srdce. Rychlostní měření zobrazují pouze pohyb, a ne regionální kontrakci a právě disociace mezi pohybem a deformací má velkou důležitost zejména v případě zpoždění mezi elektrickou a mechanickou srdeční činností. Nejnověji se např. ukazuje, že nástupu regionálního pohybu může významně předcházet nástup deformace (a naopak) a že pouhé měření rychlosti není dostatečné k identifikaci aktivní deformace [7].

Je obecně známo, že resynchronizační léčba může významnou měrou měnit postup aktiva-



**Obr. 12. Systolické myokardiální rychlosti I.** Křivky (obr. vpravo) znázorňují průběh normálních myokardiálních rychlostí ze 3 míst mezikomorového septa (viz barevné kroužky na obrázcích vlevo nahoře i vlevo dole). Vrcholové systolické rychlosti se fyziologicky od hrotu směrem k bázi postupně zvyšují. Stejný pacient jako na obr. 11.



**Obr. 14. Systolické myokardiální rychlosti II.** Dvě křivky na obrázku vpravo (žlutá a světle zelená) vykazují normální myokardiální rychlosti z míst, kde jsou na septu kroužky odpovídajících barev (viz obrázky vlevo). Červená křivka vykazuje velmi nízké systolické rychlosti z místa, kde je na septu červený kroužek (viz šipky). Toto místo je v mapě na obr. 13 zobrazeno modře (viz šipka).

ce levé komory. Navzdory uvedeným úskalím není v současné době pochyb o tom, že tkáňová TDE dokáže změny, vznikající v souvislosti s tímto terapeutickým postupem, v principu kvantifikovat. Dosavadní výsledky jsou však zatím částečně kontroverzní a až dosud nebyl identifikován parametr, který by měl jasnou předpovědní hodnotu. Některé dosavadní limitace je jistě možné postupně překlenout díky dalšímu vývoji ultrazvukové techniky i dalším zlepšováním metodických přístupů.

Aby bylo možné spolehlivě diferencovat regionální pohyb od aktivních kontrakcí, je nutné měřit veličiny, které jsou nezávislé na celkovém pohybu srdce i na pohybu okolních myokardiálních segmentů; kromě myokardiálních rychlostí je proto třeba měřit i regionální strain rate, který je definován jako změna rychlosti na jednotku délky (obr. 10) a strain, který představuje veličinu posuzující deformaci tkáně [8].

Mapy strain rate a odpovídající rychlostní profily za fyziologických podmínek (obr. 11 a 12) i u patologických stavů (obr. 13 a 14) je možné studovat jen s pomocí nejnovějších

ultrazvukových přístrojů, které poskytují dostatečně kvalitní ultrazvukový signál a mají příslušný software k jeho dalšímu zpracování. Regionální změny rychlostí i z nich odvozených parametrů je pak třeba hodnotit v kontextu celkových srdečních dějů, což dohromady může pomoci k lepšímu pochopení fascinujícího děje, který představuje srdeční kontrakce.

## Literatura

1. Toussaint JF, Lavergne T, Kerrou K et al. Ventricular coupling of electrical and mechanical dyssynchronization in heart failure patients. *PACE* 2002; 25: 178–182.
2. Aaronson KD, Schwartz J, Chen TM et al. Development and prospective validation of a clinical index to predict survival in ambulatory patients referred for cardiac transplant evaluation. *Circulation* 1997; 95: 2660–2667.
3. Sogaard P, Egeblad H, Kim Y et al. Tissue Doppler imaging predicts improved systolic performance and reverse left ventricular remodeling during long term cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol* 2002; 40: 723–30.
4. Sun JP, Greenberg NL, Yang H et al. Tissue tracking based on tissue Doppler – An improved method to evaluate left ventricular regional myocardial dysfunction (Abstr.). *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 11: S15.
5. Choy S, Nelson CA, Lundberg V, Marwick TH. Effects of transmural extent of scar on timing and magnitude of radial and longitudinal systolic function after myocardial infarction. (Abstr.) *Eur Heart J* 2003; Suppl. August/September: 486.
6. Gessner M, Gruska M, Dornaus C et al. Ventricular inter- and left intraventricular systolic asynchrony and the effect of biventricular pacing therapy in patients with dilated cardiomyopathy. *Eur J Echocardiogr Abstracts Supplement* 2002; S109,390.
7. Breithardt OA, Sterllbrink Ch, Herbots L et al. Cardiac resynchronization therapy can reverse abnormal myocardial strain distribution in patients with heart failure and left bundle branch block. *J Am Coll Cardiol* 2003; 42: 486–494.
8. Støylen A, Heimdal A, Bjørnstad K et al. Strain rate imaging by ultrasonography in the diagnosis of coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 1053–64.

**MUDr. Eva Mandysová, CSc.**

Kardiologické oddělení Nemocnice na Homolce,  
Praha