

Strokovni prispevek/Professional article

OCENA FUNKCIJE LEVEGA PREKATA S TKIVNO DOPLERSKO EHOKARDIOGRAFIJO

ASSESSMENT OF LEFT VENTRICULAR FUNCTION USING TISSUE DOPPLER IMAGING

*Martin Tretjak¹, Mirta Koželj²*¹ Oddelek za interno medicino, Splošna bolnišnica Slovenj Gradec, Gosposvetska 1, 2380 Slovenj Gradec² Klinični oddelek za kardiologijo, Klinični center, Zaloška 7, 1105 Ljubljana.

Prispelo 2004-02-18, sprejeto 2004-07-26; ZDRAV VESTN 2004; 73: 663–6

Ključne besede: ehokardiografija – metode; tkivna doplerska ehokardiografija; funkcija levega prekata

Izvleček – Izhodišča. Objektivizacija motene funkcije levega prekata z ehokardiografsko preiskavo je eden od pogojev za postavitev diagnoze srčnega popuščanja. Pri tem je pogosto težko natančno določiti sistolično funkcijo, še težje pa opredeliti diastolično funkcijo, saj za oceno diastolične funkcije nimamo zanesljivih ehokardiografskih meril. Tkivna doplerska ehokardiografija (TDE) omogoča enostavno in natančno merjenje hitrosti vzdolžnih premikov mitralnega obroča, ki so odraz sistolične in diastolične funkcije levega prekata.

Metode. V raziskavo smo vključili 30 bolnikov s srčnim popuščanjem in 30 starostno usklajenih zdravih preiskovancev. Ob standardni ehokardiografski preiskavi smo vsem z uporabo pulzne TDE izmerili hitrosti vzdolžnega gibanja septalnega in lateralnega roba mitralnega obroča v sistoli (S_m) in zgodnji diastoli (E_m). Hitrosti v obeh skupinah smo primerjali, ocenili povezanost med hitrostjo S_m in iztisno funkcijo levega prekata (LVEF) ter hitrostjo E_m in starostjo.

Rezultati. Hitrosti S_m in E_m so pri bolnikih s srčnim popuščanjem značilno nižje kot pri zdravih preiskovancih (hitrosti S_m $5,3 \pm 1,6$ cm/s in $8,4 \pm 1$ cm/s, $p < 0,001$, hitrosti E_m $5 \pm 1,4$ cm/s in $8,7 \pm 1,6$ cm/s, $p < 0,001$). Med hitrostjo S_m in LVEF obstaja pri vseh preiskovancih zelo dobra povezava ($r = 0,91$, $p < 0,001$). Hitrost $S_m \geq 6,4$ cm/s z 91-odstotno občutljivostjo in 95-odstotno specifičnostjo potrjuje LVEF $\geq 0,45$. Pri zdravih preiskovancih obstaja med hitrostjo E_m in starostjo dobra povezava ($r = -0,84$, $p < 0,001$), kljub temu je pri zdravih starostnikih praviloma višja kot pri bolnikih s srčnim popuščanjem. Hitrost $E_m < 7$ cm/s z 90-odstotno občutljivostjo in 97-odstotno specifičnostjo potrjuje diagnozo srčnega popuščanja.

Zaključki. Meritev hitrosti mitralnega obroča s TDE omogoča enostavno, hitro in zanesljivo oceno sistolične in diastolične funkcije levega prekata. Meritev dopolnjuje standardno ehokardiografsko preiskavo in lahko nadomesti nekatere zamudnejše ehokardiografske meritve.

Key words: echocardiography – methods; tissue Doppler imaging; left ventricular function

Abstract – Background. Objective evidence of cardiac dysfunction is one of the diagnostic criteria for heart failure. It is often hard to assess systolic function and assessing diastolic dysfunction is even harder because there are no generally accepted echocardiographic criteria. Tissue Doppler imaging (TDI) enables analysis of the mitral annular descent velocity for detection of left ventricular diastolic dysfunction along the longitudinal axis.

Methods. 30 patients with heart failure and 30 healthy participants were enrolled in the study. Pulsed wave tissue Doppler imaging velocities of septal and lateral mitral annulus borders were recorded in systole (S_m) and early diastole (E_m). Velocities in both groups were compared. The correlations between S_m velocity and LVEF and E_m velocity and age were studied.

Results. Patients with heart failure had significantly decreased S_m and E_m velocities compared with healthy participants (5.3 ± 1.6 cm/s vs. 8.4 ± 1 cm/s, $P < 0.001$, for S_m velocity and 5 ± 1.4 cm/s vs. 8.7 ± 1.6 cm/s, $P < 0.001$, for E_m velocity). The correlation between S_m velocity and LVEF in all participants was very good and highly significant ($r = 0.91$, $P < 0.001$). The S_m velocity ≥ 6.4 cm/s was 91% sensitive and 95% specific for LVEF ≥ 0.45 . There was a good correlation between age and E_m velocity ($r = -0.84$, $P < 0.001$). The E_m velocity < 7 cm/s had a sensitivity of 90% and specificity of 97% for diagnosing heart failure.

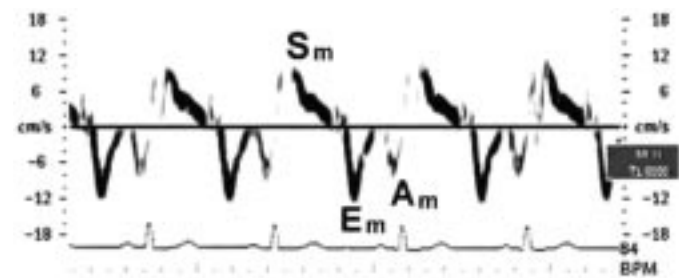
Conclusions. Pulsed wave tissue Doppler imaging of mitral annulus enables simple, fast and precise assessment of systolic and diastolic left ventricular function. It can replace some other more time consuming echocardiographic measurements.

Uvod

Pri obravnavi bolnikov s srčnim popuščanjem je zelo pomembna ocena funkcije levega prekata (LP). Objektivizacija motene funkcije LP je po priporočilih (1) eno od meril za diagnozo srčnega popuščanja. Najpogosteje uporabljena metoda za oceno funkcije LP je dvodimenzionalna ehokardiografija, ki pa ni vedno zanesljiva in ponovljiva (1). Pri bolnikih s srčnim popuščanjem gre za moteno sistolično in diastolično funkcijo LP, motena diastolična funkcija se lahko pojavlja tudi izolirano (1, 2). Najpomembnejši parameter za oceno sistolične funkcije je iztisni delež levega prekata (LVEF). V vsakdanji klinični praksi LVEF najpogosteje merimo po Teicholzu na podlagi enodimenzionalnega prikaza prekata v parasternalni projekciji dolge osi. Metoda ima zelo dobro časovno ločljivost, a je pri bolnikih z regionalnimi motnjami krčljivosti in elipsoidnim LP nezanesljiva. Natančnejša je ocena LVEF po Simpsonovi metodi, pri kateri pa je potreben oris votline prekata, torej identifikacija endokarda. Ob slabi preglednosti to vedno ni mogoče, tudi avtomatska identifikacija ni zanesljiva. Pogosto uporabljena ocena LVEF »na oko – eyeball« je preveč subjektivna. Ehokardiografska ocena diastolične funkcije temelji na pulznih doplernih meritvah hitrosti toka krvi na različnih točkah v srcu (mitralna zaklopka, pljučne vene). Meritve in ocena teh parametrov so natančnejše, manj subjektivne, vendar izpostavljene številnim drugim hemodinamskim vplivom. Pogosto se bolezensko spremenjen doplerni vzorec zaradi kompenzacijskih srčno-žilnih mehanizmov lažno normalizira, zato motnjo diastolične funkcije LP lahko spregledamo. Ocena je še posebej težka pri bolnikih z atrijsko fibrilacijo (AF). Pri teh bolnikih enega od glavnih meril (razmerje hitrosti zgodnje in kasne diastolične polnitve LP na mitralni zaklopki) zaradi odsotnosti atrijske kontrakcije (in posledično kasne diastolične polnitve) ne moremo ocenjevati. Evropsko kardiološko združenje je izdelalo smernice za ugotavljanje diastoličnega srčnega popuščanja (2), s katerimi pa se številni avtorji ne strinjajo (3, 4). Splošno sprejetih minimalnih meril za diagnozo diastolične disfunkcije tako še ni.

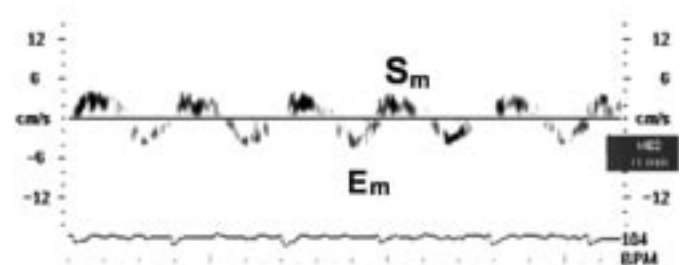
Tktivna doplerna ehokardiografija (TDE) je modifikacija ustaljene ehokardiografske doplenske tehnike. Gre za registriranje doplernih signalov, ki se odbijajo od srčne mišice in se značilno razlikujejo od signalov, odbitih od krvi. Srčna mišica ima večjo ultrazvočno gostoto in se giblje počasneje kot kri. Signali, odbiti od srčne mišice, imajo tako večjo intenzivnost in nižjo frekvenco kot signali, odbiti od gibajoče se krvi. Pri klasični doplernih preiskavi te signale filter odstrani, pri TDE pa merimo ravno te signale. Tako lahko izmerimo hitrost gibanja srčne mišice v segmentu, ki ga opazujemo. Ehokardiografska naprava mora biti prirejena tako, da meri najnižje hitrosti (0–15 cm/s) zelo natančno (do 0,1 cm/s) (5). Novejše naprave omogočajo enako časovno ločljivost pri merjenju hitrosti gibanja srčne mišice tako z barvno kot tudi s pulzno TDE. Med prekatnim krčenjem in polnjenjem prihaja poleg rotacije, transpozicije in skrajšanja in raztezanja v kratki osi tudi do skrajšanja in raztezanja v dolgi osi (5). Posledica raztezanja in krčenja LP v dolgi osi je premik mitralnega obroča. Hitrost tega premika lahko natančno izmerimo z uporabo pulzne TDE iz apikalne projekcije štirih votlin. Ker se srčna konica med srčnim ciklusom malo premika, je moteč vpliv dodatnih gibanj iz te projekcije najmanjši (6), opazovano gibanje je skoraj vzporedno z ultrazvočnim snopom. V tipičnem zapisu pulzne TDE vidimo hitrostni signal, usmerjen proti sondi (S_m), in dva ločena signala, obrnjena v nasprotno smer – v zgodnji diastoli (E_m) in v kasni diastoli (A_m) (sl. 1). Signal S_m je posledica premika mitralnega obroča proti srčni konici v sistoli. Hitrost tega premika (hitrost S_m) je povezana s sistolično funkcijo LP (7, 8). Signal E_m nastane zaradi premika mitralnega obroča proti srčni bazi, ko se v zgodnji diastoli levi prekat začne širiti. Hitrost tega premika (hitrost E_m) je odvisna od relaksaci-

je LP. Relaksacija je deloma aktiven proces, deloma pa je odvisen od viskozno-elastičnih lastnosti LP. Skupaj s podajnostjo LP ter hemodinamskimi pogoji (polnilni tlak) določa njegovo diastolično funkcijo (2). Hitrost E_m ni odvisna od polnilnega tlaka LP (9). Hitrost E_m je verjetno najboljši doplerni označevalec diastolične funkcije LP (10–13), tudi pri bolnikih z AF (14) in pomembno mitralno regurgitacijo (MR) (15). Ravno pri teh dveh stanjih, ki se pri bolnikih s srčnim popuščanjem pogosto pojavljata, klasične doplenske ehokardiografije z meritvami hitrosti toka krvi v srcu za oceno diastolične funkcije ne moremo uporabiti. Za napoved umrljivosti srčnih bolnikov ima hitrost E_m neodvisni napovedni pomen (16). Signal A_m nastane zaradi dodatne razširitve LP v kasni diastoli, ki je posledica atrijske kontrakcije. Hitrost A_m je povezana z atrijsko funkcijo in stopnjo pljučne kongestije (17). Pri bolnikih z AF je zaradi odsotnosti koordiniranega krčenja atrijskega signal A_m odsoten (sl. 2).



Sl. 1. Zapis pulzne tkivnodoplrske ehokardiografije mitralnega obroča pri zdravem preiskovancu: $E_m = 12,2$ cm/s, $A_m = 7,6$ cm/s, $S_m = 10,0$ cm/s.

Figure 1. Pulsed wave tissue Doppler recording of mitral annulus velocities in a healthy subject.



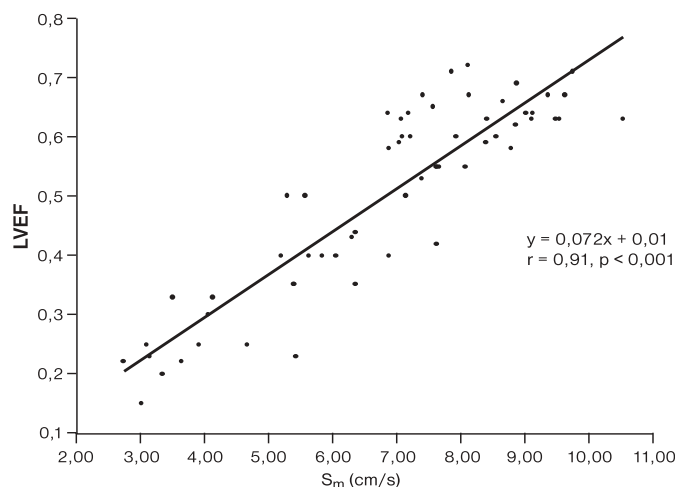
Sl. 2. Zapis pulzne tkivnodoplrske ehokardiografije mitralnega obroča pri bolniku s srčnim popuščanjem, atrijsko fibrilacijo in sistolično disfunkcijo levega prekata: $E_m = 3,9$ cm/s, $S_m = 3,5$ cm/s.

Figure 2. Pulsed wave tissue Doppler recording of mitral annulus velocities in a patient with heart failure, atrial fibrillation and left ventricular systolic dysfunction.

V objavljeni literaturi le redke raziskave obravnavajo lastnosti tkivnodoplernih hitrosti na nehomogenem vzorcu bolnikov s srčnim popuščanjem, ne glede na osnovno srčno bolezen, ritem in prisotnost MR. V slovenskem prostoru objavljenih kliničnih izkušenj s TDE ni.

Metode

V raziskavo smo vključili 30 bolnikov, starih med 31 in 84 let, ki so bili obravnavani na Oddelku za interno medicino v Splošni bolnišnici Slovenj Gradec zaradi kroničnega srčnega popuščanja. Vključeni so bili ne glede na osnovno srčno bole-



Sl. 3. Povezava med tkivnodoplersko sistolično hitrostjo mitralnega obroča (S_m) in iztisnim deležem levega prekata (LVEF) pri vseh preiskovancih.

Figure 3. Correlation between systolic mitral annulus velocity determined by pulsed wave tissue Doppler imaging (S_m) and left ventricular ejection fraction (LVEF) in all participants.

zen, ritem in prisotnost mitralne regurgitacije. V kontrolno skupino smo vključili 30 starostno usklajenih zdravih preiskovancev. Z ultrazvočno napravo ATL HDI 5000 in široko frekvenčno sondo (P4-2) smo preiskovancem opravili standardno ehokardiografsko preiskavo po priporočilih (2, 18). LVEF smo ocenili z metodo po Simpsonu, meritev smo pri vsakem preiskovancu opravili trikrat in izračunali povprečno vrednost. Pri bolnikih z normalnim ali mejno zmanjšanim LVEF ($\geq 0,45$) in normalnim končnim diastoličnim premerom LP smo zaključili, da gre za izolirano diastolično disfunkcijo LP. Prisotnost pomembne MR smo ocenili glede na objavljena merila (15). Ob normalnem dihanju smo bolnikom opravili pulzno TDE na septalnem in lateralnem robu mitralnega obroča iz apikalne projekcije štirih votlin tako, da je bil kot med vzdolžnim gibanjem prekata in ultrazvočnim snopom čim manjši. Velikost zbiralnega okna je bila 5 mm. V pulznem doplerskem zapisu smo izmerili hitrost glavnega sistoličnega signala (S_m) in hitrost zgodnjega diastoličnega signala (E_m), ki je določen kot prvi negativni signal po valu T v sočasnem elektrokardiografskem zapisu. Meritev smo na vsakem delu mitralnega obroča pri bolnikih v sinusnem ritmu ponovili trikrat, pri bolnikih v AF petkrat in izračunali povprečno vrednost.

Rezultati LVEF, hitrosti E_m in hitrosti S_m so podani kot povprečje s standardno deviacijo. Parametre med obema skupinama smo primerjali z dvosmernim Studentovim t-testom. Z linearno regresijo smo ocenili povezavo med starostjo in hitrostjo E_m ter hitrostjo S_m in LVEF. S pomočjo krivulje ROC (angl. »receiver-operating characteristic«) smo ocenili specifičnost in občutljivost hitrosti S_m za ugotovitev LVEF $\geq 0,45$ in hitrosti E_m za postavitev diagnoze srčnega popuščanja. Rezultati so statistično značilni pri vrednosti $p < 0,05$.

Podatke smo statistično obdelali s programom SPSS ver 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

Rezultati

Pri vseh vključenih preiskovancih (30 zdravih preiskovancev, 30 bolnikov s srčnim popuščanjem) smo uspešno izmerili tkivnodoplerske hitrosti na obeh mestih mitralnega obroča. Zdravi preiskovanci so bili stari med 29 in 85 let, povprečna starost je bila 62 ± 12 let. Bolniki s srčnim popuščanjem so bili stari med 31 in 84 let, povprečno 67 ± 10 let. V skupini bolni-

Razpr. 1. Starost, iztisni delež levega prekata (LVEF) in tkivnodoplerske hitrosti (E_m – zgodnja diastolična hitrost, S_m – sistolična hitrost) pri obeh skupinah preiskovancev (podatki so podani kot povprečna vrednost $\pm$ standardna deviacija; * dvosmerni Studentov t-test neparnih vzorcev).

Table 1. Age, left ventricular ejection fraction (LVEF) and tissue Doppler velocities (E_m – early diastolic velocity, S_m – systolic velocity) in both groups of participants (data are presented as mean $\pm$ standard deviation; * two tailed Student unpaired t test).

	Zdravi preiskovanci Normal participants (n = 30)	Bolniki s srčnim popuščanjem Heart failure patients (n = 30)	p*
Starost (leta) Age (years)	63 ± 12	67 ± 10	0,1
LVEF	$0,63 \pm 0,04$	$0,37 \pm 0,12$	< 0,001
Hitrost E_m (cm/s) E_m velocity (cm/s)	$8,7 \pm 1,6$	$5 \pm 1,4$	< 0,001
Hitrost S_m (cm/s) S_m velocity (cm/s)	$8,4 \pm 1$	$5,3 \pm 1,6$	< 0,001

Razpr. 2. Iztisni delež levega prekata (LVEF) in tkivnodoplerske hitrosti (E_m – zgodnja diastolična hitrost, S_m – sistolična hitrost) pri posameznih podskupinah bolnikov s srčnim popuščanjem (podatki so podani kot povprečna vrednost $\pm$ standardna deviacija; LP – levi prekat, AF – atrijska fibrilacija, MR – mitralna regurgitacija).

Table 2. Left ventricular ejection fraction (LVEF) and tissue Doppler velocities (E_m – early diastolic velocity, S_m – systolic velocity) in different subgroups of heart failure patients (data are presented as mean $\pm$ standard deviation; LV – left ventricle, AF – atrial fibrillation, MR – mitral regurgitation).

	LVEF	Hitrost E_m (cm/s) E_m velocity (cm/s)	Hitrost S_m (cm/s) S_m velocity (cm/s)
Bolniki z AF Patients with AF (n = 20)	$0,35 \pm 0,11$	$5,2 \pm 1,3$	$5,1 \pm 1,4$
Bolniki s sinusnim ritmom Patients with sinus rhythm (n = 10)	$0,4 \pm 0,14$	$4,7 \pm 1,7$	$5,7 \pm 1,9$
Bolniki s sistolično disfunkcijo LP Patients with systolic LV dysfunction (n = 23)	$0,32 \pm 0,09$	$4,8 \pm 1,3$	$4,8 \pm 1,4$
Bolniki z izolirano diastolično disfunkcijo LP Patients with diastolic LV dysfunction (n = 7)	$0,53 \pm 0,03$	$6 \pm 1,8$	$6,8 \pm 1$
Bolniki s pomembno MR Patients with significant MR (n = 7)	$0,32 \pm 0,13$	$4,4 \pm 1,7$	$4,9 \pm 1,3$
Bolniki brez pomembne MR Patients without significant MR (n = 23)	$0,38 \pm 0,11$	$5,2 \pm 1,4$	$5,7 \pm 1,4$

kov s srčnim popuščanjem smo pri 20 bolnikih ugotovili AF, pri 7 bolnikih hemodinamsko pomembno MR in pri 7 bolnikih izolirano diastolično disfunkcijo LP. LVEF ter hitrosti E_m in S_m po posameznih skupinah bolnikov prikazujeta razporednica 1 in razporednica 2. Statistično značilno se skupini zdravih preiskovancev in bolnikov s srčnim popuščanjem razlikujeta po LVEF in hitrostih E_m ter S_m . Hitrosti E_m so znižane tudi pri vseh podskupinah bolnikov s srčnim popuščanjem. Hitrost S_m je v skupini bolnikov z izolirano diastolično disfunkcijo LP normalna. Povezavo med hitrostjo S_m in LVEF pri

vseh 60 preiskovancih prikazuje slika 3. Povezava je statistično značilna ($p < 0,001$) in zelo dobra ($r = 0,91$). Hitrost $S_m \geq 6,4$ cm/s z 91-odstotno občutljivostjo in 95-odstotno specifičnostjo potrjuje LVEF ≥ 45 . Med hitrostjo E_m in starostjo obstaja statistično značilna ($p < 0,001$) in dobra ($r = -0,84$) povezava. Hitrost $E_m < 7$ cm/s z 90-odstotno občutljivostjo in 97-odstotno specifičnostjo potrjuje diagnozo srčnega popuščanja.

Razpravljanje

Meritev hitrosti mitralnega obroča v vzdolžni osi s pulzno TDE je enostavna in zanesljiva, tudi pri preiskovancih s slabšo ehokardiografsko preglednostjo. V naši raziskavi smo lahko pri vseh vključenih preiskovancih izmerili tako sistolične (S_m) kot zgodnje diastolične (E_m) hitrosti. Pri bolnikih s srčnim popuščanjem sta bili hitrost S_m in LVEF pomembno nižji kot pri zdravih preiskovancih. Med hitrostjo S_m in LVEF obstaja zelo dobra povezanost. Tudi prisotnost hemodinamsko pomembne mitralne regurgitacije ni vplivala na stopnjo povezanosti. Z mejno vrednostjo hitrosti S_m 6,4 cm/s smo lahko z veliko občutljivostjo in specifičnostjo ocenili prisotnost ohranjene LVEF. Pri bolnikih z izolirano diastolično disfunkcijo je bila hitrost S_m normalna, ker je pri teh bolnikih tudi LVEF ohranjena. Rezultati so skladni z rezultati že objavljenih raziskav, ki so ocenjevale povezavo med hitrostjo S_m in LVEF, ocenjeno z različnimi drugimi slikovnimi metodami (7, 8), tudi v prisotnosti pomembne mitralne regurgitacije (15). Raziskava je potrdila, da se s starostjo hitrost E_m znižuje (19). Hitrost E_m je tudi pri zdravih starostnikih praviloma višja kot pri bolnikih s srčnim popuščanjem, kjer povezanosti med hitrostjo E_m in starostjo ni. Pri bolnikih s srčnim popuščanjem je znižanje hitrosti E_m odraz diastolične disfunkcije levega prekata, ki se lahko pojavlja izolirano, praktično vedno pa je pridružena moteni sistolični funkciji (1, 20). Pri naših bolnikih s srčnim popuščanjem so bile hitrosti E_m znižane pri vseh, tudi pri bolnikih z izolirano diastolično disfunkcijo levega prekata, bolnikih z AF in bolnikih s pomembno MR. Hitrost E_m pod 7 cm/s je imela dobro občutljivost in specifičnost za potrditev diagnoze srčnega popuščanja. S tem lahko potrdimo domnevo predhodnih raziskav, da je hitrost E_m dober označevalec diastolične funkcije LP (9–14). Vpliv pomembne mitralne regurgitacije na tkivnodoplerske hitrosti mitralnega obroča je ocenjevalo več raziskav, rezultati so bili nasprotujoči (15, 21). V naši raziskavi pomembnega vpliva na hitrost E_m tudi ob prisotni pomembni mitralni regurgitaciji ni bilo. Vzrok je bila najverjetneje pridružena okvara funkcije levega prekata, saj je bila LVEF pri vseh teh bolnikih že znižana. Zaradi velikega deleža bolnikov z AF hitrosti E_m nismo primerjali s klasičnimi doplorskimi kazalci diastolične funkcije, ki pretežno temeljijo na ohranjeni atrijski kontraktilni funkciji.

Zaključki

Meritev hitrosti mitralnega obroča s pulzno TDE omogoča enostavno in zanesljivo oceno sistolične in diastolične funkcije levega prekata. Klasično ehokardiografsko preiskavo dopolnjuje, lahko pa nadomesti nekatere zamudnejše in manj zanesljive standardne ehokardiografske meritve, kar je pose-

bej pomembno v nujnih primerih. Večinoma so sodobne ehokardiografske naprave že opremljene s TDE, meritev hitrosti E_m in S_m tako ne predstavlja dodatnih stroškov.

Literatura

1. Remme WJ, Swedberg K. Task force for the diagnosis and treatment of chronic heart failure. European Society of Cardiology. Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure. Eur Heart J 2001; 22: 1527–60.
2. European Study Group on Diastolic Heart Failure. How to diagnose diastolic heart failure. Eur Heart J 1998; 19: 990–1003.
3. Caruana L, Davie AP, Petrie M, McMurray J. Diagnosing heart failure. Eur Heart J 1999; 20: 393–3.
4. Brutsaert DL. Diagnosing primary diastolic heart failure. Eur Heart J 2000; 21: 94–6.
5. Tasič J, Ružič-Medvešček N. Tkivna doplrska ehokardiografija. Med Razgl 1999; 38: Suppl 6: 20–5.
6. Garcia MJ, Rodriguez L, Ares M, Griffin BP, Thomas JD, Klein AL. Differentiation of constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy: assessment of left ventricular diastolic velocities in longitudinal axis by Doppler tissue imaging. J Am Coll Cardiol 1996; 27: 108–14.
7. Gulati VK, Katz WE, Follansbee WP, Gorcsan J 3rd. Mitral annular descent velocity by tissue Doppler echocardiography as an index of global left ventricular function. Am J Cardiol 1996; 77: 979–84.
8. Alam M, Wardell J, Andersson E, Samad BA, Nordlander R. Effects of first myocardial infarction on left ventricular systolic and diastolic function with the use of mitral annular velocity determined by pulsed wave Doppler tissue imaging. J Am Soc Echocardiogr 2000; 13: 343–52.
9. Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, Zoghbi WA, Quinones A. Doppler tissue imaging: a non-invasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. J Am Coll Cardiology 1997; 30: 1527–33.
10. Garcia MJ, Thomas JD, Klein AL. New Doppler echocardiographic applications for the study of diastolic function. J Am Coll Cardiol 1998; 32: 865–75.
11. King GJ, Foley JB, Almane F, Crean PA, Walsh MJ. Early diastolic filling dynamics in diastolic dysfunction. Cardiovascular Ultrasound 2003; 1: 9–16.
12. Sohn DW, Chai IH, Lee DJ et al. Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. J Am Coll Cardiol 1997; 30: 474–80.
13. Oki T, Tabata T, Yamada H et al. Left ventricular diastolic properties of hypertensive patients measured by pulsed tissue Doppler imaging. J Am Soc Echocardiogr 1998; 11: 1106–12.
14. Sohn DW, Song JM, Zo JH, Chai IH, Kim HS, Chun HG, Kim HC. Mitral annulus velocity in the evaluation of left ventricular diastolic function in atrial fibrillation. J Am Soc Echocardiogr 1999; 12: 927–31.
15. Alam M, Wardell J, Andersson E, Nordlander R, Samad B. Assessment of left ventricular function using mitral annular velocities in patients with congestive heart failure with or without the presence of significant mitral regurgitation. J Am Soc Echocardiogr 2003; 16: 240–5.
16. Wang M, Yip GW, Wang AY et al. Peak early diastolic mitral annulus velocity by tissue Doppler imaging adds independent and incremental prognostic value. J Am Coll Cardiol 2003; 41: 820–6.
17. Yamamoto T, Oki T, Yamada H et al. Prognostic value of the atrial systolic mitral annular motion velocity in patients with left ventricular systolic dysfunction. J Am Soc Echocardiogr 2003; 16: 333–9.
18. Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP et al. ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). 2003. American College of Cardiology Web site. Dosegljivo na: URL: www.acc.org/clinical/guidelines/echo/index.pdf.
19. Alam M, Wardell J, Andersson E, Samad BA, Nordlander R. Characteristics of mitral and tricuspid annular velocities determined by pulsed wave Doppler tissue imaging in healthy subjects. J Am Soc Echocardiogr 1999; 12: 618–28.
20. Zile MR, Brutsaert DL. New concepts in diastolic heart failure: Part I. Circulation 2002; 105: 1387–93.
21. Hatle L, Sutherland GR. Regional myocardial function – a new approach. Eur Heart J 2000; 21: 1337–57.