

Odhad vzestupu plicního tlaku levé komory pomocí echokardiografie

Jaroslav Meluzín

I. interní kardioangiologická klinika, FN u sv. Anny, LF MU, Brno

Plnicí tlak levé komory (LVFP) má zásadní význam pro adekvátní diastolické plnění levé komory (LK). Zjištění jeho hodnoty má stěžejní roli v diagnostice primárního diastolického srdečního selhání, umožňuje posoudit prognózu nemocných se srdeční slabostí i napomáhá v určení rizika akutní srdeční dekompenzace. Nejčastěji využívanou neinvazivní metodou k odhadu vzestupu LVFP je echokardiografie. Pulzní dopplerovská echokardiografie umožňuje změřit vrcholnou rychlost plnění LK v časně diastole (E), tkáňová dopplerovská echokardiografie je využívána ke kvantifikaci vrcholné rychlosti pohybu mitrálního annulu v časně diastole (Ea). Poměr E/Ea ve většině klinických situací dobře koreloval s hodnotami LVFP a je v klinice nejčastěji využíván k neinvazivnímu odhadu LVFP. E/Ea > 15 charakterizuje nemocné se zvýšeným LVFP, E/Ea < 8 nemocné s normální hodnotou LVFP. Existují však stavy (akutní srdeční dekompenzace, významná mitrální regurgitace, přítomnost biventrikulární stimulace komor či hypertrofické kardiomyopatie), kdy E/Ea poměr při určování vzestupu LVFP selhává. V současné době se testují nové metody a parametry, které mohou neinvazivní průkaz vzestupu LVFP dále zpřesnit. Lze uzavřít, že echokardiografie je v současnosti vhodnou metodou pro neinvazivní průkaz vzestupu LVFP ve většině klinických situací. Dosud užívané parametry však nejsou dostatečně přesné pro určení LVFP u individuálního nemocného a zatím nemohou invazivně změřenou hodnotu LVFP zcela nahradit.

Klíčová slova: plnicí tlak levé komory, echokardiografie, diastolická funkce.

Estimation of left ventricular filling pressure using echocardiography

Left ventricular filling pressure (LVFP) is of utmost importance for the adequate diastolic filling of the left ventricle (LV). The determination of LVFP allows to diagnose primary diastolic heart failure, to assess prognosis of patients with congestive heart failure, and to predict the risk of acute heart failure decompensation. Echocardiography is the most frequently utilized noninvasive method in determining LVFP. Pulsed Doppler echocardiography allows to measure the peak velocity of LV filling in early diastole (E), Doppler tissue echocardiography enables to quantify the peak velocity of early diastolic annular motion (Ea). The E/Ea ratio has been found to significantly correlate with LVFP and it is commonly clinically used to predict noninvasively LVFP. E/Ea > 15 is associated with the increase in LVFP, while E/Ea < 8 is associated with normal LVFP values. However, there are clinical situations (acute heart failure decompensation, severe mitral regurgitation, the presence of biventricular pacing or hypertrophic cardiomyopathy), in which the prediction of LVFP using E/Ea ratio fails. At present, new methods and parameters are tested to improve the accuracy of echocardiography in predicting LVFP. In conclusion, echocardiography represents a reliable method of detecting the increase in LVFP in the majority of clinical situations. However, parameters utilized thus far are not sufficiently precise to determine LVFP in an individual patient and, at present, are not able to fully replace invasive methods in determining LVFP.

Key words: left ventricular filling pressure, echocardiography, diastolic function.

Interv Akut Kardiol 2009; 8(3): 128–133

Úvod

Plnicí tlak levé komory (left ventricular filling pressure, LVFP) má zásadní význam pro zajištění adekvátního diastolického plnění levé komory (LK). Přesné změření LVFP, který odpovídá střednímu tlaku v levé síni, je obtížné a pro klinické potřeby je nejčastěji nahrazováno změřením plicního kapilárního tlaku v zaklínění (pulmonary capillary wedge pressure, PCWP) či změřením konečného diastolického tlaku v LK (left ventricular enddiastolic pressure, LVEDP). Nicméně i získání těchto veličin není snadné, neboť vyžaduje provedení pravostranné či levostranné srdeční katetrizace. Proto existuje velká snaha nalézt metody a parametry, kterými lze neinvazivně a s dostatečnou přesností odhadnout LVFP. Z dosud testovaných metod zatím nalezla

největší uplatnění echokardiografie, i když ani její klinické využití není bez problémů a limitací. Cílem tohoto souhrnného sdělení je proto sebrat možnosti echokardiografie neinvazivně odhadnout vzestup LVFP.

Význam plicního tlaku levé komory (LVFP)

Měření či odhad LVFP jsou klinicky důležité z celé řady důvodů. Průkaz vzestupu LVFP je základním krokem v diagnostice primárního diastolického srdečního selhání (srdeční selhání s normální ejekční frakcí LK) (1). Tento krok je klinicky velmi důležitý, neboť je odhadováno, že primární diastolické selhání odpovídá až za 50 % všech případů srdečního selhání (1). Stanovení LVFP ale má i význam prognostický.

Vzestup LVFP, definovaný přítomností poměru E/Ea > 15 (kde E = vrcholná rychlost časně diastolického plnění LK a Ea = vrcholná rychlost pohybu mitrálního annulu v časně diastole) či restriktivním diastolickým plněním LK, je spojen s vyšší mortalitou u nemocných po prodělaném infarktu myokardu (2, 3) či blíže nespecifikované akutní koronární příhodě (4). Vzestup E/Ea > 15 zvyšuje pravděpodobnost remodelace LK (vzestup indexu konečného diastolického objemu LK o více než 15 %) u nemocných po akutním infarktu myokardu (5). Pro předpověď rizika kardiovaskulárních komplikací je velmi účinné kombinovat E/Ea poměr s hodnotou NT-proBNP, kdy kombinace E/Ea > 15 se vzestupem NT-proBNP významně zkracuje dobu do první kardiovaskulární příhody zahrnující úmrtí či hospitalizaci

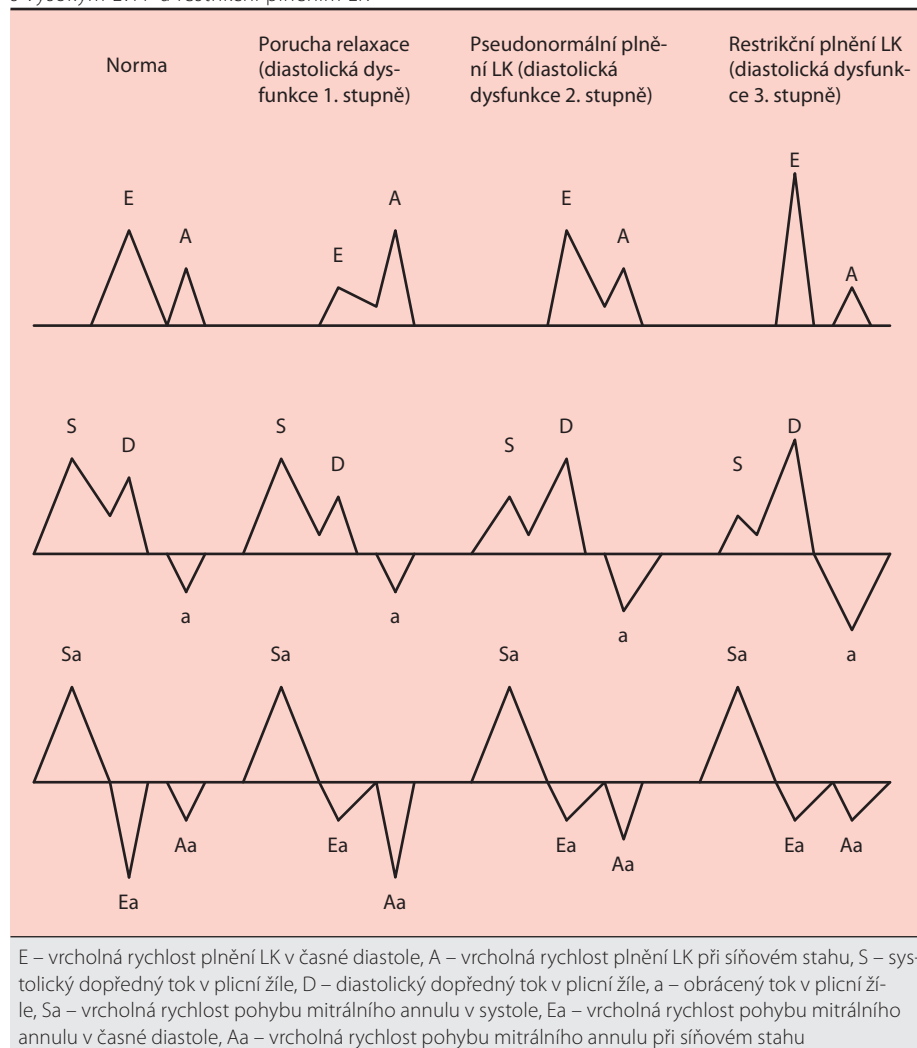
(6). U nemocných se symptomatickou srdeční slabostí a poruchou systolické funkce LK zvyšuje přítomnost restričního plnění LK mortalitu, ať již se jedná o srdeční selhání v důsledku ischemické choroby srdeční nebo dilatační kardiomyopatie (7, 8). Na druhou stranu ústup restričního plnění LK (tedy pokles LVFP) po intenzivní medikamentózní léčbě vede ke zlepšení prognózy nemocných se srdeční slabostí (8, 9). Zile a spol. (10) analyzovali hemodynamická data 204 nemocných, u nichž byl zaveden implantabilní hemodynamický monitor a zjistili, že akutním dekompenzacím srdečního selhávání bezprostředně předchází významný vzestup diastolického tlaku v plicnici, který rovněž odráží LVFP. Po úspěšné léčbě srdeční dekompenzace se diastolický tlak v plicnici vrací k hodnotám, které měl nemocný v době oběhové stability. Všechny tyto výsledky přesvědčivě dokazují mnohostrannou klinickou užitečnost odhadu LVFP v péči o nemocné s poruchou systolické či diastolické funkce LK.

Echokardiografické metody odhadu vzestupu plicního tlaku levé komory

A. Konvenční pulzní dopplerovská echokardiografie

Konvenční pulzní dopplerovská echokardiografie využívá parametrů transmitrálního plnění LK či krevního toku v plicních žilách. Při posuzování transmitrálního plnění LK vkládáme ve 4dutinové apikální projekci vzorkovací objem mezi konce cípů mitrální chlopně k zachycení vrcholné rychlosti plnění LK v časně diastole (E) a při síňové kontrakci (A). Na záznamu časného diastolického plnění LK měříme decelerační čas jako dobu od vrcholu E do překřížení sestupného ramene E vlny s nulovou linií (DT-E). Cenné je i stanovení izovolumické relaxační periody (IVRT), kterou změříme jako dobu mezi koncem aortálního toku v systole a začátkem časného diastolického plnění. Současný záznam obou těchto toků lze získat v 4dutinové apikální projekci umístěním vzorkovacího objemu do výtokového traktu LK blíže k přednímu cípu mitrální chlopně. Parametry transmitrálního plnění LK a jejich vývoj od normální diastolické funkce až k těžké diastolické dysfunkci s vysokým LVFP ukazuje obrázek 1 (horní linie). Při mírné poruše diastolické funkce LK (porucha relaxace bez významného vzestupu LVFP, stupeň 1 diastolické dysfunkce) klesá E a kompenzatorně narůstá A, takže E/A poměr klesá pod 0,75, DT-E se prodlužuje nad 240 ms a IVRT nad 90 ms (11). S progresí diastolické dysfunkce narůstá LVFP, což vede k vzestupu tlakového gradientu mezi levou síní

Obrázek 1. Průběh změn transmitrálního plnění levé komory (LK) (horní záznam), toku v plicních žilách (prostřední záznam) a rychlosti pohybu mitrálního annulu (dolní záznam) při progresi diastolické dysfunkce od poruchy relaxace LK, přes fázi pseudonormalizace diastolického plnění LK, kdy se vedle poruchy relaxace objevuje navíc vzestup LVFP, až po nejtěžší fázi diastolické dysfunkce s vysokým LVFP a restričním plněním LK



a LK na počátku diastoly. Výsledkem je vzestup rychlosti E, pokles rychlosti A (síň se kontrahuje proti zvýšenému tlaku v LK) s E/A poměrem mezi 0,75–1,5. DT-E a IVRT se zkracují. DT-E dosahuje „normálních“ hodnot 140–200 ms, IVRT hodnot pod 90 ms. Mírný až střední vzestup LVFP tedy způsobuje „pseudonormalizaci“ diastolického plnění LK (stupeň 2 diastolické dysfunkce). Výrazný vzestup LVFP vede k rozvoji restričního tvaru plnění LK ($E/A > 1,5$, $DT-E < 140$ ms a $IVRT < 70$ ms, stupeň 3 diastolického selhávání). Z uvedeného průběhu progresu diastolické dysfunkce LK je zřejmé, že parametry transmitrálního plnění LK prodělávají nelineární průběh změn, který prakticky znemožňuje přesnou interpretaci samotných jednotlivých dopplerovských parametrů (12–16). Dopplerovské parametry transmitrálního plnění LK jsou navíc ovlivněny celou řadou faktorů, které interpretaci jejich hodnot ztěžují, jako jsou afterload a preload (15), tepový objem (17), srdeční frekvence (15), velikost

a funkce levé síně (18), síňokomorový převod na srdci, tonus sympatiku, apod. Prakticky stejné limitace platí i pro hodnocení toku v plicních žilách (obrázek 1, střední linie). Není proto neobvyklé, že v souborech s širokým spektrem nemocných s různě těžkým stupněm postižení funkce LK byly korelace nejčastěji používaných konvenčních Dopplerovských parametrů s invazivně změřenými hodnotami PCWP či LVEDP jen slabé až střední a nedovolily přesnější odhad vzestupu LVFP (tabulka 1). Appleton a spol. (18) našli u souboru nemocných s převážně dobrou systolickou funkcí (průměrná ejekční frakce LK 54,5 %) následující korelace s PCWP: E/A poměr ($r = 0,72$), DT-E ($r = -0,51$), IVRT ($r = -0,51$), S (rychlost systolického dopředného toku v plicních žilách, $r = -0,32$), D (rychlost diastolického dopředného toku v plicních žilách, $r = 0,60$), S/D ($r = -0,57$), Ad (doba trvání A vlny, $r = -0,31$), ad (doba trvání obráceného toku v plicních žilách při síňové kontrakci, $r = 0,44$), ad – Ad

Tabulka 1. Korelace (r) mezi nejčastěji užívanými dopplerovskými parametry a invazivně změřenými parametry vyjadřujícími plnicí tlak levé komory (PCWP, LVEDP, M-LVDP)

	E/A	DT-E	IVRT	ad-Ad	E/FPV	E/Ea lat	E/Ea se
Appleton, 1993 (18)	0,72	-0,51	-0,51	0,56			
Sundereswaran, 1998 (29)	0,51	-0,32	-0,48			0,80	
Ommen, 2000 (19)	0,25* 0,46**	0,17* 0,60**		0,39* 0,12**		0,40* 0,49**	0,47* 0,60**
Rivas-Gotz, 2003 (26)	0,41* 0,65**		-0,41* -0,72**	0,62* 0,56**	0,50* 0,65**	0,70* 0,74**	0,55* 0,65**
Schwammenthal, 2004 (16)	0,45	-0,48			0,73		
Agricola, 2005 (42)	0,24	-0,70	-0,32	0,55		0,88	
Sharma, 2006 (34)	0,09	0,01	0,18		0,60	0,79***	
Kasner, 2007 (38)	-0,04	0,30	-0,11			0,71	

PCWP – plicní kapilární tlak v zaklínění; LVEDP – konečný diastolický tlak levé komory; M-LVDP – střední diastolický tlak levé komory; E – vrcholná rychlost transmitrálního plnění levé komory; A – rychlost plnění levé komory při síňovém stahu; DT-E – decelerační čas E vlny; IVRT – izovolumický relaxační čas; ad – doba trvání obráceného toku v plicních žilách; Ad – doba trvání vlny A; FPV – rychlost propagace toku do levé komory v časné diastole; Ea lat a Ea se – vrcholné rychlosti pohybu laterální (lat) a septální (se) části mitrálního annulu v časné diastole; *korelační koeficienty u nemocných s ejekční frakcí levé komory > 50%; **korelační koeficienty u nemocných s ejekční frakcí levé komory < 50%; ***průměr (E/Ea lat + E/Ea se)/2

($r = 0,56$), apod. Ommen a spol. (19) studovali soubor 100 nemocných s normálními až těžce redukovanými ejekčními frakcemi (EF) LK a našli jen průměrné korelace parametrů transmitrálního plnění LK a toku v plicních žilách se středním diastolickým tlakem LK. E/A, DT-E, S/D korelovaly se středním diastolickým tlakem LK lépe u nemocných s EF LK < 50 % ($r = 0,46$, $r = 0,60$, $r = 0,23$) než u nemocných s EF LK > 50 % ($r = 0,25$, $r = 0,17$, $r = 0,03$). Yamamuro a spol. (20) popsali u 141 nemocných s akutním infarktem myokardu (IM) jen slabou korelaci DT-E s PCWP ($r = -0,54$), ale překvapivě dobrý vztah ($r = -0,89$) mezi PCWP a deceleračním časem diastolického toku v plicních žilách. Tento náález však dále nebyl potvrzen. O něco lepší byly korelace dopplerovských parametrů s PCWP ve studiích u nemocných se srdečním selháním a zhoršenou funkcí LK (EF pod 35–40 %) (21, 22). Giannuzzi a spol. (21) našli těsnou korelaci mezi DT-E a PCWP ($r = -0,90$). DT-E ≤ 120 ms umožňoval předpovědět PCWP ≥ 20 mm Hg se senzitivitou 100 % a specificitou 99 %. E/A poměr koreloval s PCWP slaběji ($r = 0,65$). E/A ≥ 2 měl sice dobrou specificitu pro předpověď PCWP ≥ 20 mm Hg (99 %), ale horší senzitivitu (43 %). Pozzoli a spol. (22) našli u 50 nemocných s akutním IM korelaci E/A poměru s PCWP $r = 0,83$. E/A ≥ 1 předpovídal PCWP > 20 mm Hg se senzitivitou 100 % a specificitou 86 %. Tyto lepší výsledky lze vysvětlit absencí nemocných s dobrou diastolickou funkcí LK, takže se problém daný nelineárním průběhem změn dopplerovských parametrů s jejich pseudonormalizací nemohl uplatnit. Na jednom z největších souborů (231 nemocných) Pozzoli a spol. (23) našli nejlepší korelace s PCWP u ná-

sledujících parametrů transmitrálního plnění LK: decelerační rychlost vlny E ($r = 0,78$), E/A poměr ($r = 0,69$), a DT-E ($r = -0,67$). Z parametrů toku v plicních žilách uspěla nejvíce systolická frakce vrcholných rychlostí (S/(S+D), $r = 0,76$). Autoři ukázali, že tyto parametry lze užít i v případě mitrální regurgitace a že účinnost předpovědi PCWP zvyšuje kombinace parametrů transmitrálního plnění a toků v plicních žilách. Navrhované složité rovnice pro výpočet PCWP se však v klinické praxi příliš neujaly, stejně jako kombinované parametry navrhované dalšími autory (24).

Nejnadějnějším z konvenčních dopplerovských parametrů se jeví poměr E/rychlost propagace toku v LK (E/flow propagation velocity, FPV). Barevný záznam plnění LK získáváme v apikální 4dutinové projekci umístěním „M-mode“ kurzoru do směru krevního toku plnicího LK, který je znázorněn barevnou dopplerovskou echokardiografií (color M-mode echocardiography). Rychlost propagace toku vyjadřuje sklon barevného záznamu plnění LK v časné diastole. Moller a spol. (25) ukázali, že FPV těsně koreluje s Ea stejně jako E/FPV s E/Ea. E/FPV větší nebo rovnou 1,5 zvyšuje riziko úmrtí z kardiálních příčin či hospitalizace z důvodů srdečního selhávání (25). E/FPV dobře koreluje s LVEDP ($r = 0,73$) a dokáže odlišit nemocné s městnáním v plicním oběhu přesněji než E/A poměr či DT-E (16). Rivas-Gotz a spol. (26) popsali dobré senzitivity (78 % a 71 %) a specificity (77 % a 73 %) pro předpověď PCWP > 15 mm Hg u nemocných s EF LK < 50 % nebo s EF LK 50 % a větší. V přímém srovnání (26) však poměr E/Ea dosáhl lepších hodnot odpovídajících senzitivit (85 % a 79 %) a specificit (82 % a 80 %) a je v klinické praxi častěji využíván.

Tuto kapitolu lze shrnout konstatováním, že samotné parametry konvenční pulzní dopplerovské echokardiografie, odvozené z analýzy transmitrálního plnění LK či krevního toku v plicních žilách, neumožňují přesnější odhad LVFP. Hlavní příčinou této skutečnosti je nelineární průběh jejich změn při progresi diastolické dysfunkce LK a jejich ovlivnění mnoha faktory, které interpretaci parametrů konvenční pulzní dopplerovské echokardiografie ztěžují. Lepších výsledků lze docílit využitím poměru E/FPV, který dosahuje klinicky akceptovatelné senzitivity a specificity pro předpověď vzestupu LVFP a lze jej klinicky využít v situacích, kde jiné echokardiografické metody nemohou být z jakýchkoliv důvodů provedeny.

B. Tkáňová dopplerovská echokardiografie

Nástup tkáňové dopplerovské echokardiografie (DTI) umožnil měřit vrcholné rychlosti pohybu mitrálního annulu v systole (Sa) a v časné (Ea) a pozdní (Aa) diastole. Na rozdíl od dopplerovských parametrů transmitrálního plnění LK jako jsou E či DT-E, Ea významně koreluje s invazivně změřenou hodnotou tau (time constant of isovolumic pressure decay) (27). Tato skutečnost spolu s faktem, že zhoršující se diastolická dysfunkce s nárůstem LVFP nezpůsobuje pseudonormalizaci Ea (28) (obrázek 1, dolní linie), vedla k intenzivnímu studiu přesnosti E/Ea poměru pro odhad LVFP. Přímé srovnání E/Ea poměru s parametry transmitrálního plnění LK či s parametry charakterizujícími toky v plicních žilách (tabulka 1) ukázalo, že E/Ea koreluje s PCWP daleko těsněji ($r = 0,8$) než DT-E ($r = -0,32$), E/A ($r = 0,51$), IVRT ($r = -0,48$), či poměr S/D ($r = -0,52$) (29). K obdobným nálezům dospěl i Ommen a spol. (19). Základní filozofie použití E/Ea poměru k odhadu LVFP vychází ze skutečnosti, že E závisí převážně na tlaku v levé síni (ekvivalent LVFP) a na rychlosti relaxace LK (30), zatímco Ea dominantně na relaxaci LK (28, 30). Vytvoření podílu E/Ea tak může eliminovat vliv relaxace LK a přesněji odrážet hodnotu LVFP. Zásadní výsledky pro klinické využívání E/Ea poměru přinesly práce Nagueha a spol. (28) a Ommena a spol. (19). Nagueh a spol. (28) našli žádný vztah mezi Ea a PCWP a zdůraznili, že Ea (měřený na laterálním okraji mitrálního annulu) se chová jako na preloadu nezávislý indikátor relaxace LK. Poměr E/Ea v jejich práci těsně koreloval s PCWP ($r = 0,87$), který bylo možno vypočítat podle rovnice: PCWP = 1,24 (E/Ea) + 1,9. Dobré korelace E/Ea poměru s PCWP, LVEDP či diastolickým tlakem LK před síňovou kontrakcí

s hodnotami „r“ v rozmezí 0,69–0,86 byly popsány i dalšími autory (31–34) a to jak u nemocných s dobrou systolickou funkcí LK, tak i u nemocných se sníženou EF LK (33, 35). Ommen a spol. (19) ukázali, že pro odhad zvýšeného LVFP (střední diastolický tlak LK, $M-LVDP > 15$) bylo užítí poměru E/Ea přesnější než užítí E/A , $DT-E$, či $ad-Ad$. $E/Ea > 15$ byl nalezen u 100% nemocných se zvýšeným $M-LVDP$, zatímco nemocní s $E/Ea < 8$ měli v 83% $M-LVDP$ normální. U nemocných s E/Ea mezi 8–15 nebylo možno vzestup $M-LVDP$ spolehlivě posoudit. Přes dobrý odhad vzestupu LVFP autoři našli jen mírné až střední korelace E/Ea (Ea měřen na septálním okraji mitrálního annulu) s $M-LVDP$ ($r = 0,60$ u nemocných s $EF LK < 50\%$, $r = 0,47$ u nemocných s $EF LK > 50\%$) a zdůraznili, že přesný odhad LVFP u individuálního nemocného jen z hodnoty E/Ea není možný. Další autoři se zabývali využitím E/Ea poměru za specifických hemodynamických situací a ukázali, že E/Ea poměr dobře koreluje s LVFP ($r = 0,79$) i u nemocných s fibrilací síní (27) a při síňové tachykardii, kdy při záznamu transmitrálního plnění LK vlny E a A splývají (33). Důležitá je i skutečnost, že E/Ea poměr dobře odráží i vzestup hodnot LVFP navozených zátěží (36, 37). Burgess a spol. (37) našli významnou a srovnatelnou korelaci mezi diastolickým tlakem LK ($LVDP$) a E/Ea poměrem v klidu ($r = 0,67$) i při zátěži ($r = 0,59$). Hodnota E/Ea při zátěži > 13 určila nemocné se zvýšeným $LVDP$ při zátěži se senzitivitou 73% a vysokou specifitou 96%. Klinicky cenné je využití E/Ea poměru především pro diagnostiku primárního diastolického srdečního selhání (srdeční selhání s normální $EF LK$), kde je jednoznačně výhodnější než dopplerovské parametry transmitrálního plnění LK (38). Jak ukázala práce Burgesse a spol. (37), E/Ea poměr dovoluje diagnostikovat primární diastolické srdeční selhání manifestující se nejen v klidu, ale u některých nemocných pouze při zátěži.

Z praktického hlediska je při využívání poměru E/Ea potřeba vědět, že Ea rychlost musí být měřena pulzní, nikoliv barevnou DTI. Výše citované studie, které testovaly účinnost E/Ea poměru a jeho „cutoff“ hodnot v odhadu vzestupu LVFP, používaly pulzní DTI. Pulzní DTI měří maximální rychlosti pohybu tkáně, zatímco barevná DTI vyjadřuje při „off-line“ zpracování průměrné rychlosti pohybu tkáně, které jsou tedy nižší (39), a jejich uplatnění by vyžadovalo jinou definici normálních hodnot. Dosud nepanuje shoda v tom, zda měřit Ea na septálním či laterálním okraji mitrálního annulu. Optimální je zřejmě měřit obě hodnoty a užít jejich průměr,

jak doporučuje konsenzus expertů Evropské kardiologické společnosti pro diagnostiku primárního diastolického srdečního selhání (1). Použití průměru Ea ze septálního a laterálního annulárního okraje je důležité především u nemocných s regionálními poruchami kontraktility LK.

Nicméně ne všechny zprávy podporují klinické užívání E/Ea poměru pro předpověď LVFP. Geske a spol. (40) našli u 100 nemocných s hypertrofickou kardiomyopatií jen slabou korelaci E/Ea s tlakem v levé síni ($r = 0,44$). Pokud byla echokardiografie a katetrizace provedena simultánně, korelace byla velmi špatná ($r = 0,28$). Autoři práci uzavřeli konstatováním, že E/Ea poměr ani dopplerovské parametry plnění LK nedovolují u individuálního nemocného přesný odhad LVFP. Olson a spol. (41) nenalezli žádný vztah mezi E/Ea poměrem a $LVEDP$ u nemocných s významnou mitrální regurgitací 3–4 stupně. Na druhé straně však někteří autoři negativní vliv mitrální regurgitace na korelaci E/Ea s $LVEDP$ nepotvrdili (42). Mullens a spol. (43) vyšetřili 106 nemocných s pokročilou kardiální dekompenzací ($EF LK \leq 30\%$) při přijetí do nemocnice a po 48 hodinách intenzivní medikamentózní léčby. Autoři nenalezli žádnou korelaci mezi E/Ea a PCWP, a to zvláště u nemocných s velkými objemy LK, se zhoršeným srdečním indexem (cardiac index), a u nemocných léčených bi-ventrikulární stimulací. Rovněž nebyl popsán žádný vztah mezi změnami PCWP a změnami E/Ea po medikamentózní léčbě. Tato práce podporuje ideu využít pro odhad LVFP u některých skupin nemocných poměr E /diastolický strain místo poměru E/Ea , neboť strain během časné diastoly odráží i změny objemu LK (44). První práce testující úlohu diastolického strainu je rozebrána v následující kapitole.

Kapitolu o DTI lze shrnout konstatováním, že poměr E/Ea v současnosti představuje základní echokardiografický parametr pro průkaz vzestupu LVFP. Nicméně je třeba mít na paměti, že i tento parametr v určitých klinických situacích selhává a že je vhodné jej využívat spíše k průkazu vzestupu LVFP než přímo k odhadu konkrétní hodnoty LVFP u individuálního nemocného.

C. Hodnocení deformace a rychlosti deformace myokardu

Nepřesnosti E/Ea poměru pro předpověď LVFP mohou vyplývat z patofyziologie určitých stavů (významná mitrální regurgitace, výrazná dilatace LK, apod.), ze skutečnosti, že hodnota Ea není nezávislá na preloadu jak se původně předpokládalo (45), a v neposlední řadě i z limi-

tací DTI, která je používána pro měření Ea . DTI je metoda úhlově závislá a u mnoha nemocných nelze docílit zcela rovnoběžného směru ultrazvukového paprsku se směrem pohybu myokardiální tkáně (či annulu). Naměřené annulární rychlosti neodrážejí jen rychlost srdeční relaxace, ale jsou ovlivněny i vlivy na srdeční funkci nezávislými (translační pohyb srdce, apod). V tomto směru má pro hodnocení relaxace myokardu nespornou výhodu využití deformačních parametrů získaných především „speckle tracking“ echokardiografií. Tato metoda dovoluje měřit deformaci (strain) a rychlost deformace (strain rate) nezávisle na úhlu dopadu ultrazvukového paprsku a s minimálním vlivem okolní tkáně (tethering) na naměřené hodnoty. Strain a strain rate (SR) můžeme kvantifikovat nejen během fáze časného diastolického plnění LK, ale i během IVRT. Hodnoty deformace získané během IVRT, kdy je objem LK relativně konstantní, mohou odrážet relaxaci LK přesněji a více nezávisle na preloadu než parametry získané v době plnění LK. Pionýrskou práci v tomto ohledu publikovali Wang a spol. (46), kteří testovali účinnost E/SR IVRT (SR IVRT = strain rate během izovolumické relaxace) a $E/SR E$ ($SR E$ = strain rate během časné diastoly) pro předpověď LVFP. V experimentální části autoři popsali těsnou korelaci mezi SR IVRT a τ ($r = -0,83$), ale změny $LVEDP$ hodnoty SR IVRT neovlivnily. Na druhé straně $SR E$ významně koreloval s $LVEDP$ ($r = 0,52$) v situaci, kdy τ bylo menší než 40 ms, a korelace $SR E$ s τ byla slabší ($r = -0,65$) než v případě SR IVRT. Tato skutečnost podporuje fakt, že deformační parametry získané během IVRT mají větší potenciál odrážet relaxaci LK bez výraznějšího vlivu preloadu než deformační parametry získané ve fázi časného diastolického plnění LK. Není proto překvapivé, že v klinické části tohoto projektu našli Wang a spol. (46) těsnější korelaci s PCWP u E/SR IVRT ($r = 0,79$) než u E/Ea ($r = 0,68$) či $E/SR E$ ($r = 0,58$). Korelace PCWP s parametry transmitrálního plnění LK (E/A , $r = 0,45$, $DT-E$, $r = 0,56$) byly nejslabší. Regresní analýza ukázala, že jediným nezávislým prediktorem PCWP byl E/SR IVRT, jehož hodnoty nad 236 cm identifikovaly nemocné s PCWP > 15 mm Hg se senzitivitou 96% a specifitou 82%. Výhoda E/SR IVRT oproti E/Ea byla pozorována především u nemocných s regionálními poruchami kontraktility LK.

Svoji hodnotu však mohou mít i strain a ev. strain rate měřené ve fázi časného diastolického plnění LK (44, 47). Wakami a spol. (44) popsali dobrou korelaci radiálního strainu v časné diastole jak s časovou konstantou relaxace LK (τ , $r = 0,80$), tak i s $-dp/dt$ ($r = -0,64$). I když byl strain

v časné diastole ovlivněn i EF LK, LVDP, PCWP a konečnými diastolickými a systolickými objemy LK, hodnota tau byla hlavní determinantou časného diastolického strainu. Z toho vyplývá i potenciál poměru E/časný diastolický strain předpovědět LVFP. První, kdo v klinice potvrdili tento potenciál byli Dokainish a spol. (47). Tito autoři našli významnou korelaci diastolického strainu (Ds) a strain ratu (DSr) s invazivně změřeným $-dp/dt$. Korelace E/Ds a E/10DSr s LVFP byly lepší ($r = 0,81$ a $r = 0,80$) než mezi E/Ea a LPFP ($r = 0,63$). E/Ds ≥ 8 měl vyšší senzitivitu (95 %) a specifitu (94 %) pro předpověď LVFP ≥ 15 mm Hg než E/Ea ≥ 15 (senzitivita 81 %, specifita 75 %).

Lze shrnout, že zavedení nových parametrů využívajících hodnocení deformace či rychlosti deformace myokardu či objevení úplně nových echokardiografických přístupů v budoucnu pravděpodobně zpřesní neinvazivní průkaz vzestupu LVFP. Z výsledků zatím ojedinělých prací hodnotících přínos deformačních parametrů však v současnosti nelze dělat definitivní závěry a na jejich případné využití v klinické praxi je třeba vyčkat výsledků dalších studií.

Závěr

Určení LVFP má praktický význam v celé řadě klinických situací, z nichž nejdůležitější jsou posouzení prognózy nemocných se srdečním selháváním a diagnostika srdečního selhání při zachované EF LK (primární diastolické srdeční selhání). K přesnému určení LVFP je třeba provést srdeční katetrizaci. Neinvazivně lze LVFP odhadnout několika echokardiografickými metodami, k nimž patří dopplerovské posouzení plněných LK či toků v plicních žilách, tkáňová dopplerovská echokardiografie a nověji i hodnocení deformace (strain) či rychlosti deformace (strain rate) pomocí dopplerovské či „speckle tracking“ echokardiografie. Základním parametrem pro odhad vzestupu LVFP je stanovení poměru E/Ea, kdy hodnota E/Ea > 15 predikuje vzestup LVFP, zatímco hodnota E/Ea < 8 odpovídá nezvětšenému LVFP. Nicméně i tento parametr má svoje limity. Neumožňuje především dostatečně přesný odhad LVFP u individuálního nemocného a jeho použitelnost je sporná za určitých patologických stavů jako je diagnóza hypertrofické kardiomyopatie, přítomnost významné mitrální regurgitace, akutní srdeční dekompenzace s nízkou EF a významnou dilatací LK či zavedení biventrikulární stimulace. Pro širší klinické uplatnění echokardiografických metod v určení LVFP je třeba hledat nové ultrazvukové metody s novými parametry,

případně využívat v budoucnu kombinace více parametrů.

Práce byla podpořena

Výzkumným záměrem MSM 0021622402.

Literatura

- Paulus WJ, Tschope C, Sanderson JE, et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2007; 28: 2539–2550.
- Meta-Analysis Research Group in Echocardiography (MeRGE) AMI Collaborators. Independent prognostic importance of a restrictive pattern after myocardial infarction. *Circulation* 2008; 117: 2591–2598.
- Hillis GS, Moller JE, Pelliikka PA, et al. Noninvasive estimation of left ventricular filling pressure by E/e' is a powerful predictor of survival after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 360–367.
- Richardson-Lobbedez M, Maréchaux S, Bauters Ch, et al. Prognostic importance of tissue Doppler-derived diastolic function in patients presenting with acute coronary syndrome: a bedside echocardiographic study. *Eur J Echocardiography* 2008; 9: 594–598.
- Hillis GS, Ujino K, Mulvagh SL, Hagen ME, Oh JK. Echocardiographic indices of increased left ventricular filling pressure and dilation after acute myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 450–456.
- Whalley GA, Wright SP, Pearl A, et al. Prognostic role of echocardiography and brain natriuretic peptide in symptomatic breathless patients in the community. *Europ Heart J* 2008; 29: 509–516.
- Xie GY, Berk MR, Smith MD, Gurley JC, DeMaria AN. Prognostic value of Doppler transmitral flow patterns in patients with congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1994; 24: 132–139.
- Pinamonti B, Zecchin M, Di Lenarda A, Gregori D, Sinagra G, Camerini F. Persistence of restrictive left ventricular filling pattern in dilated cardiomyopathy: an ominous prognostic sign. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 604–612.
- Temporelli PL, Corra U, Imbarato A, Bosimini E, Scapellato F, Giannuzzi P. Reversible restrictive left ventricular diastolic filling with optimized oral therapy predicts a more favorable prognosis in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 1591–1597.
- Zile MR, Bennett TD, Sutton MSJ, et al. Transition from chronic compensated to acute decompensated heart failure. *Circulation* 2008; 118: 1433–1441.
- Park SJ, Miyazaki Ch, Bruce ChJ, Ommen S, Miller FA, Oh JK. Left ventricular torsion by two-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with diastolic dysfunction and normal ejection fraction. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 1129–1137.
- Yamamoto K, Redfield MM, Nishimura RA. Analysis of left ventricular diastolic function. *Heart* 1996; 75(Suppl 2): 27–34.
- Meluzin J, Novák M, Julínek J, et al. Transmitral flow velocities and times during stress transthoracic echocardiography in patients with myocardial ischaemia. *Eur Heart J* 1993; 14: 1344–1348.
- Meluzin J, Toman J, Souček M, et al. Variability of changes in Doppler transmitral filling pattern during stress echocardiography in patients with stable angina pectoris. *Int J Cardiol* 1994; 45: 209–217.
- Miyaguchi K, Ogawa S, Nomura H, Iwase M, Yokota M, Hayashi H. Determinants of left ventricular filling dynamics: alteration in the Doppler-derived transmitral filling profile with progressive impairment of cardiac function in a dog preparation. *Europ Heart J* 1992; 13: 832–839.
- Schwammenthal E, Popescu BA, Popescu AC, et al. Association of left ventricular filling parameters assessed by pul-

sed wave Doppler and color M-mode Doppler echocardiography with left ventricular pathology, pulmonary congestion, and left ventricular end-diastolic pressure. *Am J Cardiol* 2004; 94: 488–491.

- Miki S, Murakami T, Iwase T, Tomita T, Nakamura Y, Kawai Ch. Doppler echocardiographic transmitral peak early velocity does not directly reflect hemodynamic changes in humans: importance of normalization to mitral stroke volume. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 1507–1516.
- Appleton ChP, Galloway JM, Gonzales MS, Gaballa M, Basnight MA. Estimation of left ventricular filling pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adult patients with cardiac disease. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 1972–1982.
- Ommen SR, Nishimura RA, Appleton CP, et al. Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures. *Circulation* 2000; 102: 1788–1794.
- Yamamoto A, Yoshida K, Hozumi T, et al. Noninvasive evaluation of pulmonary capillary wedge pressure in patients with acute myocardial infarction by deceleration time of pulmonary venous flow velocity in diastole. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34: 90–94.
- Giannuzzi P, Imbarato A, Temporelli PL, et al. Doppler-derived mitral deceleration time of early filling as a strong predictor of pulmonary capillary wedge pressure in postinfarction patients with left ventricular systolic dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 1994; 23: 1630–1637.
- Pozzoli M, Capomolla S, Opasich C, et al. Left ventricular filling pattern and pulmonary wedge pressure are closely related in patients with recent anterior myocardial infarction and left ventricular dysfunction. *Eur Heart J* 1992; 13: 1067–1073.
- Pozzoli M, Capomolla S, Pinna G, Cobelli F, Tavazzi L. Doppler echocardiography reliably predicts pulmonary artery wedge pressure in patients with chronic heart failure with and without mitral regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 883–893.
- Mulvagh S, Quinones MA, Kleiman NS, Cheirif J, Zoghbi WA. Estimation of left ventricular end-diastolic pressure from Doppler transmitral flow velocity in cardiac patients independent of systolic performance. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 112–119.
- Moller JE, Sondergaard E, Poulsen SH, Seward JB, Appleton ChP, Egstrup K. Color M-mode and pulsed wave tissue Doppler echocardiography: powerful predictors of cardiac events after myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr* 2001; 14: 757–763.
- Rivas-Gotz C, Manolios M, Thohan V, Nagueh SF. Impact of left ventricular ejection fraction on estimation of left ventricular filling pressures using tissue Doppler and flow propagation velocity. *Am J Cardiol* 2003; 91: 780–784.
- Sohn DW, Song JM, Zo JH, et al. Mitral annulus velocity in the evaluation of left ventricular diastolic function in atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 927–931.
- Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, Zoghbi WA, Quinones MA. Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 1527–1533.
- Sundereswaran L, Nagueh SF, Vardan S, et al. Estimation of left and right ventricular filling pressures after heart transplantation by tissue Doppler imaging. *Am J Cardiol* 1998; 82: 352–357.
- Nagueh SF, Sun H, Kopelen HA, Middleton KJ, Khoury DS. Hemodynamic determinants of the mitral annulus diastolic velocities by tissue Doppler. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 278–285.
- Kim YJ, Sohn DW. Mitral annulus velocity in the estimation of left ventricular filling pressure: prospective study in 200 patients. *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 980–985.
- Dokainish H, Zoghbi WA, Lakkis NM, et al. Optimal noninvasive assessment of left ventricular filling pressures. *Circulation* 2004; 109: 2432–2439.

33. Nagueh SF, Mikati I, Kopelen HA, Middleton KJ, Quinones MA, Zoghbi WA. Doppler estimation of left ventricular filling pressure in sinus tachycardia. A new application of tissue Doppler imaging. *Circulation* 1998; 98: 1644–1650.
34. Sharma R, Pellerin D, Gaze DC, et al. Mitral peak Doppler E-wave to peak mitral annulus velocity ratio is an accurate estimate of left ventricular filling pressure and predicts mortality in end-stage renal disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 266–273.
35. Kim YJ, Sohn DW. Mitral annulus velocity in the estimation of left ventricular filling pressure: prospective study in 200 patients. *J Am Soc echocardiogr* 2000; 13: 980–985.
36. Talreja DR, Nishimura RA, Oh JK. Estimation of left ventricular filling pressure with exercise by Doppler echocardiography in patients with normal systolic function: a simultaneous echocardiographic-cardiac catheterization study. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; 20: 477–479.
37. Burgess MI, Jenkins C, Sharmann JE, Marwick TH. Diastolic stress echocardiography: hemodynamic validation and clinical significance of estimation of ventricular filling pressure with exercise. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 1891–1900.
38. Kasner M, Westermann D, Steendijk P, et al. Utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of diastolic function in heart failure with normal ejection fraction. *Circulation* 2007; 116: 637–647.
39. Tartiere JM, Logeart D, Tartiere-Kesri L, and Cohen-Solal A. Colour tissue Doppler underestimates myocardial velocity as compared to spectral tissue Doppler. poor reliability between both methods. *Eur J Echocardiography* 2008; 9: 268–272.
40. Geske JB, Sorajja P, Nishimura RA, Ommen SR. Evaluation of left ventricular filling pressures by Doppler echocardiography in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2007; 116: 2702–2708.
41. Olson JJ, Costa SP, Young ChE, Palac RT. Early mitral filling/diastolic mitral annular velocity ratio is not reliable predictor of left ventricular filling pressure in the setting of severe mitral regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 83–87.
42. Agricola E, Galderisi M, Oppizzi M, Melisurgo G, Airolidi F, Margonato A. Doppler tissue imaging: a reliable method for estimation of left ventricular filling pressure in patients with mitral regurgitation. *Am Heart J* 2005; 150: 610–615.
43. Mullens W, Borowski AG, Curtin RJ, Thomas JD, Tang WH. Tissue Doppler imaging in the estimation of intracardiac filling pressure in decompensated patients with advanced systolic heart failure. *Circulation* 2009; 119: 62–70.
44. Wakami K, Ohte N, Sakata S, Kimura G. Myocardial radial strain in early diastole is useful for assessing left ventricular early diastolic function: comparison with invasive parameters. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 446–451.
45. Drighil A, Madias JE, Mathewson JW, et al. Haemodialysis: effects of acute decrease in preload on tissue Doppler imaging indices of systolic and diastolic function of the left and right ventricles. *Eur J Echocardiography* 2008; 9: 530–535.
46. Wang J, Khoury DS, Thohan V, Torre-Amione G, Nagueh SF. Global diastolic strain rate for the assessment of left ventricular relaxation and filling pressures. *Circulation* 2007; 115: 1376–1383.
47. Dokainish H, Sengupta R, Pillai M, Bobek J, Lakkis N. Usefulness of new diastolic strain and strain rate indexes for the estimation of left ventricular filling pressure. *Am J Cardiol* 2008; 101: 1504–1509.

Článek přijat redakcí: 17. 3. 2009

Článek přijat po přepracování: 26. 4. 2009

Článek přijat k publikaci: 11. 5. 2009

prof. MUDr. Jaroslav Meluzín, CSc., FESC

*I. interní kardiologická klinika, FN u sv. Anny
Pekařská 53, 656 91 Brno
jaroslav.meluzin@fnusa.cz*
