

Valutazione non invasiva del profilo emodinamico nel paziente con scompenso cardiaco: stima della pressione arteriosa polmonare

Stefano Ghio

Divisione di Cardiologia, Policlinico San Matteo, IRCCS, Pavia

Key words:
Doppler ultrasound;
Right ventricular
function.

Continuous-wave Doppler echocardiography is an accurate method for the non-invasive estimation of pulmonary artery pressure because the pressure gradient across a regurgitant valve can be estimated accurately by measuring the high flow velocity of the regurgitant jet and by applying the simplified Bernoulli equation. Measurable tricuspid and/or pulmonary regurgitation can be observed in a great percentage of patients with heart failure (approximately 90% of patients if the examination is performed by an experienced sonographer) and the method has a wide clinical applicability.

Recently, new attention has been focused on the possibility of evaluating the right ventricular function by echocardiography. Although the measurement of the volumes of this cardiac chamber is undoubtedly difficult with ultrasound (as it is with most imaging techniques), it must be recognized that echocardiography allows for the measurement of simple M-mode and two-dimensional parameters which are extremely useful in the prognostic stratification of patients with congestive heart failure.

(Ital Heart J Suppl 2000; 1 (10): 1321-1325)

Ricevuto il 21 giugno 2000; accettato il 12 luglio 2000.

Per la corrispondenza:

Dr. Stefano Ghio

Divisione di Cardiologia
Policlinico San Matteo,
IRCCS
Piazzale Golgi, 2
27100 Pavia
E-mail:
s.ghio@smatteo.pv.it

La misurazione invasiva delle pressioni intravascolari avviene più frequentemente mediante sistemi con cateteri riempiti di liquido: la colonna di liquido trasmette le modificazioni di pressioni che si verificano a livello della punta del catetere al trasduttore di pressione cui il catetere stesso è connesso a livello prossimale. Un trasduttore di pressione è costituito da un diaframma che, se sottoposto ad una pressione, si deforma in maniera lineare inducendo un proporzionale cambiamento di resistenza elettrica; le modifiche di resistenza vengono trasformate in un potenziale elettrico che, opportunamente amplificato, viene registrato come segnale analogico e rappresenta la pressione applicata al trasduttore. I valori di pressione vengono correttamente misurati se il sistema è stato in precedenza bilanciato (portando a zero il segnale di uscita quando è zero la pressione applicata al diaframma) e calibrato (applicando pressioni note al trasduttore). Alla facilità di impiego corrispondono però diversi limiti dei sistemi a colonna liquida: in particolare la presenza di artefatti da movimento che possono causare la sovrapposizione di onde di ampiezza pari anche a 10 mmHg e la bassa

risposta in frequenza che causa frequente distorsione delle curve pressorie endocavitari. Misurazioni più accurate possono essere effettuate mediante cateteri, peraltro ben più costosi, con micromanometri di pressione in punta.

È facile comprendere perché la stima Doppler delle pressioni polmonari sia una delle più importanti acquisizioni della cardiologia non invasiva dell'ultimo ventennio. Essa consente infatti di integrare lo studio ecocardiografico (morfologico) delle camere e delle valvole cardiache con dati emodinamici che in precedenza erano ottenibili solo in sede di cateterismo cardiaco. Tale stima si basa sulla misurazione, mediante Doppler continuo della velocità del getto di rigurgito tricuspide o polmonare. Applicando l'equazione di Bernoulli semplificata ($P = 4V^2$), dove P è la pressione endocavitaria e V è la velocità massima del getto di rigurgito tricuspide e polmonare misurata al Doppler, è possibile ricavare dalle velocità il gradiente pressorio tra ventricolo ed atrio destro (Fig. 1) o tra polmonare e ventricolo destro (Fig. 2). Aggiungendo alla misura della pressione generatrice del getto una stima (ovviamente eco-

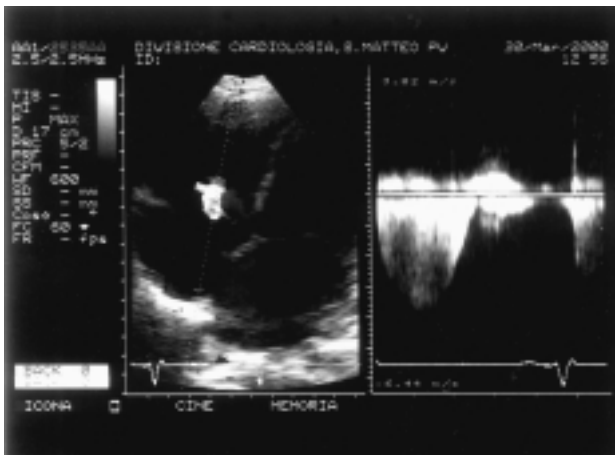


Figura 1. Calcolo del gradiente sistolico tra ventricolo destro e atrio destro a partire dalla velocità del getto di rigurgito tricuspide in un paziente con cardiomiopatia dilatativa. A sinistra: l'immagine color Doppler permette di individuare il getto di rigurgito tricuspide e di posizionare correttamente il fascio esplorante Doppler continuo. In questo caso l'allineamento era ottimale. A destra: la corrispondente registrazione delle velocità al Doppler continuo. La pressione generatrice misurata era di 52 mmHg.

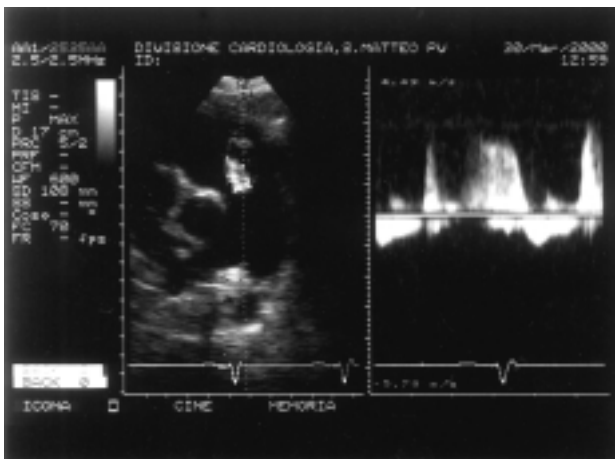


Figura 2. Calcolo del gradiente diastolico tra arteria polmonare e ventricolo destro a partire dalla velocità del getto di rigurgito polmonare in un paziente con cardiomiopatia dilatativa (stesso paziente della figura 1). A sinistra: l'immagine color Doppler permette di individuare il getto di rigurgito polmonare e di posizionare correttamente il fascio esplorante Doppler continuo. In questo caso l'allineamento era ottimale. A destra: la corrispondente registrazione delle velocità al Doppler continuo. La pressione generatrice misurata in mesodiastole era di 25 mmHg.

cardiografica) della pressione atriale destra si ottiene la stima della pressione sistolica e diastolica in arteria polmonare.

Il principio fisico su cui si basa la procedura sopra descritta è oltremodo solido, ma, in clinica, le possibilità di errore non sono poche, soprattutto se non si conoscono bene i potenziali limiti, sia pratici che teorici, del metodo.

Innanzitutto, nell'equazione la velocità ha esponente 2 e gli errori di misura della velocità, soprattutto a velocità elevate, vengono quindi grossolanamente amplificati. Bisogna poi ricordare che l'accuratezza della mi-

sura Doppler delle velocità di flusso dipende dall'allineamento tra la direzione del getto ed il fascio esplorante e per angoli $> 30^\circ$ si possono verificare sostanziali errori di misura. Ovviamente la guida dell'esplorazione color Doppler è estremamente utile per ottimizzare l'allineamento del Doppler continuo, ma questo può essere fatto solo quando l'estensione del getto è sufficientemente ampia. L'equazione sopra descritta ($P = 4V^2$) è semplificata; l'abolizione dei termini relativi all'inerzia locale ed all'attrito viscoso viene giustificata dalla loro scarsa rilevanza pratica. In realtà non è chiaro quanto il termine viscoso possa essere negletto in caso di orifici molto piccoli. Nell'esposizione del principio di calcolo Hatle e Angelsen¹ avevano indicato come non influente dal punto di vista della viscosità un orificio di diametro ≥ 3.5 mm. Successivamente la validità dell'equazione semplificata è stata dimostrata anche per orifici molto piccoli². Ben diverse però sono le condizioni di uno studio sperimentale (in cui ad esempio i margini dell'orificio sono netti) da quello che può verificarsi nell'uomo (l'orificio rigurgitante potrebbe essere imbutiforme o a margini frastagliati). La cautela è quindi d'obbligo quando si misurano velocità di getti piccoli, magari solo protosistolici. Questi problemi risultano poi amplificati quando si cerchi di determinare la pressione diastolica in arteria polmonare mediante la velocimetria del getto di rigurgito polmonare: l'allineamento del getto è più difficile, il getto è spesso tenue, volumetricamente trascurabile. Infine, un'ulteriore fonte di errore può essere rappresentata dalla stima della pressione atriale destra (generalmente trascurabile, oscillante tra 5 e 10 mmHg, ma occasionalmente elevata sino a 25-30 mmHg). Non esiste infatti un metodo ecografico accurato per la stima della pressione atriale destra.

In letteratura, la percentuale di successo nella stima Doppler delle pressioni polmonari è un dato che mostra una discreta variabilità: la stima della pressione sistolica in arteria polmonare viene riportata come fattibile in circa il 60-75% dei casi mentre quella polmonare in percentuali che vanno dal 40 al 90%³⁻⁷. Ovviamente i dati risultano migliori quando l'esame Doppler viene eseguito da ecografisti esperti, con l'obiettivo preciso di valutare le pressioni del piccolo circolo. In queste condizioni ottimali una stima della pressione sistolica o diastolica risulta possibile nel 95% dei pazienti⁵. Dal punto di vista pratico rimane da fare un'ultima considerazione sull'accuratezza delle misure: mentre è molto difficile che con la metodica Doppler si verifichino sovrastime dei valori pressori (a meno di grossolani errori nella valutazione delle velocità di flusso del getto) è invece più facile che la pressione polmonare venga sottostimata (per i problemi metodologici su esposti). In altri termini, il riscontro velocimetrico Doppler di pressioni generatrici elevate è estremamente specifico; il principale problema della stima non invasiva delle pressioni polmonari risiede invece nella sua minore sensibilità.

Alcuni studi suggeriscono che in caso di segnale Doppler debole l'utilizzo di un mezzo di contrasto (ad esempio anche solo soluzione glucosata) possa permettere una più accurata raccolta del dato velocimetrico e quindi una stima più accurata del valore pressorio polmonare^{8,9}. La maggiore sensibilità del metodo Doppler ottenibile con l'utilizzo dei mezzi di contrasto può essere sfruttata anche per valutare le pressioni polmonari durante esercizio dinamico¹⁰⁻¹². La potenziale utilità di questa metodica nei pazienti affetti da scompenso cardiaco rimane però ancora da definire. È vero infatti che l'emodinamica da sforzo è un metodo ottimale per la valutazione della riserva cardiovascolare nei pazienti con scompenso di grado avanzato, ancor più che non il test cardiopolmonare, ma il dato emodinamico prognosticamente più importante non è la pressione polmonare sistolica bensì un parametro derivato, l'indice di lavoro sistolico del ventricolo sinistro, non facilmente calcolabile con eco¹³⁻¹⁵.

La relazione tra pressione polmonare e funzione ventricolare destra

Le conoscenze sulla funzione del ventricolo destro e sul ruolo che questa camera cardiaca svolge nello scompenso cardiaco e nelle diverse forme di cardiopatia sono state per diversi anni molto scarse. Tutto l'interesse era rivolto allo studio del ventricolo sinistro, innanzitutto per il ruolo primario che il ventricolo sinistro svolge nel controllo del circolo. Gli studi fisiopatologici indicavano chiaramente che la funzione sistolica del ventricolo destro è strettamente ed inversamente dipendente dal livello di postcarico che questa camera deve fronteggiare ed anche per questo motivo l'interesse alla misurazione diretta della sua funzione risultava scarso¹⁶⁻²⁰. In aggiunta, le difficoltà nello studio del ventricolo destro non sono indifferenti²¹: la geometria è infatti complessa e non essendovi una conformazione simmetrica intorno ad un asse è molto difficile calcolarne il volume sistolico e diastolico; la dinamica dell'eiezione è inoltre diversa e più difficile da descrivere rispetto a quella del ventricolo sinistro. Con l'ecocardiografia le difficoltà sono poi accresciute dalla posizione del ventricolo destro, immediatamente sotto lo sterno, il che ne rende peraltro difficile anche la misurazione degli spessori parietali.

Negli ultimi anni però le cose sono cambiate. Innanzitutto sono stati pubblicati diversi studi che dimostrano quanto importante sia la funzione ventricolare destra, non solo nel determinare la capacità lavorativa ma anche nel condizionare la prognosi a breve-medio termine dei pazienti con cardiomiopatia dilatativa o postischemica²²⁻²⁶. Per di più, in pazienti con scompenso cardiaco di grado avanzato, la frazione di eiezione del ventricolo destro (valutata con la termodiluizione) sembra essere il parametro prognostico più importante fra tutti quelli forniti dall'emodinamica del cuore de-

stro²⁴. Ci si è poi resi conto della possibilità di ottenere con l'ecocardiografia alcuni semplici parametri mono e bidimensionali che, pur non potendo sostituire il calcolo dei volumi, sono però dei buoni indicatori della funzione ventricolare destra e possono quindi risultare di grande utilità clinica^{26,27}. Ad esempio, il ventricolo destro può essere ben visualizzato in una proiezione 4 camere apicale di poco modificata rispetto alla proiezione standard per il ventricolo sinistro (è sufficiente un piccolo spostamento della sonda in direzione superiore e verso lo sterno). La variazione percentuale sistolica dell'area ventricolare destra in questa proiezione è un parametro che si correla bene alla frazione di eiezione del ventricolo destro misurata con i radionuclidi o con la termodiluizione^{27,28}. Nella stessa proiezione è facile misurare le escursioni del piano valvolare tricuspide posizionando il cursore dell'M-mode sulla porzione più laterale dell'anello tricuspide (Fig. 3). Questo movimento rispecchia l'accorciamento base-apice del ventricolo destro in sistole. Dati ottenuti nel nostro laboratorio dimostrano che questo indice ha un potere prognostico indipendente ed aggiuntivo rispetto ai classici predittori ecocardiografici (frazione di eiezione e modalità di riempimento del ventricolo sinistro)²⁷.

Queste recenti osservazioni sul ruolo prognostico indipendente della funzione ventricolare destra non sono però facilmente riconciliabili con i ben noti dati fisiopatologici che mostrano una stretta dipendenza della funzione destra dal postcarico. In realtà la ricerca non si è interessata molto a questo problema negli ultimi anni. Gli studi presenti in letteratura sono fondamentalmente quelli effettuati negli anni '80, soprattutto su pazienti con insufficienza respiratoria¹⁶⁻¹⁹.

Nel nostro laboratorio di emodinamica abbiamo studiato la relazione inversa tra pressione polmonare e frazione di eiezione del ventricolo destro (misurata con la termodiluizione) in un'ampia popolazione consecutiva di pazienti con cardiomiopatia dilatativa o postischemica²⁹. I dati preliminari di questa ricerca mostra-

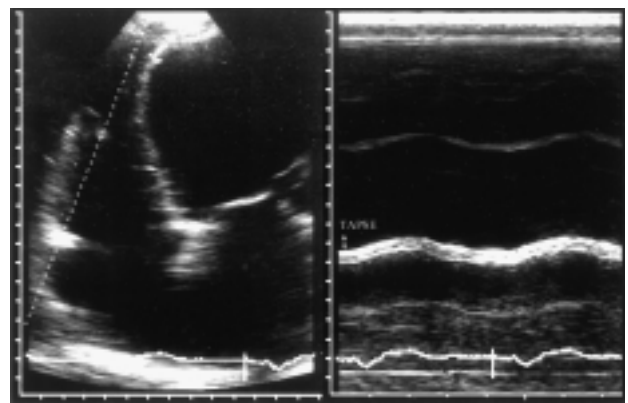


Figura 3. Registrazione dell'escursione sistolica del piano dell'anello tricuspide (TAPSE). A sinistra: proiezione apicale 4 camere con il cursore M-mode sulla porzione laterale dell'anello tricuspide. A destra: registrazione M-mode delle escursioni sisto-diastoliche dell'anello tricuspide.

no innanzitutto che non è infrequente osservare eccezioni alla regola che vuole la pressione polmonare e la funzione del ventricolo destro inversamente correlate tra loro. In taluni pazienti con ipertensione polmonare la funzione ventricolare destra può essere discretamente conservata; i motivi per cui ciò si verifica non sono ancora chiari, ma è possibile che si tratti di pazienti con ipertensione polmonare di più recente insorgenza. È inoltre possibile riscontrare una disfunzione ventricolare destra anche in pazienti con pressione polmonare normale. In questo caso i motivi possono essere molteplici ed anche molto diversi tra loro: in alcuni casi si tratta di pazienti in bassa portata cardiaca, in altri più semplicemente di pazienti relativamente "vuoti" per una terapia diuretica molto spinta. Inoltre lo studio dell'accoppiamento tra funzione ventricolare destra e pressione polmonare fornisce informazioni prognostiche importanti nei pazienti con cardiomiopatia dilatativa: i pazienti con ipertensione polmonare e funzione ventricolare destra conservata hanno una prognosi sensibilmente migliore di quelli con ipertensione polmonare e disfunzione destra e sostanzialmente non molto diversa da quella dei pazienti con profilo emodinamico normale o con pressione polmonare normale e disfunzione destra.

Il messaggio che emerge dallo studio è che occorre integrare i dati dell'emodinamica destra con una valutazione funzionale del ventricolo destro se si vuole migliorare la stratificazione prognostica dei pazienti con scompenso cardiaco. Benché questo sia uno studio invasivo non è difficile però immaginare che le stesse conclusioni potrebbero essere raggiunte anche mediante una valutazione non invasiva ecocardiografica delle pressioni polmonari e della funzione ventricolare destra.

Riassunto

La stima Doppler delle pressioni polmonari è una delle più importanti acquisizioni della cardiologia non invasiva dell'ultimo ventennio. Essa consente di integrare lo studio morfologico ecocardiografico delle camere e delle valvole cardiache con dati emodinamici che in precedenza erano ottenibili solo in sede di cateterismo cardiaco. Tale stima si basa sulla misurazione, mediante Doppler continuo, della velocità del getto di rigurgito tricuspide o polmonare. Applicando l'equazione di Bernoulli semplificata è possibile ricavare dalle velocità del getto il gradiente pressorio tra ventricolo ed atrio destro o tra polmonare e ventricolo destro; aggiungendo al gradiente una stima (ovviamente ecocardiografica) della pressione atriale destra, si ottiene la stima della pressione sistolica o diastolica in arteria polmonare. Il metodo non è ovviamente scevro da potenziali limiti, sia pratici che teorici, ma il principio fisico su cui si basa la procedura sopra descritta è oltremodo solido e, in clinica, è ragionevole aspettarsi di po-

ter ottenere una stima delle pressioni polmonari (sistoliche o diastoliche) in circa il 90% dei pazienti se l'esame è effettuato da un ecocardiografista esperto.

Dati recenti della letteratura mostrano inoltre un rinnovato interesse allo studio con l'ecocardiografia del ventricolo destro. È indiscusso che il calcolo dei volumi e della frazione di eiezione del ventricolo destro rimane un passaggio oltremodo difficile per tutte le metodiche di imaging, ma bisogna riconoscere che l'ecocardiografia permette di ottenere alcuni semplici parametri mono e bidimensionali che non solo sono buoni indicatori della funzione ventricolare destra ma risultano di grande utilità clinica nella valutazione della prognosi dei pazienti affetti da scompenso cardiaco.

Parole chiave: Ecocardiografia Doppler; Funzione ventricolare destra.

Bibliografia

1. Hatle L, Angelsen B. Physics of blood flow in Doppler ultrasound in cardiology. 2nd edition. Philadelphia, PA: Lea and Febiger, 1985: 8-31.
2. Teirstein PS, Yock PG, Popp RL. The accuracy of Doppler ultrasound measurement of pressure gradients across irregular, dual and tunnel-like obstructions to blood flow. *Circulation* 1985; 72: 577-84.
3. Yock PG, Popp RL. Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation* 1984; 70: 657-62.
4. Masuyama T, Kodama K, Sato H, Nanto S, Inoue M. Continuous-wave Doppler echocardiographic detection of pulmonary regurgitation and its application to noninvasive estimation of pulmonary artery pressure. *Circulation* 1986; 74: 484-92.
5. Borgeson DD, Seward JB, Miller FA Jr, Oh JK, Tajik AJ. Frequency of Doppler measurable pulmonary artery pressures. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 832-7.
6. Murata I, Takenaka K, Yoshinoya S, et al. Clinical evaluation of pulmonary hypertension in systemic sclerosis and related disorders. A Doppler echocardiographic study of 135 Japanese patients. *Chest* 1997; 111: 36-43.
7. Recusani F. Malattie della valvola tricuspide e polmonare, ipertensione arteriosa polmonare. In: Nicolosi GL, ed. Trattato di ecocardiografia clinica. Padova: Piccin Editore, 1999: 1159-86.
8. Tanabe K, Asanuma T, Yashitomi H, et al. Doppler estimation of pulmonary artery end-diastolic pressure using contrast enhancement of pulmonary regurgitant signals. *Am J Cardiol* 1996; 78: 1145-8.
9. Tokushima T, Utsunomiya T, Yoshida K, et al. Estimation of the systolic pulmonary arterial pressure using contrast-enhanced continuous-wave Doppler in patients with trivial tricuspid regurgitation. *Jpn Heart J* 1999; 40: 311-20.
10. Himelman R, Stulbarg M, Kircher B, et al. Noninvasive evaluation of pulmonary artery pressure during exercise by saline-enhanced Doppler echocardiography in chronic pulmonary disease. *Circulation* 1989; 79: 863-71.
11. Kuecherer HF, Will M, da Silva KG, et al. Contrast-enhanced Doppler ultrasound for noninvasive assessment of pulmonary artery pressure during exercise in patients with chronic congestive heart failure. *Am J Cardiol* 1996; 78: 229-32.

12. Minnini S, Diricatti G, Vono MC, et al. Noninvasive evaluation of right ventricle systolic pressure during dynamic exercise by saline-enhanced Doppler echocardiography in progressive systemic sclerosis. *Angiology* 1996; 47: 467-74.
13. Griffin BP, Shah PK, Ferguson J, Rubin SA. Incremental prognostic value of exercise hemodynamic variables in chronic congestive heart failure secondary to coronary artery disease or to dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1991; 67: 848-53.
14. Mancini D, Katz S, Donchez L, Aaronson K. Coupling of hemodynamic measurements with oxygen consumption during exercise does not improve risk stratification in patients with heart failure. *Circulation* 1996; 94: 2492-6.
15. Metra M, Faggiano P, D'Aloia A, et al. Use of cardiopulmonary exercise testing with hemodynamic monitoring in the prognostic assessment of ambulatory patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1999; 33: 943-50.
16. Brent BN, Berger HJ, Matthay RA, Mahler D, Pytlik L, Zaret BL. Physiologic correlates of right ventricular ejection fraction in chronic obstructive pulmonary disease: a combined radionuclide and hemodynamic study. *Am J Cardiol* 1982; 50: 255-62.
17. Sibbald WJ, Driedger AA, Myers ML, Short AI, Wells GA. Biventricular function in the adult respiratory distress syndrome. Hemodynamic and radionuclide assessment with special emphasis on right ventricular function. *Chest* 1983; 84: 126-34.
18. Morrison D, Goldman S, Wright AL, et al. The effect of pulmonary hypertension on systolic function of the right ventricle. *Chest* 1983; 84: 250-7.
19. Brown KA, Okada RD, Boucher CA, Strauss HW, Pohost GM. Right ventricular ejection fraction response to exercise in patients with coronary artery disease: influence of both right coronary artery disease and exercise-induced changes in right ventricular afterload. *J Am Coll Cardiol* 1984; 3: 895-901.
20. Konstam MA, Salem DN, Isner JM, et al. Vasodilator effect on right ventricular function in congestive heart failure and pulmonary hypertension: end-systolic pressure-volume relation. *Am J Cardiol* 1984; 54: 132-6.
21. Oldershaw P. Assessment of right ventricular function and its role in clinical practice. *Br Heart J* 1992; 68: 12-5.
22. Polak JF, Holman BL, Wynne J, Colucci WS. Right ventricular ejection fraction: an indicator of increased mortality in patients with congestive heart failure associated with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1983; 2: 217-24.
23. Di Salvo TG, Mathier M, Semigran MJ, Dec WG. Preserved right ventricular ejection fraction predicts exercise capacity and survival in advanced heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1143-53.
24. Gavazzi A, Berzuini C, Campana C, et al. Value of right ventricular ejection fraction in predicting short-term prognosis of patients with severe chronic heart failure. *J Heart Lung Transplant* 1997; 16: 774-85.
25. de Groote P, Millaire A, Foucher-Hossein C, et al. Right ventricular ejection fraction is an independent predictor of survival in patients with moderate heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1998; 32: 948-54.
26. Karasatakis GT, Karagounis LA, Kalyvas PA, et al. Prognostic significance of echocardiographically estimated right ventricular shortening in advanced heart failure. *Am J Cardiol* 1998; 82: 329-34.
27. Ghio S, Recusani F, Klersy C, et al. Prognostic usefulness of the tricuspid annular plane systolic excursion in patients with congestive heart failure secondary to idiopathic or ischemic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2000; 85: 837-42.
28. Forni G, Pozzoli M, Canizzaro G, et al. Assessment of right ventricular function in patients with congestive heart failure by echocardiographic automated boundary detection. *Am J Cardiol* 1996; 78: 1317-21.
29. Ghio S, Gavazzi A, Sebastiani R, et al. How right ventricular function relates to pulmonary artery pressure in advanced congestive heart failure. Prognostic implications. (abstr) *Circulation* 1999; 100 (Suppl I): I-580.