

Review

STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO ASSESSMENT OF RIGHT VENTRICULAR FUNCTION: THE ECHOCARDIOGRAPHIC STUDY

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]

U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria,
Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

RIASSUNTO

La posizione sfavorevole all'interno del torace e la sua forma irregolare, hanno da sempre reso difficile la valutazione funzionale del ventricolo destro (VD) mediante ecocardiografia. Nonostante queste difficoltà, l'interesse per il VD è andato via via crescendo, negli ultimi anni. Questo lavoro intende presentare l'ampia gamma di possibilità di studio della funzione ventricolare destra, che le più recenti acquisizioni tecnologiche sviluppate in ecocardiografia hanno messo a disposizione dei cardiologi.

Parole chiave: ventricolo destro; funzione sistolica, funziona diastolica, ecocardiografia

ABSTRACT

The echocardiographic evaluation of right ventricle is difficult because of the complex geometry of this chamber and its retrosternal location. In this review we describe the recent developments in echocardiographic techniques able to enhanced our ability to accurately assess right ventricular function.

Keywords: right ventricle; systolic function; diastolic function; echocardiography

Indirizzo per la corrispondenza:
D.ssa Laura Massironi
U.O. di Cardiologia – Dip. di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria,
Osp. San Paolo – Università degli Studi di Milano
Via A. Di Rudini 20142 Milano
Tel. 02-81844251
Fax 02-81844261
e-mail: roberto.delorenzo@tiscali.it



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

INTRODUZIONE

Il ventricolo destro (VD) è una struttura di forma ed architettura complessa, situata anteriormente al ventricolo sinistro (VS) e posteriormente allo sterno.

E' costituita anatomicamente e funzionalmente da due componenti:

- **camera di afflusso** che si estende dal piano valvolare tricuspидale all'infundibolo, comprendendo l'apice; ha una forma grossolanamente di tipo triangolare e sezione a semiluna.
- **camera di efflusso**, o infundibulo, che si estende dalla camera di afflusso alla valvola polmonare, con un orientamento del suo asse lungo quasi perpendicolare a quello della camera di afflusso (fig 1 e 2).

Questa forma complessa ed irregolare non consente di ricondurre il volume del VD ad un modello geometrico predefinito. Non è stato quindi possibile sviluppare un modello o un insieme di modelli volumetrici che potessero descriverne la forma con sufficiente affidabilità.

La posizione sfavorevole e la sua forma irregolare rendono difficile, in condizioni di normalità, la sua

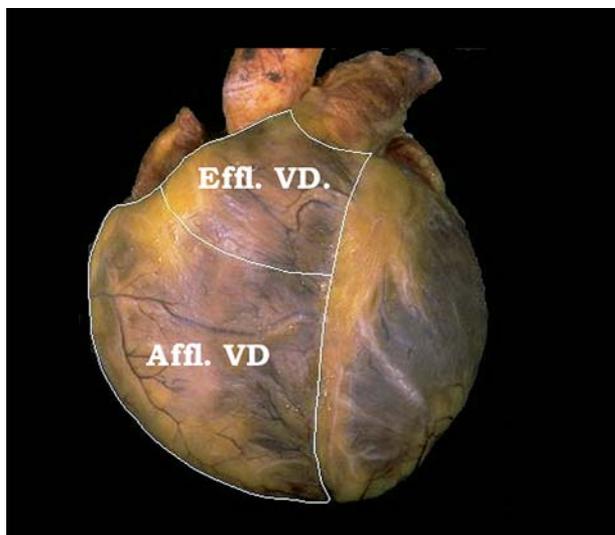


Fig. 1

Ventricolo destro: visione anatomica. Effl. VD: camera di efflusso del ventricolo destro. Affl. VD: camera di afflusso del ventricolo destro. (NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero).

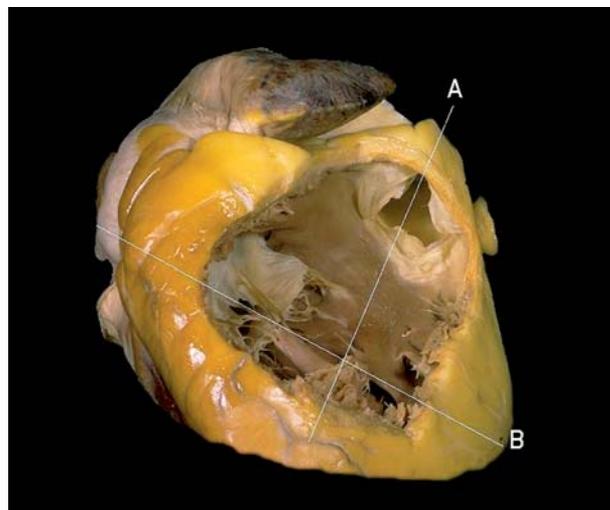


Fig. 2

Ventricolo destro: preparazione anatomica: ventricolo destro dopo asportazione di parte della parete anteriore e di parte della parete laterale. A) Camera di efflusso. B) Camera di afflusso. (NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero).

valutazione mediante tecnica ecocardiografica. Solo il rimodellamento, che avviene in condizioni patologiche, rende l'approccio meno difficoltoso perché almeno uno dei problemi (la posizione retrosternale) viene superato dall'aumento del volume.

Nonostante queste difficoltà l'interesse per il ventricolo destro è andato crescendo negli ultimi anni. Numerosi studi hanno, infatti, dimostrato che la comparsa di disfunzione ventricolare destra, analogamente alla disfunzione ventricolare sinistra, incide significativamente sulla prognosi e sul decorso clinico di numerose patologie primitivamente cardiache o nelle quali l'interessamento cardiaco è secondario. Numerosi contributi sono stati pubblicati in letteratura a dimostrazione di questo assunto: le malattie polmonari croniche (1), l'ipertensione polmonare primitiva (1; 2), la trombo-embolia polmonare (3; 4), lo scompenso cardiocircolatorio (5; 6), l'infarto miocardico (1; 7), le cardiopatie congenite (1; 8), il trapianto cardiopolmonare (1).

Tali evidenze hanno spinto i ricercatori a migliorare nel tempo lo studio ecocardiografico del ventricolo destro che è stato arricchito, anno dopo anno, dall'impiego di tutte le tecniche ecocardiografiche via



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

via emergenti (mono-bidimensionale, eco-doppler, ecocontrasto, DTI). Lo scopo è stato sempre quello di individuare parametri di facile esecuzione, riproducibilità ed elevata attendibilità, che ne permettano una accurata valutazione morfologica e funzionale.

Si sono perciò sviluppate una serie di metodiche di studio che, attualmente, offrono al cardiologo clinico la concreta possibilità di studiare la sua morfologia, le sue dimensioni e la presenza/assenza di disfunzione ventricolare destra. Le tecniche Doppler consentono inoltre di stimare, con ottima approssimazione, le pressioni endocavitari e di aggiungere altri indici di funzione ventricolare sistolica e diastolica.

MORFOLOGIA E DIMENSIONI

Fermo restando le limitazioni conseguenti alla infelice collocazione nel torace, numerose sono le sezioni ecocardiografiche che abbiamo a disposizione per ottenere informazioni sulle dimensioni, la cinési segmentaria e la funzione ventricolare destra (9-13).

FINESTRA PARASTERNALE

- **sezione asse lungo parasternale:** nella sezione asse lungo per il ventricolo sinistro è possibile esplorare la parete anteriore del tratto di efflusso (TE) del VD (figura 3a). E' stata spesso utilizzata per la misura del diametro del TE, misura che tuttavia appare limitata dalla mancanza di punti di repere intracardiaci che consentano un orientamento trasversale del fascio ultrasonoro rispetto all'asse longitudinale del tratto di efflusso del ventricolo destro. La conseguenza è che non raramente il VD viene tagliato obliquamente, con possibile sovra/sottostima delle dimensioni. Le misure ricavabili da questa proiezione appaiono quindi scarsamente affidabili.
- **sezione asse lungo sul tratto di afflusso del VD:** partendo dall'asse lungo parasternale, inclinando medialmente il trasduttore, si ottiene una proiezione che esplora tutta la camera di afflusso

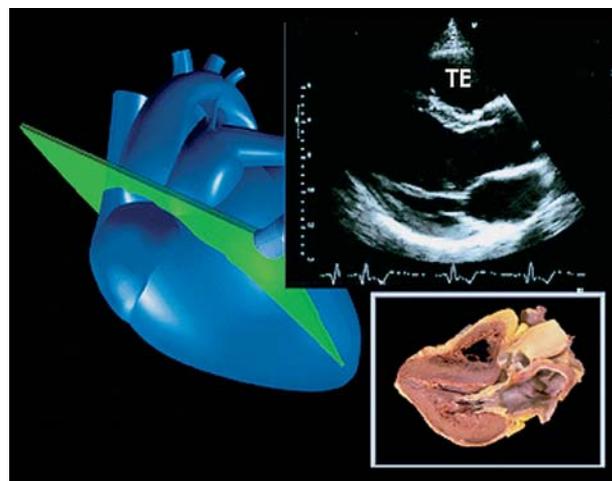


Fig. 3a

Sezione asse lungo parasternale: visione anatomica, piano di sezione ecocardiografia. TE: tratto di efflusso del ventricolo destro.
(NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero).

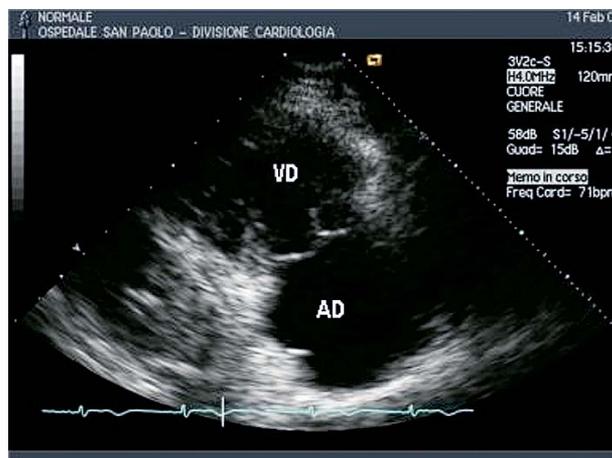


Fig. 3b

Sezione asse lungo sul tratto di afflusso del ventricolo destro. AD: atrio destro. VD: ventricolo destro

del VD. A questo livello è possibile studiare la parete anteriore ed inferiore del VD e i lembi anteriore e posteriore della valvola tricuspide (figura 3b).

Anche le misure ricavabili da questa proiezione appaiono scarsamente affidabili.

- **sezione asse lungo sul tratto di efflusso del VD:** sempre partendo dall'asse lungo parasternale,



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

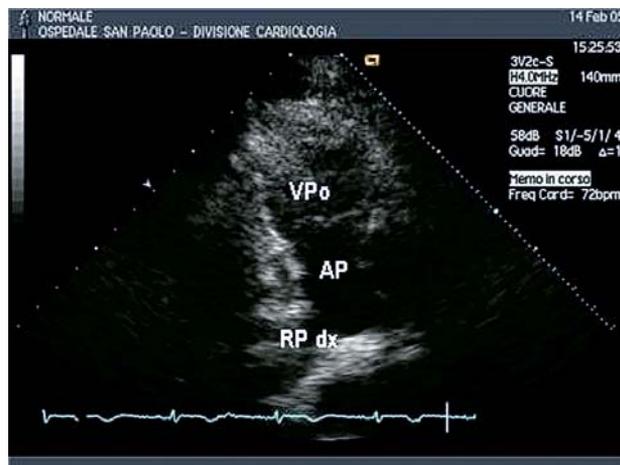


Fig. 3c
Sezione asse lungo sul tratto di efflusso del ventricolo destro.
VPo: valvola polmonare. AP: tronco dell'arteria polmonare.
RPdx: ramo polmonare destro

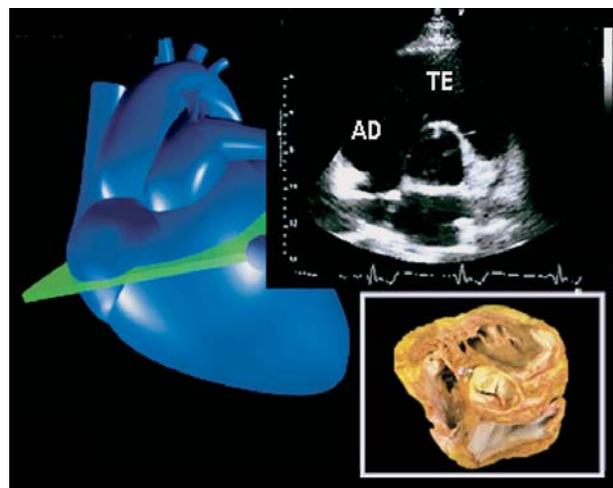


Fig. 4a
Sezione asse corto parasternale a livello della radice aortica: visione anatomica, piano di sezione ecocardiografia. AD: atrio destro. TE: tratto di efflusso del ventricolo destro. NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero)

misure	valori normali
Area telediastolica VD ⁽¹²⁾	19.1 +/- 3.7 cm ²
Diametro trasverso massimo VD ⁽¹³⁾	35.1 +/- 4 mm
Diametro trasverso medio VD ⁽¹³⁾	30.0 +/- 5 mm
Diametro tronco polmonare ⁽⁶⁶⁾	< 30 mm
Diametro anulus polmonare ⁽⁶⁶⁾	9 – 22 mm

Tab. I
Misure bidimensionali del VD e arteria polmonare

dopo essersi spostati in uno spazio intercostale più alto, ruotando e inclinando lateralmente il trasduttore, si ottiene una sezione che esplora la parete anteriore del tratto di efflusso, la valvola polmonare e il tronco della polmonare (figura 3c). A questo livello il fascio degli ultrasuoni è quasi perpendicolare all'arteria polmonare, pertanto tale proiezione può essere utilizzata per la misura dell'anulus e del diametro del tronco polmonare (tabella I).

- **sezione asse corto a livello della radice aortica:** permette la valutazione della parete anteriore del tratto di efflusso del VD (figura 4a)
- **sezioni asse corto a livello della valvola mitralica:** esplora i segmenti più prossimale delle pareti

inferiore, laterale e anteriore del VD.

- **sezioni asse corto a livello dei muscoli papillari:** esplora i segmenti più distali della parete inferiore, laterale e anteriore laterale del VD (figura 4b, figura 4c, figura 7).

Le proiezioni in asse corto condividono il problema

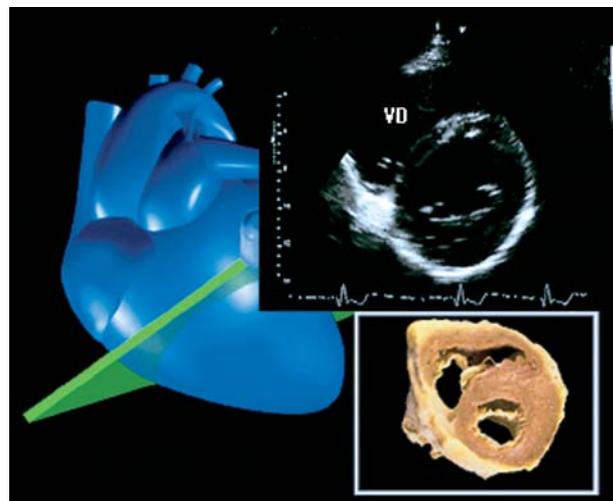


Fig. 4b
Sezione asse corto parasternale a livello della valvola mitralica: visione anatomica, piano di sezione ecocardiografia. VD: ventricolo destro. NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero)



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
 U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

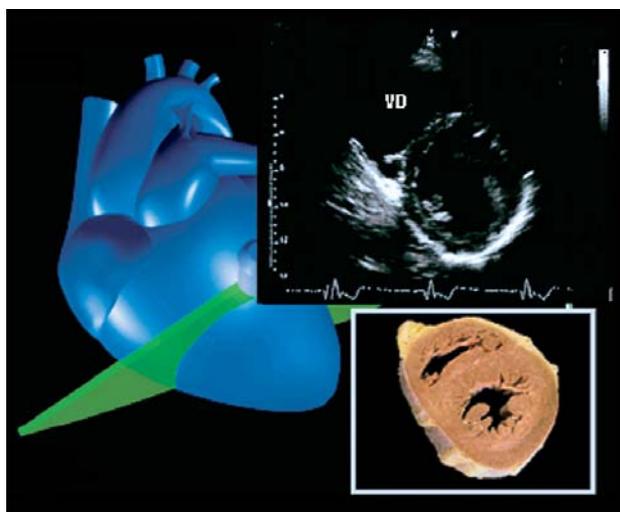


Fig. 4c
 Sezione asse corto parasternale a livello dei m. papillari: visione anatomica, piano di sezione ecocardiografia. VD: ventricolo destro. (NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero)

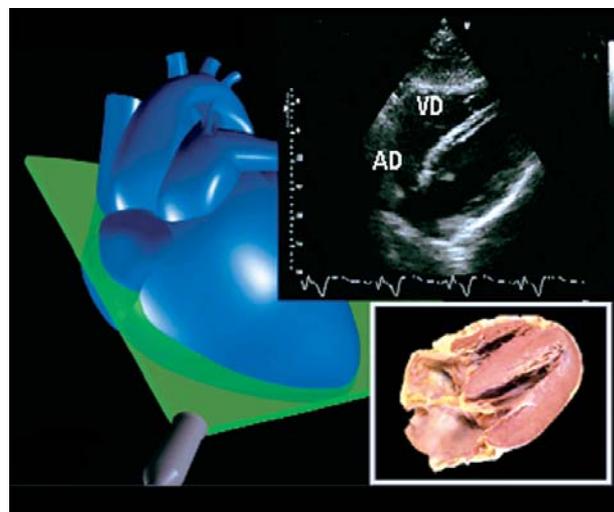


Fig. 6
 Sezione 4 camere sottocostale: visione anatomica, piano di sezione ecocardiografia. AD: atrio destro. VD: ventricolo destro. (NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero)

di una frequente inadeguata visualizzazione della camera ventricolare destra conseguente alla mancanza di punti di repere intracardiaci. Questo limite comporta un orientamento obliquo del fascio ultrasonoro rispetto alle pareti ventricolari destre e quindi una scarsa affidabilità delle misure.

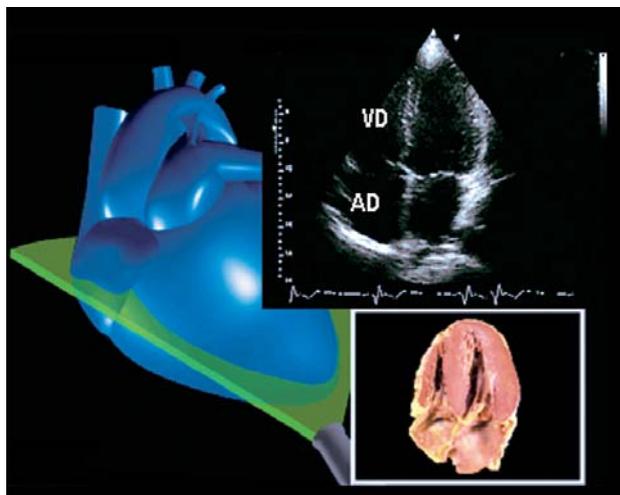


Fig. 5
 Sezione 4 camere apicale: visione anatomica, piano di sezione ecocardiografia. AD: atrio destro. VD: ventricolo destro. (NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero)

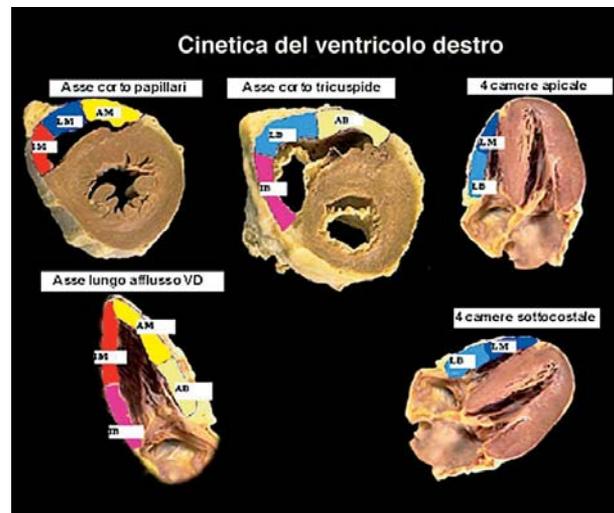


Fig. 7
 Cinesi regionale del ventricolo destro. Blu: parete laterale media. Rosso: parete inferiore media. Giallo: parete anteriore media. Azzurro: parete laterale basale. Rosa: parete inferiore basale. Giallo chiaro: parete anteriore basale. (NB: Preparazione eseguita dal Dr Edgardo Bonacina e dal Dr. Antonio Mantero)

FINESTRA APICALE

- **sezione 4 camere:** in tale proiezione è possibile valutare la cinesi della parete laterale del VD



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

(figura 5) e compiere alcune misurazioni della camera di afflusso: area telediastolica e telesistolica, diametro trasverso massimo e diametro medio-ventricolare (**tabella I**). Queste misure appaiono sufficientemente affidabili anche se la maggiore difficoltà consiste nella corretta visualizzazione dell'endocardio. E' inoltre visualizzato il lembo settale della tricuspide; l'altro lembo tricuspideale, invece, corrisponde o al lembo posteriore o al lembo anteriore, a seconda della reciproca variabile estensione dei due lembi e dal taglio della sezione ecocardiografica.

FINESTRA SOTTOCOSTALE

- **sezione 4 camere:** ampiamente utilizzata al pari della 4 camere apicale; in tale proiezione sono visualizzati: la parete inferiore del VD e i lembi settale e posteriore della tricuspide (figura 6). In questa sezione il fascio degli ultrasuoni è perpendicolare alla parete ventricolare, consentendo una misura attendibile dello spessore di parete: spessori > 5 mm indicano la presenza di ipertrofia ventricolare destra.

CINESI

Non esistono sostanziali differenze nella valutazione ispettiva delle alterazioni della cinesi ventricolare destra e per ipocinesi, acinesi, discinesi e aneurisma si intendono le stesse definizioni abitualmente utilizzate nello studio della cinesi del ventricolo sinistro. Il modello attualmente più utilizzato è quello rappresentato nella figura 7.

STUDIO DELLA FUNZIONE SISTOLICA

Lo studio della funzione sistolica del ventricolo destro presenta notevoli difficoltà aggiuntive rispetto allo studio della funzione sistolica del ventricolo sinistro.

La forma facilmente assimilabile ad un ellissoide del ventricolo sinistro ha consentito di calcolare in modo affidabile, utilizzando sezioni bidimensionali,

le misure dei volumi telediastolico e telesistolico dai quali si ricava la frazione di eiezione.

Sono stati compiuti numerosi tentativi di applicare lo stesso metodo anche alla valutazione della funzione sistolica ventricolare destra. Il limite è sempre stato la forma irregolare del ventricolo. La letteratura è ricca di lavori che descrivono il tentativo di calcolare i volumi del ventricolo destro utilizzando numerosi e differenti metodi e modelli di riferimento geometrico (14 - 17). Tutte le tecniche utilizzate, tuttavia, si sono rivelate non ottimali e di difficile applicazione clinica per le complesse assunzioni geometriche richieste (18).

Più recentemente l'avvento dell'ecocardiografia tridimensionale ha permesso di superare tali limitazioni, rendendo disponibile una metodica di calcolo dei volumi e della frazione di eiezione attendibile e che correla ottimamente con le rispettive misurazioni ottenute con risonanza magnetica nucleare (1; 19-21). Essa tuttavia è ancora una tecnica di limitata disponibilità e diffusione, con ruolo prevalentemente ancora riservato alla ricerca clinica.

In attesa di poter disporre di questa o analoga tecnologia che semplifichi il problema, l'obiettivo principale sembra quello di calcolare indici di funzione sistolica che rispondano a due requisiti metodologici fondamentali: semplicità di esecuzione e soddisfacente correlazione con i gold standard. Le due metodiche attualmente ritenute "gold standard" per la valutazione della funzione ventricolare destra sono la risonanza magnetica nucleare (22) e calcolo della FE mediante metodiche scintigrafiche (23).

I valori di riferimento di normalità sono riportati in tabella II.

Indici ecocardiografici

Gli indici attualmente maggiormente affidabili hanno l'indubbio pregio della semplicità.

- **Escursione sistolica dell'anello tricuspideale (TAPSE: tricuspid anular plane systolic excursion)** Durante la sistole ventricolare il piano valvolare tricuspideale, in conseguenza della contrazione longitudinale delle fibre miocardiche, si



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

	Valori normali	Valori patologici (disfunzione VD)
TAPSE (mm)	22 +/- 0.4 ⁽¹⁾	< 15 ^(11,31)
ACC % Area (%)	41.5 +/- 1.2 ⁽²³⁾	18.1 +/- 1.4 ⁽²³⁾ 28.9 +/- 3.3 ⁽²⁹⁾ 19.7 +/- 6.5 ⁽²⁴⁾
ACC % TE (%)	61 +/- 13 ⁽²⁷⁾	37 +/- 18 ⁽²⁷⁾
IPM (Tei-index)	0.28 +/- 0.04 ⁽³³⁾	0.93 +/- 0.34 ⁽³³⁾ 0.84 +/- 0.20 ⁽²⁾ 0.51 +/- 0.23 ⁽²⁸⁾
dP/dt (mmHg/sec)	220-290 ⁽⁴¹⁾	

Tab. II

Misure ECO di funzione sistolica del VD e indici di funzione Doppler.

sposta verso l'apice ventricolare. E' stato dimostrato che la misura di questo spostamento, eseguita con tecnica M-Mode in 4 camere apicale, correla molto bene con la frazione di eiezione calcolata mediante tecnica scintigrafica (24) e con cateterismo cardiaco destro (25). La tecnica prevede il posizionamento del cursore dell' M-mode, mediante tecnica B-Mode, in corrispondenza della porzione laterale dell'anulus. In questo modo si ottiene un tracciato dal quale molto semplicemente si misura l'entità dell'escursione sistolica (figura 8). Numerosi studi hanno dimostrato l'ottima correlazione del TAPSE con altri indici di funzione sistolica ventricolare destra (8,10,26) e il suo valore prognostico (7). I vantaggi di questo indice, oltre alla estrema semplicità di misurazione, sono conseguenti alla mancanza di assunzioni geometriche e alla possibilità di ottenerlo anche in presenza di immagini ecocardiografiche non ottimali. Normalmente l'anello tricuspide si sposta verso l'apice di circa 2 cm in sistole. Il limite inferiore della norma è 1,5 cm, limite che indica una riduzione della funzione sistolica globale del ventricolo destro.

- **Accorciamento frazionale dell'area** E' un semplice indice ottenuto mediante misura dell'area

telediastolica e telesistolica ventricolare destra in sezione 4 camere apicale. E' definito come:

$$\text{Area td} - \text{Area ts} / \text{Area td} \times 100.$$

Dimostra una buona correlazione con la frazione di eiezione calcolata con metodica scintigrafica (24,27,28) e con cateterismo cardiaco dx (25). E' limitato dalla necessità di avere una buona visualizzazione dell'endocardio parietale.

- **Accorciamento frazionale del tratto di efflusso** A partire dalla sezione asse corto

sulla radice aortica, si registra l'M-mode del tratto di efflusso. La tecnica prevede un orientamento del fascio esplorante perpendicolare alla parete. Si ottengono così il diametro telediastolico (Dtd) e telesistolico (Dts) del tratto di efflusso e la frazione di accorciamento definita come:

$$\text{Dtd} - \text{Dts} / \text{Dtd} \times 100.$$

E' un indice tecnicamente semplice e ottenibile nella maggior parte dei pazienti. Benchè correli bene con altri indici di funzione sistolica globale, quali TAPSE (29), è intuitivo che esprima propriamente la funzione sistolica regionale della camera di efflusso.

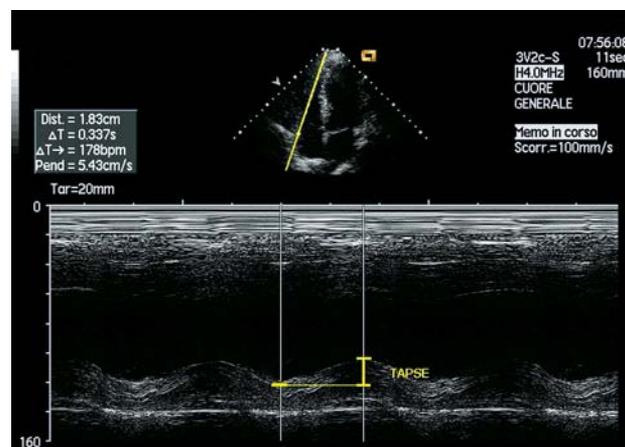


Fig. 8

TAPSE (tricuspid anular plane systolic excursion): escursione sistolica dell'anello tricuspide. Misurazione secondo tecnica M-mode



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

VALUTAZIONE DELLE PRESSIONI ENDOCAVITARIE

Stima della pressione in arteria polmonare (PAP)

La stima della PAP viene abitualmente ricavata utilizzando la velocimetria del flusso di rigurgito tricuspide; esiste anche un altro metodo, meno utilizzato, che si avvale della velocimetria del flusso di rigurgito polmonare.

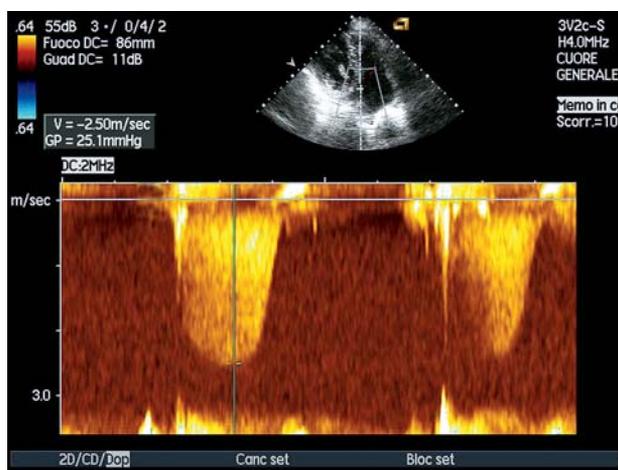


Fig. 9
Profilo doppler ad onda continua del rigurgito tricuspide: misura della velocità di picco e del gradiente pressorio ventricolo-atriale destro.

esempio A (66)

Dimensioni CVI	Collasso inspiratorio	Stima della PAD (mmHg)
Piccola (< 15 mm)	> 50%	0 - 5
Normale (15-25 mm)	> 50%	5 - 10
Normale	< 50%	10 - 15
Dilatata (> 25 mm)	< 50%	15 - 20
Dilatata	assente	> 20

esempio B (72)

VCI	Stima della PAD
collasso > 45%	6 mmHg
35% < collasso < 45%	9 mmHg
collasso < 45%	16 mmHg

Tab. V

Stima della pressione atriale destra mediante valutazione delle dimensioni e del collasso inspiratorio della vena cava inferiore (VCI): esempio A⁽⁶⁶⁾ esempio B⁽⁷²⁾

Questi metodi costituiscono la più diffusa applicazione dell'ecocardiografia allo studio del ventricolo destro, anche se la relazione tra funzione ventricolare dx e stima della pressione in arteria polmonare è complessa e non ancora del tutto chiarita (1, 30)

Rigurgito tricuspide

La misura della velocità di picco del jet di rigurgito tricuspide (V_{RT}) ottenuto mediante doppler ad onda continua, è il metodo più utilizzato per la stima della PAP sistolica.

Il metodo prevede la misurazione della V_{TR} che riflette il gradiente di pressione tra ventricolo ed atrio dx (dP_{VA}) che viene calcolato mediante l'equazione di Bernouilli semplificata:

$$dP_{VA} = 4 (V_{RT})^2 \quad (\text{figura 9})$$

Il passo successivo consiste nella stima della pressione in atrio destro. Vari metodi sono stati proposti in letteratura (31). Il metodo che ci sembra attualmente più affidabile è quello della visualizzazione della vena cava inferiore dalla 4 camere sottocostale e della misura del diametro e della collassabilità in fase inspiratoria. È stata dimostrata una elevata attendibilità negli studi di confronto con le misurazioni invasive ottenute mediante cateterismo ventricolare destro. In **tabella V** sono riportati due esempi di stima della PAD mediante valutazione della vena cava inferiore (32-35).

La PAPs, dopo aver escluso la presenza di ostacoli all'efflusso ventricolare destro, viene quindi stimata aggiungendo al valore del gradiente ventricolo destro-atrio destro la pressione dell'atrio destro secondo la formula:

$$PAP_{\text{sis}} = dP_{VA} + PAD$$

E' stata ampiamente dimostrata l'affidabilità della stima della PAPs utilizzando il metodo descritto con dei contributi che hanno confrontato la misurazione non invasiva con quella invasiva ottenuta con cateterismo cardiaco (30,32,36) .

Tre sono i punti critici:



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

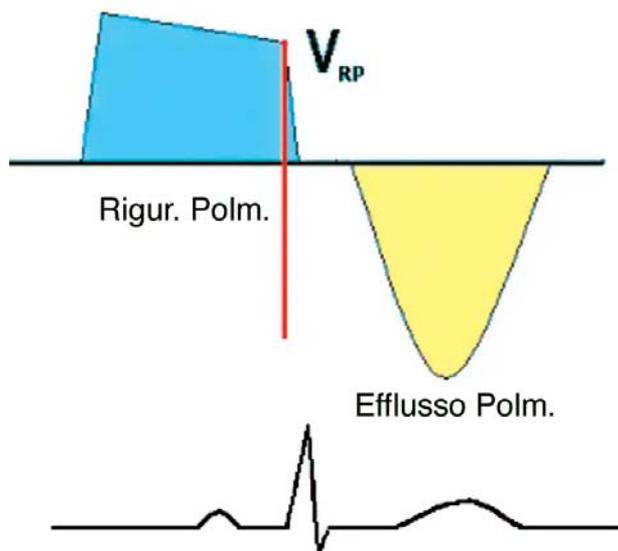


Fig. 10
Rappresentazione schematica del flusso di rigurgito polmonare: misura della velocità telediastolica di rigurgito (V_{RP})

- la necessità della presenza di un rigurgito tricuspideale, senza il quale la stima della PAP_{sist} non è effettuabile;
- la necessità di ottenere un allineamento il più possibile parallelo tra la direzione del rigurgito e l'orientamento del fascio ultrasonoro, al fine di ottimizzare la misura della velocità di picco. A tale proposito è importante cercare il jet di rigurgito al color-doppler in tutte le sezioni eco disponibili, al fine di scegliere quella in cui migliore è l'allineamento;
- la precisione della stima della PAD. È evidente che una stima non corretta dei valori medi di pressione atriale destra può portare ad una significativa sotto/sovra stima dei valori di PAP_{sist} .

Rigurgito polmonare

A partire dal profilo di flusso di rigurgito al doppler continuo registrato in corrispondenza della valvola polmonare, in asse corto parasternale, è possibile misurare la velocità telediastolica di rigurgito pol-

monare (V_{RP}) e da essa calcolare il gradiente di pressione tra arteria polmonare e ventricolo destro alla fine della diastole (dP_{AP-VD}), secondo l'equazione:

$$dP_{AP-VD} = 4 (V_{RP})^2 \text{ (figura 10)}$$

Aggiungendo a tale valore la stima della PAD è possibile ottenere una stima non invasiva della pressione polmonare diastolica (PAP_{diast}) (32,37):

$$PAP_{diast} = dP_{AP-VD} + PAD$$

Flusso sistolico polmonare

Gli intervalli di tempo sistolici del ventricolo destro (tempo di eiezione TE, periodo pre-eiettivo PPE, tempo di accelerazione TAc, tempo di decelerazione TDc) derivati dall'analisi delle velocità di flusso sistolico polmonare registrate, mediante doppler pulsato, a livello del tratto di efflusso VD, sono stati ampiamente studiati nei pazienti con ipertensione polmonare (30,38,39) (figura 11).

Il tempo di accelerazione ed il rapporto TAc/TE hanno dimostrato una buona correlazione con i valori di **pressione polmonare media** (PAP_{media}) (30,38-41).

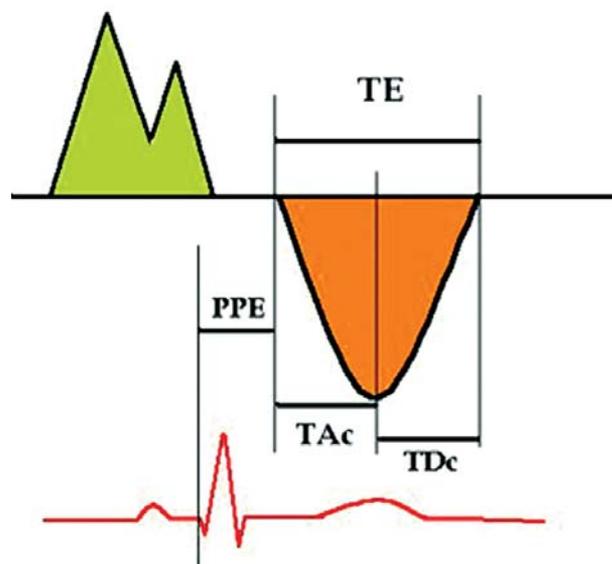


Fig 11
Flusso sistolico polmonare: intervalli di tempo sistolici. TE: tempo di eiezione. PPE: periodo pre-eiettivo. TAc: tempo di accelerazione del flusso. TDc: tempo di decelerazione del flusso



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

Il tempo di accelerazione è l'intervallo compreso tra l'inizio e il picco di velocità del flusso polmonare sistolico (figura 11). I Valori normali sono ≥ 130 msec (41).

È stato infatti osservato che l'aumento dei valori di pressione polmonare si correla ad una tendenza alla riduzione del TAc; i valori di TAc < 90 msec identificano pazienti con valori di $PAP_{media} > 20-25$ mmHg (38,41).

I limiti risiedono nell'influenza di numerosi fattori che possono modificare la durata del TAc indipendentemente dai valori di PAP_{media} .

Tra questi sono stati segnalati l'aumento del volume di flusso polmonare, la severa disfunzione ventricolare destra, la ridotta elasticità della parete arteriosa polmonare che prolungano la durata del TAc e l'aumento della frequenza cardiaca che riduce la durata del TAc (30,40,42). Per l'esistenza di questi limiti appare corretto ritenere che l'analisi del profilo di flusso sistolico polmonare fornisce informazioni utili sulla presenza di sovraccarico pressorio ventricolare destro, ma non permette una stima quantitativa dei valori di PAP.

INDICI DI FUNZIONE DOPPLER

Dallo studio Doppler sono ricavabili degli indici "generali" di funzione del ventricolo destro. I valori di riferimento di normalità sono riportati in tabella II.

- **Indice di "performance" miocardica (IPM - Tei index)** E' un indice di valutazione della funzione globale ventricolare inizialmente descritto da Tei per il ventricolo sinistro(43) e successivamente applicato con successo alla stima della funzione ventricolare destra. Esprime il rapporto tra la somma dei tempi di contrazione e di rilasciamento isovolumetrico (TCI+TRI) e il tempo di eiezione ventricolare destra (TE) (figura 12).

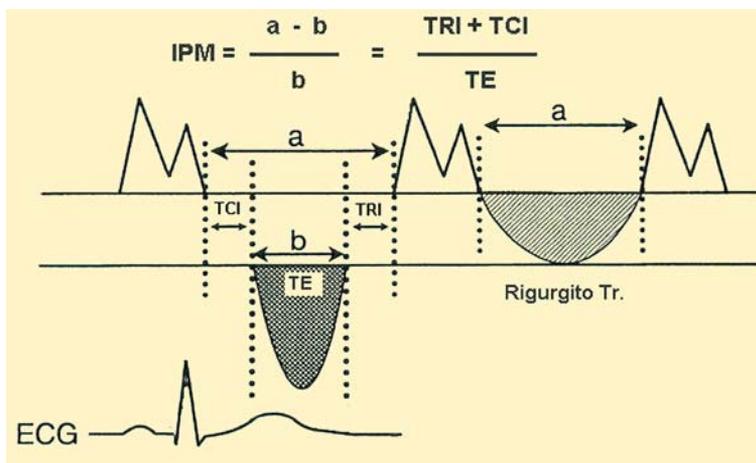


Fig. 12

Calcolo dell'indice di performance miocardica (IPM) o Tei index, applicato al ventricolo destro. TE: tempo di eiezione ventricolare destra. TCI: tempo di contrazione isovolumetrica. TRI: tempo di rilasciamento isovolumetrico.

Per calcolare l'indice di Tei è necessario ricorrere allo studio velocimetrico in due diverse proiezioni: la 4 camere apicale e l'asse lungo sul tratto di efflusso. In entrambe le proiezioni è consigliabile registrare più battiti al duplice scopo di poter scegliere la sequenza meglio definita e di poter fare la media di più registrazioni attendibili.

In 4 camere apicale, utilizzando il Doppler pulsato, si registra il profilo delle velocità di afflusso tricuspide, posizionando il volume campione all'apice dei lembi tricuspideali. Questa proiezione consente di valutare il tempo "a", intervallo di tempo compreso tra la fine e l'inizio del flusso tricuspide. Sul tratto di efflusso del ventricolo destro si registra il profilo delle velocità di efflusso ventricolare destro, posizionando il volume campione appena al di sotto della valvola polmonare. Questa proiezione consente di valutare il tempo "b", tempo di eiezione.

La somma dei tempi di contrazione e rilasciamento isovolumetrico è dato dalla differenza tra il tempo "a" ed il tempo "b".

A questo punto è possibile calcolare l'Indice di performance miocardica del ventricolo destro secondo la formula:



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

$$\frac{TCI+TRI}{TE} = \frac{a-b}{b}$$

In presenza di rigurgito tricuspide il tempo "a" può essere facilmente calcolato come durata del rigurgito tricuspide. L'aumento dell' IMP è espressione di una disfunzione globale ventricolare destra; l'indice cresce se aumenta la durata dei tempi di contrazione e rilasciamento isovolumetrici che sono, rispettivamente, l'espressione della disfunzione sistolica e diastolica ventricolare destra.

L'affidabilità e utilità clinica dell'IPM e la sua rilevanza prognostica sono state validate in numerose condizioni patologiche: ipertensione polmonare (2,44,45); tromboembolia polmonare (46); malattie polmonari croniche (47,48); infarto miocardico (49,50); cardiopatie congenite (51,52).

Oltre a questa dimostrata utilità clinica l'IMP, essendo un indice ricavabile con tecnica Doppler, ha il non trascurabile vantaggio di essere facilmente calcolabile anche in presenza di immagini di cattiva qualità e di non dipendere dalla geometria della camera ventricolare.

Il limite è rappresentato dalla perdita di affidabilità in presenza di aritmie e blocchi AV (1).

Incremento della pressione ventricolare destra (dP/dt)

Analogamente a quanto già noto per il ventricolo sinistro, in cui il dP / dt calcolato sul profilo di flusso del rigurgito mitralico è uno degli indici di funzione ventricolare, vi sono alcuni dati clinici e sperimentali (53,54) sulla correlazione tra l'incremento di pressione ventricolare destra nell'unità di tempo in protosistole, (dP/dt) e la contrattilità del miocardio ventricolare destro.

Per calcolare questo indice è necessario registrare una ottimale velocimetria del rigurgito tricuspide

spidale dalla proiezione 4 camere apicale con la massima velocità di scorrimento possibile della traccia sul monitor. Si calcola quindi il tempo necessario per passare da una velocità di 0.5 m/sec a una velocità di 1.5 m/sec (dt). Il passaggio da 0.5 m/sec a 1.5 m/sec equivale, secondo l'equazione di Bernouille semplificata, ad un incremento di pressione di 8 mm Hg (dP) (figura 13).

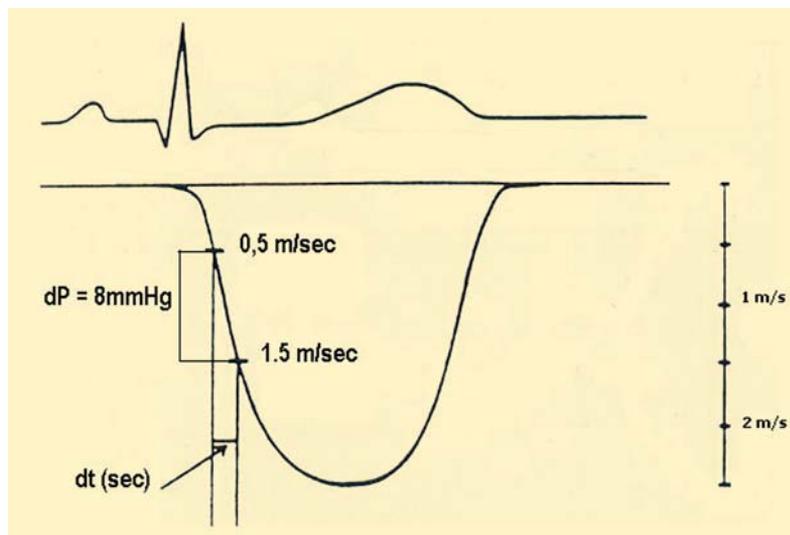


Fig. 13
Incremento della pressione ventricolare destra nell'unità di tempo:
dP / dt

Il valore di dP/dt correla positivamente con gli indici ecocardiografici di funzione ventricolare destra (53), ma la sua misura è influenzata dai valori di pressione in arteria polmonare e dalla frequenza cardiaca.

STUDIO DELLA FUNZIONE DIASTOLICA

Analogamente a quanto avviene per il ventricolo sinistro, anche la valutazione della funzione diastolica ventricolare destra è basata sull'analisi dei parametri di riempimento ventricolare ottenuti dal pro-



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

filo delle velocità di flusso diastolico attraverso la valvola tricuspide registrato mediante doppler pulsato, con volume campione posizionato in corrispondenza del margine dei lembi tricuspidalici in sezione 4 camere apicale o asse corto parasternale. (1,55)

Le variabili analizzate includono:

- **picco E** di velocità di riempimento ventricolare protodiastolico
- **picco A** di velocità di riempimento ventricolare telediastolico dovuto alla contrazione atriale
- **rapporto E/A**
- **tempo di decelerazione dell'onda E (TD_E)**. Questo indice viene calcolato prolungando idealmente la fase discendente dell'onda E fino alla linea di base. Il TD_E è il tempo che va dall'apice dell'onda E al punto di intersezione immaginario con la linea di base.
- **tempo di rilasciamento isovolumetrico (TRI)** definito come il tempo compreso tra la chiusura della valvola polmonare e l'apertura della valvola tricuspide.

Per la rilevazione di questo indice si deve disporre di una traccia elettrocardiografica ottimale e delle stesse proiezioni utilizzate per il calcolo dell'IPM.

Il tempo di rilasciamento isovolumetrico viene calcolato con la seguente formula: $RT - RP = TRI$.

RT viene definito come l'intervallo di tempo compreso tra l'onda R dell'ECG e l'inizio del flusso tricuspidalico, mentre RP come l'intervallo di tempo compreso tra l'onda R dell'ECG e la fine del flusso polmonare (55) (figura 14).

Nel pattern normale di afflusso tricuspidalico le velocità di picco E e picco A sono più basse delle rispettive velocità di afflusso mitralico, e il tempo di decelerazione dell'onda E (TD_E) è più lungo del TD_E mitralico (per i

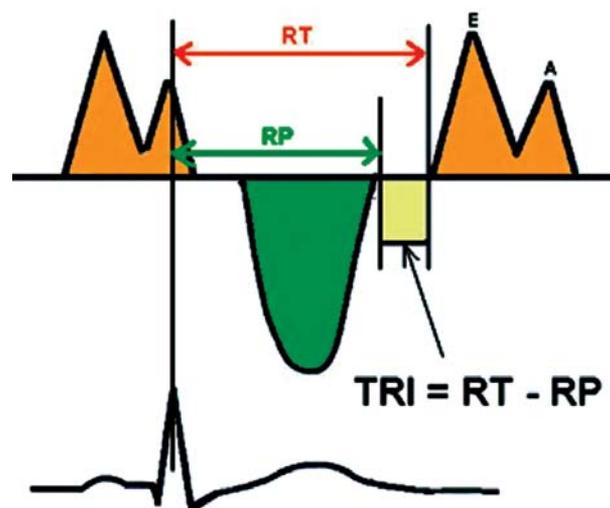


Fig. 14

Parametri di riempimento ventricolare destro ottenuti dal profilo di flusso diastolico attraverso la valvola tricuspide. E: velocità di riempimento ventricolare protodiastolico. A: velocità di riempimento telediastolico dovuto alla contrazione atriale. RT: intervallo di tempo compreso tra onda R dell'ECG e inizio del flusso tricuspidalico. RP: intervallo di tempo compreso tra onda R dell'ECG e fine del flusso polmonare.

valori normali e patologici dei parametri di riempimento ventricolare destro vedi (tabella III).

I parametri di riempimento ventricolare destro sono influenzati dall'età (56-59) (con una tendenza alla

	Valori normali	Valori patologici (disfunzione VD)
rapporto E/A	1.2 +/- 0.2 ^(43, 49, 50)	< 1 ^(43, 49, 53)
TD _E (msec)	140 +/- 10 ⁽⁴³⁾ 187 +/- 7 ⁽⁵⁵⁾	220 +/- 40 ⁽⁴³⁾ 210 +/- 20 ⁽⁵⁰⁾ 220 +/- 10 ⁽⁵⁵⁾ *155 +/- 5 ⁽⁵⁵⁾
IRT (msec)	30 +/- 10 ^(43, 49, 50)	70 +/- 20 ^(43, 50) 116 +/- 73 ⁽⁴⁹⁾ 170 +/- 72 ⁽⁵¹⁾
Flusso vena epatica : IVT _A / IVT _S + IVT _D	0.14 +/- 0.06 ⁽⁵⁸⁾	0.34 +/- 0.22 ⁽⁵⁸⁾

Tab. III

Misure ECO di funzione diastolica del VD (*pattern restrittivo)



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

riduzione del rapporto E/A con l'avanzare dell'età), dalla frequenza cardiaca (56,57) e mostrano un'ampia variabilità con gli atti respiratori (44-46, 48).

L'aumentato ritorno venoso al cuore (inspirazione) provoca un significativo aumento delle velocità di riempimento ventricolare destro e del rapporto E/A, e una riduzione del TD_E . Per questa ragione è importante standardizzare le misurazioni con il ciclo respiratorio.

Sono stati descritti due pattern di disfunzione ventricolare destra:

- **alterato rilasciamento** (55,61-66): caratterizzato da inversione del rapporto E/A ($E/A < 1$), prolungato tempo di rilasciamento (TRI) ed aumentato tempo di decelerazione dell'onda E (TD_E)
- **pattern di tipo restrittivo** (67,68) caratterizzato da un ridotto TD_E , segno di aumentate pressioni di riempimento ventricolare destro.

Le alterazioni della funzione diastolica ventricolare destra insorgono tipicamente in presenza di ipertensione polmonare di qualunque origine (1, 65), ma possono anche essere espressione della interdipendenza ventricolare, in cui, la presenza di disfunzione diastolica ventricolare sinistra condiziona la comparsa di alterata funzione ventricolare destra (68) anche in assenza di ipertensione polmonare.

Ulteriori informazioni sulla funzione diastolica ventricolare destra possono essere fornite dallo studio del riempimento atriale destro, mediante registrazione, al doppler pulsato, del profilo delle velocità di **flusso venoso in vena epatica centrale e/o in vena cava superiore**.

La valutazione del profilo di flusso in vena epatica è quello più usualmente utilizzato. Si tratta di un flus-

Flusso vena epatica

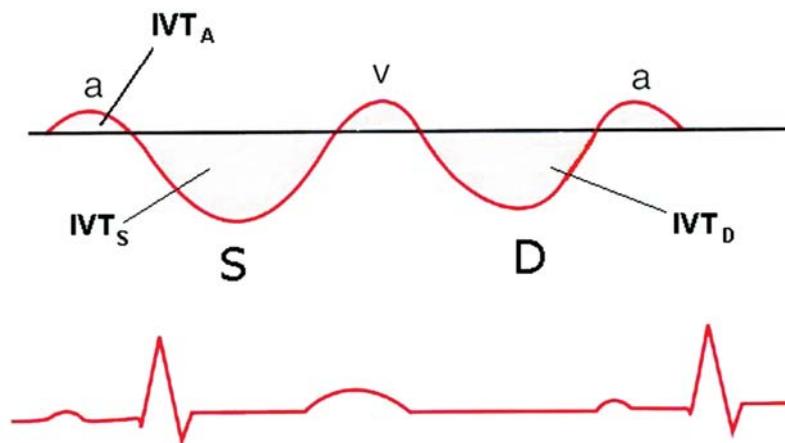


Fig. 15

Profilo di flusso in vena epatica. S: flusso sistolico. D: flusso diastolico. a: flusso retrogrado dovuto alla contrazione atriale. v: flusso retrogrado telesistolico. IVT_A , IVT_S , IVT_D : integrale velocità/tempo rispettivamente delle onde a, S, D.

so bifasico caratterizzato da (69): (figura 15)

- velocità di flusso sistolico (onda S)
- velocità di flusso diastolico (onda D), con $S > D$
- velocità di flusso retrogrado dovuto alla contrazione atriale (onda A)
- piccola velocità di flusso retrogrado telesistolica (onda V), che è assente nel profilo di flusso in vena cava superiore

Da questi parametri è possibile calcolare l'integrale velocità/tempo delle onde S, D, A (IVT_A) (IVT_S) (IVT_D) e un indice definito dal rapporto: $IVT_A / (IVT_S + IVT_D)$

In pazienti affetti da scompenso cardiaco congestivo è stato dimostrato (70) come la presenza di elevate pressioni atriali destre ($PAD > 8$ mmHg) si accompagni a significativo aumento della velocità D (con $D > S$), mentre in pazienti affetti da ipertensione polmonare (71) si assiste ad un incremen-



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia - Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo - Università degli Studi di Milano

to della velocità A e del rapporto $IVT_A / (IVT_S + IVT_D)$ rispetto ai controlli sani.

RECENTI ACQUISIZIONI

Lo sviluppo delle tecniche di immagine ecocardiografiche ha reso disponibili ulteriori e più sofisticate

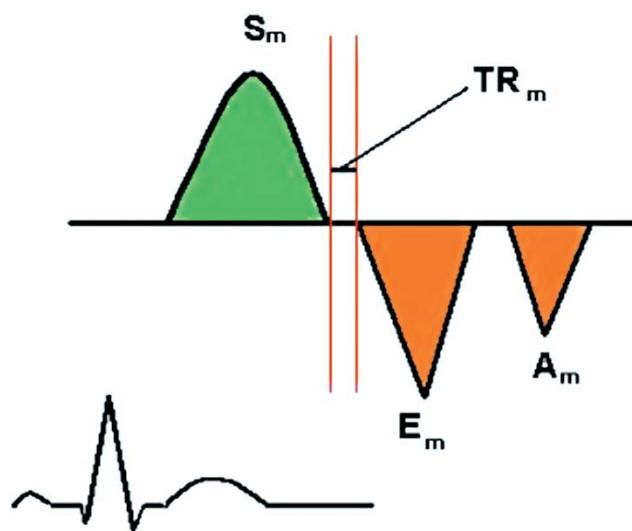


Fig. 16
Doppler tessutale (DTI) dell'anello tricuspide laterale. S_m : velocità sistolica. E_m : velocità diastolica precoce. A_m : velocità diastolica successiva alla contrazione atriale. TR_m : tempo di rilasciamento.

ti metodi di valutazione della funzione globale ventricolare destra (doppler tessutale, color kinesis, automated border detection) (1). Tra questi, particolare attenzione merita:

Doppler tessutale (DTI = Doppler tissue imaging)

Il Doppler tessutale rappresenta un recente sviluppo dell'ecocardiografia che estende l'applicazione del principio Doppler dalla misura delle velocità di flusso intracardiaco alla misura delle velocità di movimento tessutale, mediante opportune modifiche dei filtri, della scala di velocità e del guadagno (72).

La valutazione quantitativa del movimento tessutale miocardico (mediante misura delle velocità di picco e degli intervalli di tempo sistolici e diastolici) offerta dal DTI fornisce preziose informazioni sulla funzione sistolica e diastolica ventricolare sinistra e destra.

Il DTI del ventricolo destro (DTI-VD) è ottenuto, a partire dalla sezione 4 camere apicale, posizionando il volume campione a livello della porzione laterale dell'anulus tricuspide.

Il profilo normale del DTI-VD è caratterizzato da una velocità sistolica (S_m) e da due velocità diastoliche: precoce (E_m) e successiva alla contrazione atriale (A_m), come mostrato in (figura 16). Gli indici che si sono dimostrati utili nel valutare la funzione sistolica e diastolica ventricolare dx sono:

- velocità di picco S_m
- velocità di picco E_m e A_m
- rapporto E_m / A_m
- tempo di rilasciamento miocardico (TR_m)

In tabella IV sono riportati i valori di normalità e patologici riscontrati in letteratura.

Nello scompenso cardiaco congestizio (73) è stato dimostrato che una riduzione della velocità di picco S_m è segno di disfunzione sistolica ventricolare destra, mostrando una stretta correlazione con la misura della frazione di eiezione calcolata mediante tecnica scintigrafica (vel.picco $S_m < 11,5$ cm/sec

	Valori normali	Valori patologici (disfunzione VD)
S_m (cm/sec)	18 +/- 4 ⁽⁶²⁾ 15.5 +/- 2.6 ⁽¹⁾	< 11.5 ⁽⁶⁰⁾
E_m (cm/sec)	18 +/- 4 ⁽⁶²⁾ 15.6 +/- 4 ⁽¹⁾	
A_m (cm/sec)	15.4 +/- 4.5 ⁽¹⁾	
Rapporto E_m / A_m	≥ 1 ^(60,62,63)	< 1 ⁽⁶⁰⁻⁶³⁾
TR_m	19.36 +/- 12.85 ⁽⁶²⁾	71.07 +/- 36.14 ⁽⁶²⁾ 105.67 +/- 39.53 ⁽⁶²⁾ 120.3 +/- 36.1 ⁽⁶³⁾

Tab. IV
Doppler tessutale.



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

correla con FE < 45%), e possiede un importante valore prognostico negativo (74).

In pazienti affetti da malattie polmonari croniche (75), cardiomiopatia ipertrofica (76) ed ipertensione arteriosa (73), un rapporto $E_m / A_m < 1$ e un prolungato tempo di rilasciamento TR_m sono indici precoci di disfunzione diastolica ventricolare destra.

CONCLUSIONE

Il ventricolo destro (VD) è una struttura di forma ed architettura complessa, situata in una posizione anatomica che rende molto arduo il compito del cardiologo ecocardiografista che deve cercare di offrire al clinico elementi strumentali aggiuntivi per la migliore definizione diagnostica di ogni singolo caso.

A queste difficoltà iniziali si aggiunge la coesistenza molto frequente di una patologia polmonare che ostacola l'indagine con ultrasuoni.

Nonostante queste indubbe difficoltà i dati presenti in letteratura dimostrano come questo compito sia difficile ma non impossibile.

Il prerequisito fondamentale deve essere però la convinzione che non esiste nel cuore solo il ventricolo sinistro e che è indispensabile percorrere, nello studio del ventricolo destro, lo stesso cammino di training che ogni cardiologo ecocardiografista ha percorso per apprendere le modalità di studio del ventricolo sinistro.

Solo con esami di elevata qualità sarà possibile vincere lo scetticismo che ancora molti clinici mantengono sulla attendibilità delle valutazioni funzionali e delle stime emodinamiche ottenute con tecnica ecocardiografica.

BIBLIOGRAFIA

- Burgess M.I, Bright-Thomas R.J., Ray S.G. Echocardiographic evaluation of right ventricular function. *Eur.J.Echocardiography* 2002; 3: 252-262
- Yeo T., Dujardin K.S., Tei C. et al. Value of a Doppler – derived index combining systolic and diastolic time intervals in predicting outcome in primary pulmonary Hypertension. *Am.J.Cardiol.* 1998; 81: 1157-1161
- Ribeiro A., Lindmarker P., Juhlin-Dannfelt A. et al. Echocardiography Doppler in pulmonary embolism: right ventricular dysfunction as a predictor of mortality rate. *Am.Heart J.* 1997; 134: 479-487
- Lualdi JC, Goldhaber SZ Right ventricular dysfunction after acute pulmonary embolism: pathophysiologic factors, detection and therapeutic implications. *Am.Heart J.* 1995 Dec; 130(6): 1276-82
- Pepi M. Tamborini G. Studio eco-Doppler del ventricolo destro nel paziente con scompenso cardiaco cronico. *Ital.Heart J. Suppl.* 2000; 1 (10): 1304-1310
- Vinay Thohan Prognostic implications of echocardiography in advanced heart failure *Curr.Opin.Cardiol.* 2004; 19: 238-249
- Bassem A.S., Mahbulbul A., Jensen-Urstad K. Prognostic impact of right ventricular involvement as assessed by tricuspid anular motion in patients with acute myocardial infarction *Am. J.Cardiol.* 2002 Oct.; 90: 778-781
- Altmann K. Printz BF, Solowiejczyk D.E. et al. Two-dimensional echocardiographic assessment of right ventricular function as a predictor of outcome in Hypoplastic Left Heart Syndrome *Am.J.Cardiol.* 2000 Nov; 86: 964-968
- Faletta FF. Quaderni di ecocardiografia clinica: le sezioni ecocardiografiche. ERA Edizioni Giugno 2003
- Lindstrom L. Wilkenshoff U.M., et al. Echocardiographic assessment of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy *Heart* 2001; 86: 31-38
- Feigenbaum H. *Echocardiography* 5th ed. Philadelphia: Lea&Febiger, 1994
- Badano L. Nicolosi G.L. Funzione ventricolare sistolica in G.L. Nicolosi: Trattato di ecocardiografia clinica, Piccin ed. 1999, 644-668
- Triulzi M. Normal cross-sectional echocardiographic measurements, in A. Weyman's Principles of Echocardiography, 1994, 1289-1298
- Vitolo E., Castini D., Colombo A. et al. Two-dimensional echocardiographic evaluation of right ventricular ejection fraction: comparison between three different methods. *Acta Cardiol.* 1988; 43: 469-480
- Denslow S., Wiles HB. Right ventricular volumes revisited: a simple model and simple formula for echocardiographic determination. *J. Am.Soc.Echocardiogr.* 1998; 11: 864-873
- Levine RA, Gibson TC, Aretz T. et al. Echocardiographic



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

- measurement of right ventricular volume.
Circulation 1984; 69: 497-505
17. Tomita M. et al Estimation of right ventricular volume by modified echocardiographic subtraction mod.
Am.Heart J. 1992; 123: 1011
 18. Helbing W.A., Bosch HG, Maliepaard C. et al. Comparison of echocardiographic methods with magnetic resonance imaging for assessment of right ventricular function in children.
Am.J.Cardiol. 1995; 76: 589-594
 19. Ota T., Fleishman CE., Strub M. et al. Real-time three-dimensional echocardiography : feasibility of dynamic right ventricular volume measurement with saline contrast.
Am.Heart J. 1999; 137: 958-966
 20. Shindera S.T., Mehwald P.S., Sahn DJ et al. Accuracy of real-time three-dimensional echocardiography for quantifying right ventricular volume. *J.Ultrasound Med.* 2002; 21: 1069-1075
 21. Jiang L. et al. Three-dimensional echocardiography : vivo validation for right ventricular volume and function.
Circulation 1994; 89: 2342-2350
 22. Suzuki J et al. Assessment of right ventricular diastolic and systolic function in patients with dilated cardiomyopathy using cine magnetic resonance imaging.
Am.Heart J. 1991; 122: 1035-1040
 23. Shulman D et al. Assessment of the right ventricle with radionuclide techniques. *J.Nucl.Cardiol.* 1996; 3: 253-264
 24. Kaul S. Tei C., Hopkins J.M. et al. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography.
Am.Heart J. 1984; 107: 526-531
 25. Ghio S. Raineri C., Racusani F. et al. Usefulness and limits of transthoracic echocardiography in the evaluation of patients with primary and chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2002 Nov; 15(11): 1374-80
 26. Miller D. Michel G.F., Liner A. et al. The relation between quantitative right ventricular ejection fraction and indices of tricuspid annular motion and myocardial performance.
J.Am.Soc.Echocardiogr 2004; 17: 443-447
 27. Hinderliter AL, Willis PW, Barst RJ, et al. Effects of long-term infusion of prostacyclin (epoprostenol) echocardiographic measures of right ventricular structure and function in primary pulmonary hypertension.
Circulation 1998 Mar 18; 95 (6): 1479-86
 28. Ritchie M. Echocardiographic characterization of improvement in right ventricular function in patients with severe pulmonary hypertension after single-lung transplantation.
J.Am.Coll.Cardiol. 1993; 22(4): 1170-74
 29. Lindqvist P, Henein M., Kazzam E. et al. Right ventricular out-flow-tract fractional shortening: an applicable measure of right ventricular systolic function.
Eur.J. Echocardiography 2003; 4: 29-35
 30. Naeije R., Torbicki A. More on the noninvasive diagnosis of pulmonary hypertension: doppler echocardiography revisited.
Eur.Resp.J. 1995; 8: 1445-1449
 31. Temporelli PL, Scapellato F, Giannuzzi P. Valutazione non invasiva del profilo emodinamico nel paziente con scompenso cardiaco: stima della pressione atriale destra.
Ital.Heart J. Suppl. 2000; 1(10): 1317-20
 32. Otto CM Textbook of clinical echocardiography, 3rd Edition Elsevier Saunders 2004
 33. Pepi M, Tamborini G, Galli C, Barbier P, Doria E, et al. A new formula for echo-doppler estimation of right ventricular systolic pressure.
J.Am.Soc.Echocardiogr. 1994 Jan-Feb; 7 (1): 20-6
 34. Kircher BJ, Himelman RB, Schiller NB. Non-invasive estimation of right atrial pressure from the inspiratory collapse of the inferior vena cava. *Am J Cardiol* 1990;66:493-496
 35. Cecconi M, La Canna G, Manfrin M, Colonna P, Nardi M, Zanoli R, Moretti S, Gabrielli D, Pangrazi A, Soro A. Evaluation of mean right atrial pressure by two-dimensional and Doppler echocardiography in patients with cardiac disease. *G Ital Cardiol.* 1998 Apr;28(4):357-64.
 36. Chan KL et al. Comparison of three ultrasound methods in the prediction of pulmonary artery pressure.
J.Am.Coll.Cardiol. 1987 ; 9: 549-554
 37. Lee RT et al. Prospective doppler echocardiographic evaluation of pulmonary artery diastolic pressure in the medical intensive care unit. *Am.J. Cardiol.* 1989; 64(19): 1366-70
 38. Tamarin R., Torbicki A., Marchandise B. et al. Doppler echocardiographic evaluation of pulmonary artery pressure in chronic obstructive pulmonary disease. A European multicentre study. Working group on noninvasive evaluation of pulmonary artery pressure. European office of the World Health Organization, Copenhagen. *Eur.Heart J.* 1991; 12(2): 103-111
 39. Hamabe S., Miyahara Y., Ohta M et al. Pulsed Doppler echocardiographic assessment of changes in pulmonary artery pressure during oxygen breathing. *Respiration* 1996; 63(1): 35-41
 40. Yoshiyuki M., Satoshi I., Takayuki Y et al. Echocardiographic evaluation of right cardiac function in patients with chronic pulmonary diseases. *Jpn. Heart J.* 2001; 42: 483-493
 41. Matsuda M., Sekiguchi T., Kuwako K. et al. Reliability of non-invasive estimates of pulmonary hypertension with pulsed Doppler echocardiography. *Br.Heart J.* 1986; 56(2): 158-64
 42. Mallery JA., Gardin JM., King SW et al. Effects of heart rate and pulmonary artery pressure on Doppler pulmonary artery acceleration time in experimental acute pulmonary hypertension. *Chest* 1991; 100(2): 470-473
 43. Tei C. New non-invasive index for combined systolic and diastolic ventricular function.
J.Cardiol. 1995; 26: 135-136
 44. Tei C, Dujardin KS, Hodge DO et al. Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function.
J.Am.Soc.Echocardiogr 1996; 9: 838-847
 45. Seyfarth HJ, Pankau H., Winkler J., Wirtz H. Correlation of Tei-index and invasive parameters of righthart function in PAH. *Pneumologie* 2004 Apr; 58(4): 217-221
 46. Menzel T, Thorsten K., Mohr-Kahaly S. et al. Assessment of cardiac performance using Tei indices in patients undergoing pulmonary thromboendarterectomy.
Ann.Thorac.Surg. 2002; 73: 762-76
 47. Burgess MI., Mogulkoc N., Bright-Thomas RJ. et al.



STUDIO ECOCARDIOGRAFICO DEL VENTRICOLO DESTRO

Laura Massironi, Antonio Mantero, Daniela Torta, Laura Bosotti, Paola Perolo, Federico Lombardi [FESC]
U.O. di Cardiologia – Dipartimento di Medicina, Chirurgia ed Odontoiatria, Ospedale San Paolo – Università degli Studi di Milano

- Comparison of echocardiographic markers of right ventricular function in determining prognosis in chronic pulmonary disease. *J.Am.Soc.Echocardiogr.* 2002 Jun; 15 (6): 633-639
48. Nishimura e et al. Evaluation of right-ventricular function by doppler echocardiography in patients with chronic respiratory failure. *I.Int.Med.Res.* 1999; 27: 65-73
49. Mattioli AV, Vandelli R., Mattioli G Doppler echocardiographic evaluation of right ventricular function in patients with right ventricular infarction. *J.Ultrasound Med.* 2000; 19: 831-836
50. Zornoff LA, Skali H., St John Sutton M. et al. Right ventricular dysfunction and risk of heart failure and mortality after myocardial infarction. *J.Am.Coll.Cardiol.* 2002; 39(9): 1450-55
51. Benjamin W.E., O'Leary PW, Tei C, Steward JB. Usefulness of the myocardial performance index for assessing right ventricular function in congenital heart disease. *Am.J.Cardiol.* 2000; 86: 654-658
52. Ishii M, Eto G., Tei C., Tsutsumi T. et al. Quantification of the global right ventricular function in children with normal heart and congenital heart disease: a right ventricular myocardial performance index. *Pediatr.Cardiol.* 2000; 21: 416-421
53. Pai RG, Ramesh CB., Pravin MS et al. Determinants of the rate of right ventricular pressure rise by Doppler echocardiography: potential value in the assessment of ventricular function. *J.Heart Valve Dis.* 1994; 3: 179-184
54. Schmidt HD, Hoppe H. Maximal rate of pressure rise and time parameters in the right ventricular under isovolumic condition. Investigations in the canine heart-lung preparation
55. Dourvas IN, Parharidis Ge, Efthimiadis GK et al. Right ventricular diastolic function in patients with chronic aortic regurgitation. *Am.J.Cardiol.* 2004; 93: 115-117
56. Zoghbi WA, Habib GB, Quinones MA. Doppler assessment of right ventricular filling in a normal population. Comparison with left ventricular filling dynamics. *Circulation* 1990; 82: 1316-24
57. Uyan AP, Uyan C., Ozyurek H. Assessment of right ventricular diastolic filling parameters by doppler echocardiography. *Pediatrics International* 2003; 45: 263-267
58. Yu CM, Sanderson JE Right and left ventricular diastolic function in patients with and without heart failure: effect of age, sex, heart rate and respiration on doppler-derived measurements. *Am.Heart J.* 1997; 134: 426-434
59. Spencer KT, Weinert L., Lang RM. Effect of age, heart rate and tricuspid regurgitation on the Doppler echocardiographic evaluation of right ventricular diastolic function. *Cardiology* 1999; 92: 59-64
60. Pye MP, Pringle SD, Cobbe SM. Reference values and reproducibility of doppler echocardiography in the assessment of the tricuspid valve and right ventricular diastolic function in normal subjects. *Am.J.Cardiol.* 1991; 67: 269-273
61. Florea VG, Florea ND, Sharma R. et al. Right ventricular dysfunction in adult severe cystic fibrosis. *Chest* 2000; 118: 1063-1068
62. Efthimiadis GK, Parharidis GE, Gemitzis KD et al. Doppler echocardiographic evaluation of right ventricular diastolic function in isolated valvular aortic stenosis. *J.Heart Valve Dis.* 1999; 8: 261-269
63. Efthimiadis GK, Parharidis GE, Dourvas IN et al. Doppler echocardiographic evaluation of right ventricular diastolic function in patients with mitral regurgitation. *J.Heart Valve Dis* 2004; 13: 46-52
64. Efthimiadis GK, Parharidis GE, Karvounis HI et al. Doppler echocardiographic evaluation of right ventricular diastolic function in hypertrophic cardiomyopathy. *Eur. J. Echocardiogr.* 2002; 3: 143-148
65. Marangoni S, Scalvini S., Schena M. et al. Right ventricular diastolic function in chronic obstructive lung disease. *Eur. Respir. J.* 1992 ; 5 : 438-443
66. Ketikoglou DG, Karvounis HI, Papadopoulos CE et al. Echocardiographic evaluation of spontaneous recovery of right ventricular systolic and diastolic function in patients with acute right ventricular infarction associated with posterior wall left ventricular infarction. *Am.J.Cardiol.* 2004; 93: 911-913
67. Klein AL, Hatle LK, Burstow DJ et al. Comprehensive doppler assessment of right ventricular diastolic function in cardiac amyloidosis. *J.Am.Coll.Cardiol.* 1990; 15: 99-108
68. Yu CM, Sanderson JE, Chan S. et al. Right ventricular diastolic dysfunction in heart failure. *Circulation* 1996; 93: 1509-1514
69. Appleton CP, Hatle LK, Popp RL. Superior vena cava and hepatic vein doppler echocardiography in healthy adults. *J.Am.Col.Cardiol.* 1987; 10: 1032-1039
70. Ghio S, Recusani F, Sebastiani R. et al. Doppler velocimetry in superior vena cava provides useful information on the right circulatory function in patients with congestive heart failure. *Echocardiography* 2001; 18: 469-477
71. Zhang -An, Himura Y., Hayashida W. et al. The characteristics of hepatic venous flow velocity pattern in patients with pulmonary hypertension by pulsed doppler echocardiography. *Jpn.Circ.J.* %&: 317-324
72. Trambaiolo P. Et al. Il Doppler tessutale: principi fisici, modalità di rappresentazione e di analisi ed applicazioni cliniche. *Ital.Heart J. Suppl.* 2000; 1(1): 38-53
73. Galderisi M., Severino S., Cicala S., Caso P. The usefulness of pulsed tissue Doppler for the clinical assessment of right ventricular function. *Ital.Heart J.* 2002; 3(4): 241-247
74. Meluzin J., Spinarova L., Dusek L. et al. Prognostic importance of the right ventricular function assessed by Doppler tissue imaging. *Eur. J.Echocardiography* 2003; 4: 262-271
75. Caso P., Galderisi M., Cicala S., et al. Association between myocardial right ventricular relaxation time and pulmonary arterial pressure in chronic obstructive lung disease: analysis by pulsed Doppler tissue imaging. *J.Am.Soc.Echocardiogr.* 2001; 14: 970-977
76. Galderisi M., Severino S., Caso P. et al. Right ventricular myocardial diastolic dysfunction in different kinds of cardiac hypertrophy: analysis by pulsed doppler tissue imaging. *Ital.Heart J.* 2001; 2(12): 912-920