

Strain rate del miocardio in soggetti normali

Ines Monte, Salvatore Licciardi, Giovanni Modica

U.O. di Cardiologia, Università degli Studi, Catania

Key words:
Strain rate;
Tissue Doppler imaging.

Background. Strain rate (SR) is considered as an accurate index of myocardial contractility, capable of differentiating regional myocardial contractions from hypokinetic ones. It is not dependent on adjacent myocardial motion or heart translation. Clinical studies proved this method to be useful in case of heart disease but detailed analyses, homogeneous normal reference parameters, and studies about atrial myocardium are still scanty. The aim of this study was to evaluate longitudinal SR of the left myocardial ventricle and atrium in normal subjects.

Methods. Nineteen normal subjects were examined with tissue Doppler imaging; SR values were obtained off-line on images stored by internal software using the curved M-mode of the left ventricle and atrium. Mean SR values were obtained at the distal, mid, and basal left ventricular segments of the septum and lateral wall, and at the basal and distal left atrial segments of the septum and lateral wall.

Results. Ventricular SR values showed a negative systolic peak, two positive peaks at rapid filling and one at late filling. In the distal segments systolic SR values were lower and that of rapid filling were higher. Systolic events showed a progression from the base to the apex; the diastolic ones had an opposite trend. SR values of the closest atrial segments to the annulus showed the same progression as the ventricular ones; in the distal segments systolic SR was positive and diastolic SR was negative. The atrioventricular sequence of the cardiac cycle is identified.

Conclusions. The method to obtain SR is semiautomatic and objective; image acquisition at a frame rate > 100/s identifies accurately the components of the SR curves. The analysis of the progression of events can allow to study ventricular and atrial synchronization of contraction, relaxation, and compliance.

(Ital Heart J Suppl 2005; 6 (9): 604-611)

© 2005 CEPI Srl

Ricevuto il 7 febbraio 2005; nuova stesura il 9 giugno 2005; accettato il 13 giugno 2005.

Per la corrispondenza:

Dr.ssa Ines Monte

U.O. di Cardiologia
Università degli Studi
Azienda Policlinico
Via Santa Sofia, 78
95125 Catania
E-mail:
inemonte@unict.it

Introduzione

La cinetica delle pareti ventricolari cardiache è usualmente utilizzata quale indice di funzione miocardica; il suo studio è tradizionalmente effettuato con valutazioni soggettive mediante ventricolografia o ecocardiografia. Analogamente, lo studio della cinetica atriale è limitato a generiche definizioni di ipocinesia o di stunning.

Il limite principale di questi metodi consiste nel fatto che essi sono condotti mediante l'analisi del movimento e delle variazioni di spessore delle pareti, elementi che non forniscono informazioni dirette quantificabili sulla contrattilità.

Una metodica ecocardiografica più avanzata è il Doppler tissutale (TDI), basato sull'applicazione del Doppler pulsato e del color Doppler al miocardio, che consente di valutare le velocità tissutali. Le variazioni delle velocità miocardiche in risposta a stress in soggetti normali e ischemici, ottenute con tale metodica, sono correlate ai dati ricavati con ecocardiografia tradizionale^{1,2}. Il TDI è tuttavia limitato dal fatto che il Doppler misura la velocità relativa a

un punto fisso (il trasduttore), che è influenzata dalla presenza di tessuto cicatriziale o ischemico adiacente, dal movimento di traslazione del cuore, dal gradiente di velocità nel cuore normale tra apice, relativamente fisso, e base che si sposta verso di esso durante la sistole.

Acquisizione più recente è lo *strain rate* (SR); esso riflette la velocità di deformazione del tessuto³ e può essere misurato mediante TDI, calcolando dai gradienti di velocità la deformazione miocardica o *strain* (ϵ), in relazione alla contrazione e al rilasciamento^{4,5}. A differenza delle velocità tissutali, non essendo condizionato dal movimento dei segmenti adiacenti^{6,7}, è considerato un indice diretto della contrattilità miocardica, in grado di differenziare i segmenti normalmente contrattili da quelli ipocontrattili^{4,8,9}.

Studi clinici e sperimentali hanno convalidato la metodica in soggetti sani¹⁰ e in varie cardiopatie¹¹ e dimostrato che la riduzione dello SR è un marker di ischemia¹²⁻¹⁴. Studi di confronto hanno evidenziato una buona correlazione tra *strain* di picco sistolico all'eco e *strain* radiale e longitudinale con risonanza magnetica^{7,9}. Tali esperienze

appaiano ancora limitate in quanto sono stati studiati solo gli eventi principali, SR massimo sistolico o diastolico¹⁵⁻¹⁸; inoltre, pochi sono gli studi sulle caratteristiche dello SR nel miocardio atriale normale¹⁹.

Obiettivo dello studio è stato valutare in maniera dettagliata lo SR longitudinale del miocardio atriale e ventricolare per ottenere dati di riferimento normali.

Materiali e metodi

Diciannove soggetti normali (Tab. I) sono stati studiati a riposo, 2 ore dopo una leggera colazione e dopo almeno 15 min in posizione supina, in ambiente climatizzato e insonorizzato. Frequenza cardiaca e pressione arteriosa erano normali e stabili al momento dell'esame. Normali erano i parametri ecocardiografici ricavati in M-mode dall'asse lungo parasternale e in B-mode dalla sezione 4 camere apicale (lunghezza del setto interventricolare).

Gli esami sono stati effettuati con ecocardiografo digitale System FiVe (GE Medical System); sono state utilizzate immagini TDI ottenute dall'approccio 4 ca-

mere apicale, con frame rate di 118/s (massimo 137 frame/s con minima ampiezza dell'angolo settore) e acquisizione di tre cicli cardiaci.

Mediante *curved M-mode* è stata tracciata una linea corrispondente alla linea mediana longitudinale del miocardio settale e parietale del ventricolo sinistro e dell'atrio sinistro (Fig. 1).

Tabella I. Casistica.

Età (anni)	40 ± 15
R-R (s)	0.90 ± 0.11
LVIDd/m ² (cm)	2.89 ± 0.28
SIVd (cm)	0.75 ± 0.11
PPd (cm)	0.83 ± 0.11
LVEF (%)	70 ± 6
LAD (cm)	3.63 ± 0.67
SIVl (cm)	5.74 ± 0.73

LAD = dimensione medio-laterale dell'atrio sinistro in sistole; LVEF = frazione di eiezione del ventricolo sinistro; LVIDd/m² = diametro del ventricolo sinistro in diastole; PPd = spessore della parete posteriore in diastole; R-R = intervallo ECG; SIVd = spessore del setto interventricolare in diastole; SIVl = lunghezza del setto interventricolare in sezione 4 camere.

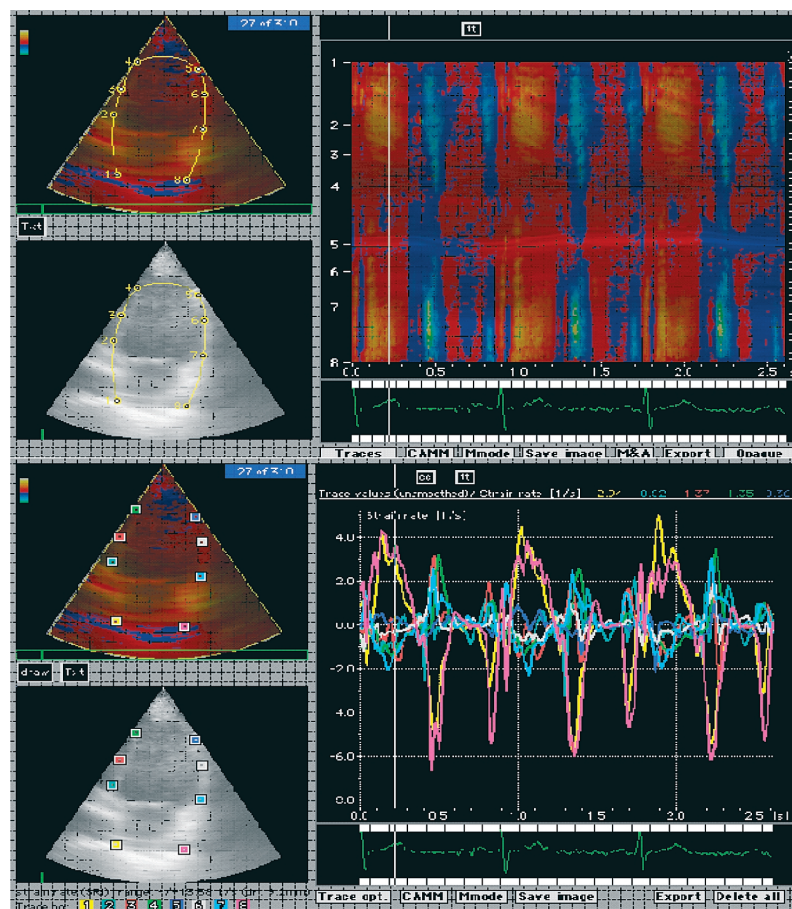


Figura 1. A sinistra, dall'alto in basso: sezione 4 camere apicale con evidenza della linea per il curved M-mode sulle pareti atriali e ventricolari sinistre. In alto a destra: curved M-mode del ventricolo sinistro e dell'atrio sinistro, corrispondente a parete atriale superiore all'angolo con il setto interventricolare (1), setto interventricolare basale (2), medio (3), e distale (4), parete laterale distale (5), media (6), e basale (7), parete atriale superiore all'angolo con la parete laterale (8) in tre cicli cardiaci. In basso a destra: curve di strain rate ricavate in maniera automatica dal curved M-mode nelle aree corrispondenti.

Sono state selezionate le seguenti aree di interesse:

- 6 per il ventricolo sinistro: due in prossimità dell'anulus mitralico setto basale (SIVb) e parete laterale basale (PLb), due in sede distale, escludendo l'apice, setto distale (SIVd) e parete laterale distale (PLd), e due intermedie tra i precedenti, setto medio (SIVm) e parete laterale media (PLm);
- 4 per l'atrio sinistro: due in prossimità dell'anulus, setto interatriale e parete atriale laterale, e due sulla parete atriale superiore, all'angolo con il setto (SIAd) e con la parete laterale.

I valori di SR sono stati ricavati, mediante software dedicato interno (Echopac GE Medical System 6.3.6), da analisi off-line sulle immagini acquisite. Allo stesso modo sono stati ricavati i valori di SR dell'atrio. Lo SR è stato calcolato con aree di 7×7 pixel e intervallo tra due punti, per il gradiente di velocità (8.7-9.2 mm).

Dai tabulati numerici sono state ricavate le curve delle aree di interesse selezionate (Fig. 2). In tali curve, per il ventricolo sinistro, erano identificati i seguenti punti rappresentativi: l'inizio della serie di valori di SR positivi o negativi, il picco massimo e la fine, corrispondenti alla sistole, al rilasciamento isovo-

lometrico (IR), al riempimento rapido (EF), alla diastasi e alla sistole atriale (LF). Per ogni fase si sono ricavati i valori SR di picco, dei tempi e della durata degli eventi. Per l'atrio sinistro, con identica procedura, sono stati identificati l'inizio della serie di valori positivi e il picco durante la sistole ventricolare, il picco IR, la curva negativa durante EF, la diastasi, e la curva negativa durante LF, e ricavati i relativi valori.

I valori dei tempi e dello SR sono stati elaborati per ottenere valori medi e deviazione standard; mediante test t di Student sono stati confrontati i valori dei vari segmenti del setto e della parete, nonché tra setto e parete. I dati del ventricolo sono inoltre stati posti a confronto con i dati dell'atrio.

Analisi della ripetibilità è stata effettuata con lettura di tre cicli consecutivi e il calcolo della stessa serie ripetuto 3 volte, con la determinazione della traccia effettuata in tempi diversi sugli stessi frame.

Risultati

Analisi morfologica. Iniziando dall'apice dell'onda R all'ECG, la curva dei valori di SR mostra i seguenti eventi:

- per il ventricolo sinistro (Fig. 2 in alto), il periodo che precede l'inizio della serie negativa di SR, ossia la contrazione isovolumetrica, mostra variazioni rapide negative-positive. La serie di valori negativi dell'accorciamento raggiunge il valore massimo a un terzo dell'eiezione; segue una riduzione di tali valori inizialmente rapida e poi più lenta. La fine della sistole è segnata dall'ultimo valore negativo di SR. IR presenta una piccola deflessione positiva, di breve durata, cui segue un piccolo negativo, che indica la fine dell'evento. EF è caratterizzato da una prima ampia deflessione positiva (EF1), seguita da una riduzione di SR, che raggiunge talora valori negativi, e una successiva onda positiva (EF2), con valori di SR in genere minori eccetto che per i segmenti distali. Dopo la fine di EF i valori di SR si mantengono intorno allo zero durante la diastasi fino all'inizio di LF, caratterizzata da valori positivi di breve durata;

- per quanto riguarda l'atrio sinistro, l'andamento dei valori di SR dei segmenti più vicini all'anulus è simile a quelli del ventricolo, mentre solo nei segmenti distali, vicino allo sbocco delle vene polmonari, ha una morfologia con SR positivo in sistole e negativo in diastole. Per tale motivo (Fig. 2 in basso) abbiamo preso in considerazione solamente i valori di setto interatriale e parete laterale atriale sinistra della regione più distale rispetto all'anulus. Dopo iniziali deflessioni di piccola durata e ampiezza, i valori di SR iniziano ad aumentare in corrispondenza dell'inizio della sistole ventricolare fino a un picco corrispondente al picco sistolico ventricolare, quindi si riducono, prima rapidamente e poi più lentamente, con una incisura a 2/3. La fine della de-

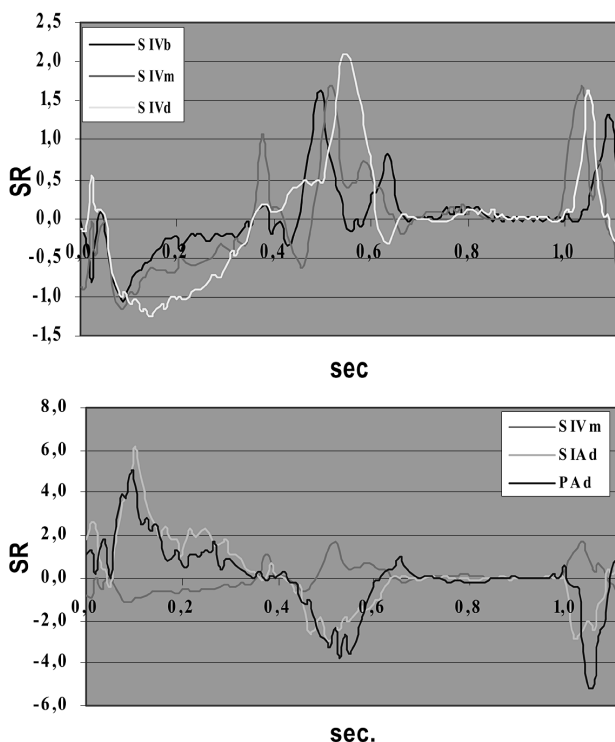


Figura 2. In alto: curve di strain rate (SR) per aree selezionate del setto interventricolare basale (SIVb), medio (SIVm) e distale (SIVd). In tali curve, per il ventricolo sinistro, sono stati identificati: l'inizio della serie di valori di SR positivi o negativi, il picco massimo e la fine, corrispondenti alla sistole, al rilasciamento isovolumetrico, al riempimento rapido, alla diastasi e alla sistole atriale. In basso: curve di SR per aree selezionate dell'atrio sinistro (parete atriale superiore all'angolo con il setto interventricolare [SIAd] e con la parete atriale distale [PAAd]) a confronto con la curva del SIVm. Con identica procedura, sono stati identificati l'inizio della serie di valori positivi e il picco durante la sistole ventricolare, il picco di rilasciamento isovolumetrico, la curva negativa durante riempimento rapido, la diastasi, e la curva negativa durante la sistole atriale, e ricavati i relativi valori.

flessione positiva segna l'inizio dell'IR ventricolare, cui segue un picco in genere positivo; successivamente i valori di SR diventano negativi (EF), formando un'unica ampia curva, che comincia poco dopo l'inizio della prima onda positiva diastolica del ventricolo e termina in corrispondenza della fine del secondo picco diastolico ventricolare; segue la diastasi, con valori intorno allo zero, e quindi LF con un'ampia deflessione negativa.

Ripetibilità. Non abbiamo riscontrato differenze significative tra i valori ottenuti con lettura di tre cicli consecutivi, con calcolo della stessa serie ripetuto 3 volte e con determinazione della traccia effettuata in tempi diversi sullo stesso frame; la percentuale di variabilità è stata compresa tra 12 e 14% per tutti i parametri, tranne SR SIVb alla sistole (15.6%), LF-SR SIVb (16.3%) e IR-SR SIVm (14.8%).

Parametri normali di strain rate. In tabella II sono riportati i valori SR di picco del setto interventricolare e parete laterale del ventricolo sinistro ed i tempi delle fasi del ciclo cardiaco. Non è stata effettuata correzione per la frequenza cardiaca in quanto le sue variazioni influenzano in maniera diversa le fasi del ciclo; inoltre, i dati della letteratura indicano che i valori di SR sono relativamente indipendenti dalla frequenza cardiaca, con buona corrispondenza in un ampio range di frequen-

I valori di SR ed i tempi mostrano alcune differenze tra i segmenti e tra setto interventricolare e parete laterale.

Ventricolo sinistro. Strain rate (Tab. II, Fig. 3). I valori di picco sistolico sono minori ai segmenti distali.

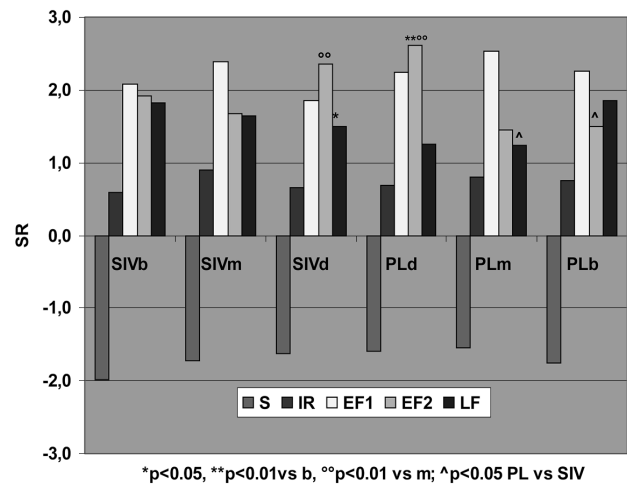


Figura 3. Valori di strain rate (SR) di picco nelle fasi del ciclo cardiaco in ogni area selezionata. EF1 = riempimento rapido fase 1; EF2 = riempimento rapido fase 2; IR = rilassamento isovolumetrico; LF = sistole atriale; PLb = parete laterale basale; PLd = parete laterale distale; PLm = parete laterale media; S = sistole; SIVb = setto interventricolare basale; SIVd = setto interventricolare distale; SIVm = setto interventricolare medio.

Tabella II. Valori di strain rate picco (SR P) e tempi nelle aree selezionate del ventricolo sinistro nelle diverse fasi del ciclo cardiaco.

	SIVb	SIVm	SIVd	PLb	PLm	PLd
SR P						
S	1.975 ± 1.026	-1.725 ± 0.592	-1.633 ± 0.616	-1.750 ± 0.811	-1.550 ± 0.876	-1.591 ± 1.216
IR	0.594 ± 0.500	0.899 ± 0.538	0.657 ± 0.467	0.744 ± 0.592	0.795 ± 0.577	0.691 ± 0.532
EF1	2.082 ± 1.162	2.383 ± 0.747	1.850 ± 1.057	2.248 ± 1.236	2.536 ± 1.244	2.244 ± 1.258
EF2	1.918 ± 0.851	1.667 ± 0.914	2.352 ± 0.971 [°]	1.488 ± 0.613 [§]	1.451 ± 0.689	2.615 ± 1.166 ^{**°}
LF	1.826 ± 0.605	1.640 ± 0.585	1.491 ± 0.661 [*]	1.858 ± 1.283	1.231 ± 0.700 [§]	1.252 ± 0.669
EF1/LF	1.105 ± 0.496	1.622 ± 0.859 [*]	1.601 ± 1.194	1.861 ± 1.854	2.666 ± 1.719 [§]	2.111 ± 1.216
Tempi (s)						
IC	0.062 ± 0.016	0.064 ± 0.018	0.075 ± 0.018 ^{**°}	0.078 ± 0.033 [§]	0.092 ± 0.035 [§]	0.086 ± 0.039
S P	0.123 ± 0.046	0.150 ± 0.059 ^{**}	0.162 ± 0.048 ^{**}	0.148 ± 0.057	0.152 ± 0.062	0.140 ± 0.048
S end	0.320 ± 0.035	0.334 ± 0.023 ^{**}	0.351 ± 0.030 ^{**°}	0.337 ± 0.046	0.342 ± 0.039	0.359 ± 0.026 ^{*°}
IR P	0.350 ± 0.046	0.362 ± 0.023	0.378 ± 0.028 ^{**°}	0.377 ± 0.046 [§]	0.373 ± 0.044	0.388 ± 0.036
IR end	0.398 ± 0.046	0.400 ± 0.033	0.403 ± 0.035	0.413 ± 0.048	0.412 ± 0.041	0.424 ± 0.049 [§]
EF1 P	0.456 ± 0.048	0.464 ± 0.034	0.463 ± 0.036	0.466 ± 0.049	0.478 ± 0.041	0.477 ± 0.047
EF1 end	0.515 ± 0.061	0.508 ± 0.038	0.496 ± 0.034	0.510 ± 0.043	0.512 ± 0.039	0.500 ± 0.047
EF2 P	0.558 ± 0.051	0.543 ± 0.039	0.525 ± 0.030 ^{**°}	0.557 ± 0.044	0.548 ± 0.045	0.531 ± 0.043 ^{**}
EF2 end	0.604 ± 0.044	0.585 ± 0.037	0.572 ± 0.042 ^{**}	0.594 ± 0.054	0.576 ± 0.047	0.567 ± 0.048 [*]
D end	0.777 ± 0.086	0.784 ± 0.100	0.792 ± 0.097 ^{**}	0.792 ± 0.107	0.814 ± 0.110 ^{**§§}	0.807 ± 0.120
LF P	0.815 ± 0.098	0.823 ± 0.101	0.831 ± 0.108 ^{**}	0.83 ± 0.103 [§]	0.84 ± 0.110 [§]	0.838 ± 0.117
R-R	0.898 ± 0.112					

D end = diastasi fine; EF1 = riempimento rapido fase 1; EF1 end = riempimento rapido fine fase 1; EF1 P = riempimento rapido picco fase 1; EF2 = riempimento rapido fase 2; EF2 end = riempimento rapido fine fase 2; EF2 P = riempimento rapido picco fase 2; IC = contrazione isovolumetrica; IR = rilassamento isovolumetrico; IR end = rilassamento isovolumetrico fine; IR P = rilassamento isovolumetrico picco; LF = sistole atriale; LF P = sistole atriale picco; PLb = parete laterale basale; PLd = parete laterale distale; PLm = parete laterale media; R-R = intervallo ECG; S = sistole; S end = sistole fine; SIVb = setto interventricolare basale; SIVd = setto interventricolare distale; SIVm = setto interventricolare medio; S P = sistole picco. * p < 0.05, ** p < 0.01 vs b; ° p < 0.05, °° p < 0.01 vs m; § p < 0.05, §§ p < 0.01 PL vs SIV.

Per il EF, lo SR di EF1 è maggiore ai segmenti medi, mentre per EF2 è più elevato ai segmenti distali e al setto basale e medio rispetto alla parete. Durante LF, lo SR è minore ai segmenti distali rispetto alla base, e alla parete rispetto al setto. Il rapporto EF/LF-SR è minore al SIVb rispetto al SIVm e al SIVm rispetto alla PLm.

Tempi (Tab. II, Fig. 4). I tempi della sistole (contrazione isovolumetrica, picco massimo e fine alla sistole) aumentano progressivamente dalla base all'apice. Il ritardo tra SIVb e SIVd è 13 ms per la contrazione isovolumetrica, 39 ms per il picco massimo alla sistole, 27 ms per la fine alla sistole al setto interventricolare e 22 ms alla parete laterale.

Per la diastole, IR di picco è tardivo ai segmenti distali, ma il tempo di IR ha minor durata al SIVd rispetto al SIVb. Il tempo di picco di EF (EF1) non presenta differenze tra i segmenti. A partire dalla fine di EF1 fino alla fine di EF2 i tempi hanno un comportamento opposto rispetto alla sistole, ossia più brevi ai segmenti distali rispetto alla base. Le differenze maggiori si riscontrano nel EF2 di picco. I tempi successivi della diastole hanno un andamento opposto rispetto ad EF. Infatti la durata della diastasi è maggiore nei segmenti distali e nella parete rispetto al setto. Il picco di LF è ritardato ai segmenti distali. Tuttavia, la durata totale della diastole diminuisce progressivamente dai segmenti basali a quelli distali, riducendosi di 27 ms al setto e di 22 ms alla parete, con comportamento opposto rispetto alla sistole.

In sintesi, i tempi della sistole e della diastole fino al IR sono progressivamente crescenti dalla base ai segmenti medi e distali; i successivi tempi, fino alla fine di EF assumono un andamento opposto.

Atrio sinistro (Tab. III). Non esistono differenze significative tra setto e parete.

Correlazioni tra ventricolo e atrio. Strain rate. I valori di SR atriali, eccetto il IR, sono più elevati di quelli ventricolari. SR di picco del SIAd alla sistole è in correlazione con il corrispondente picco di SIVb (0.706) e di SIVm (-0.637); picco IR SR e picco LF SR di SIAd sono in correlazione con PLb (0.761 e 0.697).

Tabella III. Valori di strain rate picco (SR P) e tempi nelle aree selezionate dell'atrio sinistro nelle diverse fasi del ciclo cardiaco.

	SIAd	PAd
SR P		
S	4.988 ± 1.497	4.634 ± 2.020
IR	0.243 ± 0.969	-0.308 ± 0.958
EF	-5.609 ± 1.798	-6.199 ± 2.520
LF	-4.462 ± 1.744	-4.899 ± 2.508
Tempi (s)		
IC	0.067 ± 0.017	0.066 ± 0.017
S P	0.134 ± 0.034	0.141 ± 0.043
S end	0.357 ± 0.030	0.362 ± 0.026
IR P	0.387 ± 0.029	0.397 ± 0.031
IR end	0.418 ± 0.033	0.428 ± 0.036
EF P	0.491 ± 0.039	0.492 ± 0.035
EF end	0.587 ± 0.051	0.578 ± 0.043
D end	0.773 ± 0.115	0.783 ± 0.121
LF P	0.820 ± 0.120	0.837 ± 0.123
R-R	0.891 ± 0.126	

D end = diastasi fine; EF = riempimento rapido; EF end = riempimento rapido fine; EF P = riempimento rapido picco; IC = contrazione isovolumetrica; IR = rilasciamento isovolumetrico; IR end = rilasciamento isovolumetrico fine; IR P = rilasciamento isovolumetrico picco; LF = sistole atriale; LF P = sistole atriale picco; PAD = parete atriale distale; R-R = intervallo ECG; S = sistole; S end = sistole fine; SIAd = setto interatriale distale; S P = sistole picco.

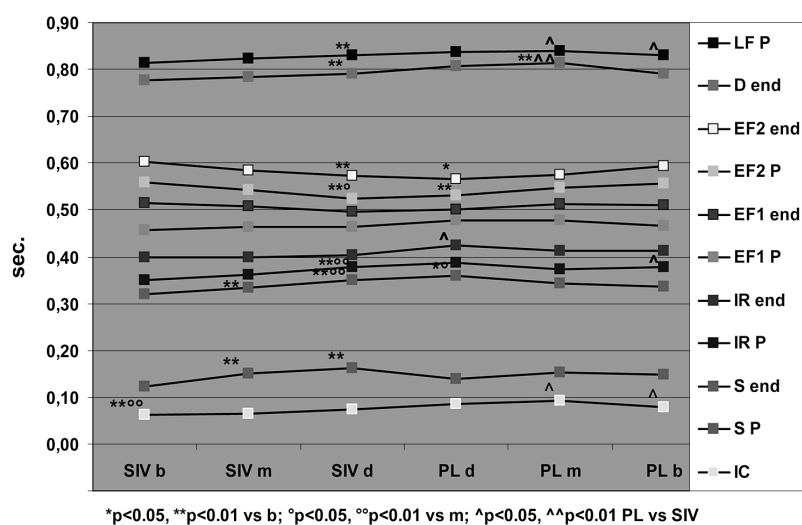


Figura 4. Tempi di strain rate (di picco e di fine) in ogni fase del ciclo cardiaco nelle aree selezionate. D end = diastasi fine; EF1 end = riempimento rapido fine fase 1; EF1 P = riempimento rapido picco fase 1; EF2 end = riempimento rapido fine fase 2; EF2 P = riempimento rapido picco fase 2; IC = contrazione isovolumetrica; IR end = rilasciamento isovolumetrico fine; IR P = rilasciamento isovolumetrico picco; LF P = sistole atriale picco; PLb = parete laterale basale; PLd = parete laterale distale; PLm = parete laterale media; S end = sistole fine; S P = sistole picco; SIVb = setto interventricolare basale; SIVd = setto interventricolare distale; SIVm = setto interventricolare medio.

Tempi (Fig. 5). L'eiezione e la durata della curva sistolica sono più prolungate a livello atriale rispetto ai segmenti basali e medi del ventricolo ($p < 0.001$). EF ha un'unica onda all'atrio e due, ben differenziate, al ventricolo. Il picco EF1 del ventricolo (positivo) precede il picco EF atriale (negativo) di 35 ms al SIVb, di 28 ms al SIVd, di 25 ms alla PLb e di 14 ms alla PLd. Il picco EF atriale, a sua volta, precede il picco EF2 di 67 ms per il SIVb, 34 ms per il SIVd, 66 ms per la PLb e 40 ms per la PLd. La durata del EF atriale è simile a quella ventricolare (EF1+EF2). La diastasi atriale ha una durata più breve rispetto ai segmenti distali del ventricolo ($p < 0.004$).

Gli eventi del ciclo cardiaco, a livello atrioventricolare, si susseguono quindi nel seguente ordine:

- inizio della sistole e picco sistolico: setto base e medio, atrio, restanti segmenti ventricolari;
- fine della sistole ventricolare, fine della dilatazione atriale;
- picco IR ventricolare, picco IR atriale;
- EF: picco EF1 ventricolare, picco EF atriale; fine EF1 ventricolo, picco EF2 ventricolo;
- fine EF: segmenti distali del ventricolo, atrio, rimanenti segmenti ventricolari;
- fine diastasi atriale, fine diastasi ventricolare;
- picco LF: ventricolo base, atrio, rimanenti segmenti ventricolari.

Discussione

L'acquisizione delle immagini con frame rate $> 100/s$ identifica con accuratezza le diverse componenti delle curve, anche quelle a bassa frequenza (contrazione isovolumetrica e IR), come già segnalato da

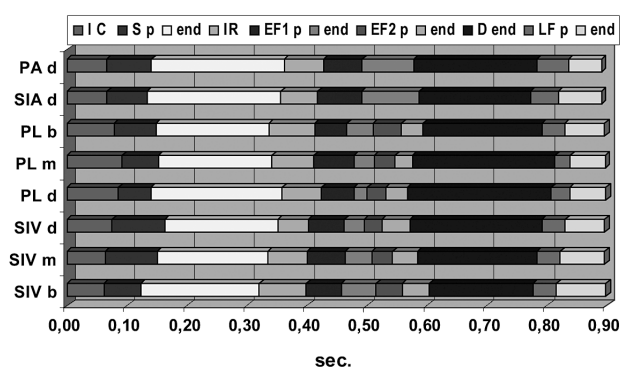


Figura 5. Confronto della sequenza degli eventi del ciclo cardiaco nelle aree selezionate del ventricolo sinistro e dell'atrio sinistro (durata degli eventi). D end = diastasi fine; EF1 end = riempimento rapido fine fase 1; EF1 P = riempimento rapido picco fase 1; EF2 end = riempimento rapido fine fase 2; EF2 P = riempimento rapido picco fase 2; IC = contrazione isovolumetrica; IR = rilasciamento isovolumetrico; LF end = sistole atriale fine; LF P = sistole atriale picco; PA d = parete atriale distale; PLb = parete laterale basale; PLd = parete laterale distale; PLm = parete laterale media; S end = sistole fine; S P = sistole picco; SIA d = setto interatriale distale; SIVb = setto interventricolare basale; SIVd = setto interventricolare distale; SIVm = setto interventricolare medio.

Lind et al.²⁰ e più recentemente da Garcia²¹, sebbene sia preferibile per queste un frame rate $> 200/s$.

L'analisi dello SR atriale e ventricolare è una metodica semiautomatica e obiettiva. Tuttavia, a volte, l'identificazione di singoli eventi, quali la fine della contrazione e il tempo di IR, può essere più complessa; il confronto con la curva atriale può facilitare il compito. Di facile identificazione sono gli altri eventi. La ripetibilità è ottima per singolo ciclo e per tre cicli consecutivi.

I risultati del nostro studio concordano con i dati della letteratura, eccetto che per valori assoluti di SR, più elevati nella nostra casistica, specie per lo SR del picco sistolico, rispetto ai primi dati della letteratura¹⁵. I dati più recenti indicano valori e andamento di SR simili ai nostri^{10,17,18}. Ciò può essere in relazione al miglior potere risolutivo (maggior frame rate) degli strumenti di ultima generazione^{20,21}.

Per quanto riguarda lo SR dell'atrio, inoltre, i nostri dati presentano valori di SR della parete laterale atriale intermedi rispetto a quelli relativi a 25 soggetti sani suddivisi in due gruppi in base all'età (25-48 e 41-75 anni), recentemente comunicati da Sirbu et al.²²; tale risultato può essere in relazione all'età della popolazione da noi esaminata (40 ± 15 anni).

In precedenza era stato segnalato che tutte le velocità si riducevano dalla base all'apice del setto interventricolare²³. Il nostro studio conferma che lo SR di picco sistolico presenta una moderata progressiva riduzione dei valori base-apice, mentre non si riduce lo SR di EF; per LF tale riduzione avviene tra base e segmenti distali.

I nostri dati confermano il fenomeno dell'attivazione progressiva della contrazione ventricolare dalla base verso i segmenti distali, da altri segnalato¹⁶. Un fenomeno opposto abbiamo riscontrato in diastole. La sequenza degli eventi a livello atrioventricolare è meglio dettagliata nel nostro studio: l'accorciamento inizia al setto base, segue la dilatazione dell'atrio e quindi l'accorciamento dei rimanenti segmenti ventricolari; i valori massimi di SR si susseguono nello stesso ordine.

Un fenomeno evidenziato in questo studio riguarda il EF. Esso è caratterizzato da un'unica serie di valori elevati di SR negativi del miocardio atriale e da due serie di valori di SR positivi, nettamente distinte, a livello del miocardio ventricolare in tutti i segmenti di setto e parete; nei segmenti distali la seconda serie ha spesso valori più elevati.

Il significato delle curve di SR è stato ampiamente descritto: i valori negativi sistolici sono espressione dell'accorciamento delle pareti del ventricolo sinistro. Presumibilmente i valori iniziali e il tempo di picco sono indici utilizzabili per lo studio della contrattilità miocardica²⁴.

La costante presenza di due serie di valori positivi durante EF ventricolare, a fronte di una sola serie negativa a livello atriale, dovrebbe essere considerata

espressione di eventi indipendenti tra atrio e ventricolo. Sebbene entrambi legati alla fase iniziale della diastole, la prima curva ventricolare può essere considerata un fenomeno attivo; infatti a livello settale inizia prima della curva atriale e il suo picco precede quello negativo atriale; essa quindi può rappresentare il rilasciamento delle pareti ventricolari, collegata al riempimento dovuto al gradiente atrioventricolare iniziale. La riduzione dei valori di SR atriali in questa fase è determinata dal rapido svuotamento atriale. Alla fine di questa prima curva diastolica ventricolare i valori di SR ritornano allo zero oppure diventano negativi: è ipotizzabile la fine del rilasciamento attivo e un accorciamento relativo del miocardio. Le successive variazioni, ossia il picco SR negativo dell'atrio e l'onda positiva EF2 del ventricolo sono in successione, in relazione allo svuotamento atriale e alla distensione ventricolare. È da verificare con ulteriori studi se tale fenomeno può attribuirsi all'aumento del flusso venoso dalle vene polmonari, e quindi essere considerato un fenomeno passivo.

La curva di LF a livello ventricolare, infine, è inversamente correlata al fenomeno a livello atriale e può essere indice della distensibilità del miocardio ventricolare.

Un riscontro singolare consiste nel comportamento inverso dei tempi, speculare della sistole e di EF rapido tra segmenti basali e distali del ventricolo. Nel miocardio ventricolare la sistole procede dalla base all'apice e EF si completa dall'apice alla base. Tali dati possono contribuire alla valutazione della sincronia di contrazione, rilasciamento e della compliance del ventricolo e dell'atrio sinistro.

In conclusione, il nostro studio ha esaminato i principali problemi che sorgono dall'analisi dei valori di SR atriale e ventricolare, ha evidenziato un evento rilevante durante EF e descritti i valori normali di SR ed i relativi tempi nei segmenti esaminati del ventricolo e dell'atrio sinistro.

Limiti dello studio. I principali limiti dello studio sono rappresentati dal numero limitato di soggetti presi in esame, dalla mancanza di confronto con gli eventi meccanici valvolari, nonché dall'ampia deviazione standard nella valutazione dei picchi dello SR.

La rigidità di ottenere immagini ottimali da analizzare ha fatto perdere un certo numero di esami; tuttavia, l'omogeneità dei dati, che risultano molto dettagliati, può giustificare la casistica modesta.

Lo studio ha l'obiettivo di esaminare il comportamento del miocardio atriale e ventricolare, indipendentemente dai fenomeni meccanici delle valvole e del flusso; ciò, in parte, limita la discussione sul significato delle curve esaminate, senza comunque rinunciare a ipotesi interpretative che, come tali, restano da verificare e approfondire con una casistica più ampia, in presenza di specifiche cardiopatie, e in risposta a stimoli o trattamenti farmacologici.

Riassunto

Razionale. Lo *strain rate* (SR) è indice della contrattilità miocardica, capace di identificare segmenti ipocontrattili, indipendente dal movimento di segmenti adiacenti e di traslazione del cuore. La metodica è stata convalidata da studi sperimentali e clinici, tuttavia sono poche le analisi dettagliate e gli studi sul miocardio atriale. Obiettivo dello studio è stato valutare in maniera dettagliata lo SR longitudinale del miocardio atriale e ventricolare per ottenere dati di riferimento normali.

Materiali e metodi. Diciannove soggetti normali sono stati studiati mediante eco-Doppler tissutale; i valori di SR sono stati ottenuti da analisi off-line sulle immagini acquisite mediante software interno, con *curved M-mode* di setto e parete laterale del ventricolo sinistro e di setto e parete dell'atrio sinistro. Sono stati quindi calcolati i valori medi di SR nelle regioni distali, medie e basali ventricolari, basali e distali atriali.

Risultati. I valori di SR ventricolare presentano picco sistolico negativo, picco al rilasciamento isovolumetrico, due picchi positivi in riempimento rapido e uno in sistole atriale. I valori di SR sistolico sono minori e quelli del riempimento rapido più elevati ai segmenti distali. Gli eventi sistolici hanno una progressione dalla base all'apice, quelli diastolici hanno andamento opposto. I valori di SR dei segmenti atriali più vicini all'anulus hanno andamento simile a quelli ventricolari, mentre presentano andamento speculare nei segmenti più distanti. Dall'esame simultaneo dell'atrio e del ventricolo è stato possibile precisare la sequenza degli eventi sistolo-diastolici nei vari segmenti.

Conclusioni. La metodica per ottenere lo SR è semiautomatica e obiettiva; l'acquisizione delle immagini con frame rate > 100/s identifica con accuratezza le componenti delle curve. L'analisi della successione degli eventi consente di valutare la sincronizzazione di contrazione, rilasciamento e compliance ventricolare e atriale.

Parole chiave: Doppler tissutale; Strain rate.

Bibliografia

1. Nagueh S, Middleton K, 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: 1527-33.
2. Derumeaux G, Ovize M, Loufoua J, Pontier G, Andre-Fouet X, Cribier A. Assessment of nonuniformity of transmural myocardial velocities by color-coded tissue Doppler imaging: characterization of normal, ischemic, and stunned myocardium. *Circulation* 2000; 101: 1390-5.
3. Hatle L, Sutherland GR. Regional myocardial function: a new approach. *Eur Heart J* 2000; 21: 1337-57.
4. Edvardsen T, Skulstad H, Aakhus S, Urheim S, Ihlen H. Regional myocardial systolic function during acute myocar-

- dial ischemia assessed by strain Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 726-30.
5. D'Hooge J, Heimdal A, Jamal F, et al. Regional strain and strain rate measurements by cardiac ultrasound: principles, implementation and limitations. *Eur J Echocardiogr* 2000; 1: 154-70.
6. Greenberg NL, Firstenberg MS, Castro PL, et al. Doppler-derived myocardial systolic strain rate is a strong index of left ventricular contractility. *Circulation* 2002; 105: 99-105.
7. Edvardsen T, Gerber BL, Garot J, Bluemke DA, Lima JA, Smiseth OA. Quantitative assessment of intrinsic regional myocardial deformation by Doppler strain rate echocardiography in humans. Validation against three-dimensional tagged magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002; 106: 50-6.
8. Rajagopalan N, Cameiro M, Odabashian J, et al. Peak systolic strain rate in different coronary artery territories in normal subjects. (abstr) *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 472.
9. Castro P, Greenberg N, Drinko J, et al. An in vivo validation of strain rate imaging: a study of various cardiac pathologies with MRI and echocardiography. (abstr) *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 483.
10. Kowalski M, Kukulski T, Jamal F, et al. Can natural strain and strain rate quantify regional myocardial deformation? A study in healthy subjects. *Ultrasound Med Biol* 2001; 27: 1087-97.
11. Abraham TP, Nishimura RA. Myocardial strain: can we finally measure contractility? *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 731-4.
12. Kukulski T, Jamal F, D'Hooge J, Bijmens B, De Scheerder I, Sutherland GR. Acute changes in systolic and diastolic events during clinical coronary angioplasty: a comparison of regional velocity, strain rate, and strain measurement. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 1-12.
13. Jamal F, Kukulski T, Sutherland GR, et al. Can changes in systolic longitudinal deformation quantify regional myocardial function after an acute infarction? An ultrasonic strain rate and strain study. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 723-30.
14. Garot P, Pascal O, Simon M, et al. Usefulness of combined quantitative assessment of myocardial perfusion and velocities by myocardial contrast and Doppler tissue echocardiography during coronary blood flow reduction. *J Am Soc Echocardiogr* 2003; 16: 1-8.
15. Voigt JU, Arnold MF, Karlsson M, et al. Assessment of regional longitudinal myocardial strain rate derived from Doppler myocardial imaging indexes in normal and infarcted myocardium. *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 588-98.
16. Voigt JU, Lindenmeier G, Werner D, et al. Strain rate imaging for the assessment of preload-dependent changes in regional left ventricular diastolic longitudinal function. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 13-9.
17. Weidemann F, Eyskens B, Jamal F, et al. Quantification of regional left and right ventricular radial and longitudinal function in healthy children using ultrasound-based strain rate and strain imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 20-8.
18. Weidemann F, Jamal F, Kowalski M, et al. Can strain rate and strain quantify changes in regional systolic function during dobutamine infusion, beta-blockade, and atrial pacing. Implications for quantitative stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15: 416-24.
19. Di Salvo G, Caso P, Lo Piccolo R, et al. Atrial deformation properties during atrial fibrillation and their prognostic value: a strain and strain rate imaging study. (abstr) *Eur J Echocardiogr* 2003; 4: 553.
20. Lind B, Nowak J, Dorph J, van der Linden J, Brodin LA. Analysis of temporal requirements for myocardial tissue velocity imaging. *Eur J Echocardiogr* 2002; 3: 214-9.
21. Garcia MJ. A step closer in the quest for reliable quantification in echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2003; 4: 1-2.
22. Sirbu C, Herbots L, Dambrauskaite V, et al. Effects of aging on left atrial function: a strain (rate) imaging study. (abstr) *Eur J Echocardiogr* 2004; 5: S184.
23. Pai RG, Gill KS. Amplitudes, durations, and timings of apically directed left ventricular myocardial velocities: I. Their normal pattern and coupling to left ventricular filling and ejection. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 105-11.
24. Yamada H, Oki T, Tabata T, Iuchi A, Ito S. Assessment of left ventricular systolic wall motion velocity with pulsed tissue Doppler imaging: comparison with peak dP/dt of the left ventricular pressure curve. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 442-9.