

Studio osservazionale Valutazione quantitativa della funzione ventricolare regionale destra e sinistra con *strain* e *strain rate imaging*: valori di normalità in età pediatrica

Giovanni Di Salvo, Giuseppe Pacileo, Alessandra Rea, Simona Gala, Danila Faillace,
Marina Verrengia, Tiziana Miele, Biagio Castaldi, Maria Giovanna Russo, Pio Caso,
Raffaele Calabrò

Cattedra di Cardiologia, Divisione di Cardiologia Pediatrica, Seconda Università degli Studi, A.O. Monaldi, Napoli

Key words:
Pediatric age;
Strain rate;
Ventricular function.

Background. Based on color Doppler methodology, regional myocardial strain rate (SR) and strain (ϵ) can now be calculated by comparing local myocardial velocity profiles. These deformation data sets may be an important new approach to quantify regional function of the left or right ventricle in congenital heart disease. The aim of the present study was to provide normal value for ϵ and SR in pediatric age.

Methods. We studied 45 healthy subjects (25 males, 20 females, mean age 11 ± 6 years, range 4-16 years). For each subject we measured regional peak systolic, early and late diastolic ϵ and SR.

Results. Left ventricular (LV) longitudinal deformations were homogeneous for LV basal, mid and apical segments (peak systolic SR -1.9 ± 0.7 s⁻¹, systolic ϵ $-24 \pm 8\%$). Longitudinal SR and ϵ values were significantly higher in the right ventricle, compared with LV walls, and were maximal in the mid part of the right ventricle free wall (peak systolic SR -3.4 ± 0.9 s⁻¹, systolic ϵ $-35 \pm 5\%$). The LV systolic and diastolic SR and ϵ values were higher for deformations in the radial direction compared with the longitudinal direction [radial peak systolic ϵ $55 \pm 6\%$ vs longitudinal peak systolic ϵ $(-24 \pm 8\%, p < 0.0001)$; radial peak early diastolic ϵ $(-40 \pm 15\%$ vs longitudinal peak early diastolic ϵ $17.22 \pm 7\%, p < 0.0001$; radial peak systolic SR 2.7 ± 0.5 s⁻¹ vs longitudinal peak systolic SR $(-1.9 \pm 0.7$ s⁻¹; radial peak early diastolic SR $(-6.2 \pm 1.5$ s⁻¹ vs longitudinal peak early diastolic SR 2.24 ± 1.2 s⁻¹, $p < 0.0001$].

Conclusions. This study provides normal values for ϵ /SR in the largest published series of normal healthy children using a high frame rate (≥ 200 frames/s) and a commercially available software.

(Ital Heart J Suppl 2005; 6 (7): 420-426)

© 2005 CEPI Srl

Ricevuto l'1 marzo 2005;
nuova stesura il 4 maggio
2005; accettato il 5
maggio 2005.

Per la corrispondenza:

Dr. Giovanni Di Salvo

Via A. Omodeo, 45

80128 Napoli

E-mail:

giodisal@yahoo.it

Introduzione

L'ecocardiografia è uno strumento clinico collaudato per la valutazione non invasiva della funzione regionale e globale del ventricolo sinistro (VS) nei bambini^{1,2}.

La formazione di immagini con Doppler miocardico delle velocità era stata proposta come un nuovo metodo non invasivo di quantificazione della funzione regionale radiale e longitudinale miocardica³⁻⁶. Tuttavia, tali velocità possono essere influenzate dal complessivo movimento cardiaco, dalla rotazione del cuore e dal trascinamento esercitato dai segmenti miocardici adiacenti. Per superare questi limiti sono stati di recente messi appunto lo *strain rate* (SR) e lo *strain* (ϵ).

Lo SR è la velocità di deformazione miocardica regionale. Il suo integrale è lo ϵ , che è definito come la quantità totale di

deformazione miocardica regionale indipendentemente dal tempo necessario ad ottenerla^{7,8}.

Lo SR e lo ϵ sono già stati utilizzati per quantificare la funzione regionale miocardica in soggetti sani adulti⁹, nell'ischemia miocardica acuta e cronica¹⁰⁻¹² ed in altre patologie¹³⁻¹⁵.

Recentemente lo SR imaging è stato utilizzato anche nello studio della funzione miocardica regionale in età pediatrica e in presenza di cardiopatie congenite¹⁶. In particolare, lo SR imaging potrebbe essere di utilità nello studio della funzione ventricolare destra¹⁶ che al momento rappresenta un vero e proprio tallone di Achille per l'ecocardiografia standard.

Quindi la misurazione dei valori normali di SR/ ϵ in bambini sani è un prerequisito necessario per il loro uso nella valutazione quantitativa delle patologie congenite.

Weidemann et al.¹⁷ hanno fornito valori di normalità per l'età pediatrica. Tuttavia, tali valori sono stati ottenuti con un software di analisi sviluppato ed utilizzato da un singolo centro, e questo può rendere difficile il confronto dei valori ottenuti con i software commerciali più utilizzati.

Avere dei valori di riferimento ha particolare importanza in cardiologia pediatrica dove gli indici di deformazione locale possono essere anormali e svelare alterazioni più precoci di quelle valutabili con ecocardiografia convenzionale.

Lo scopo di questo lavoro è di riportare valori di SR/ε in bambini sani, sia per il ventricolo destro che sinistro, utilizzando un software commerciale largamente diffuso.

Materiali e metodi

Abbiamo selezionato 45 soggetti sani (25 maschi e 20 femmine, età media 11 ± 6 anni, range 4-16 anni) con area di superficie corporea di 1.2 ± 0.4 m² fra i parenti di pazienti ricoverati presso il nostro Istituto per cardiopatie congenite. È stato ottenuto il consenso informato dai genitori per effettuare lo studio.

Ogni soggetto è stato sottoposto ad anamnesi per escludere patologie cardiovascolari, dismetaboliche o altre patologie; visita cardiologica e misurazione della pressione arteriosa; elettrocardiogramma; esame ecocardiografico e color Doppler convenzionale.

Sono stati esclusi dallo studio soggetti con alterazioni cardiache morfo-funzionali, inclusi i rigurgiti valvolari aortici e mitralici lievi, mentre le insufficienze polmonari e tricuspidaliche lievi sono state ritenute fisiologiche e quindi non criterio di esclusione. Inoltre sono stati esclusi dallo studio i soggetti affetti da difetti interatriali, difetti interventricolari, forame ovale pervio, dotto arterioso di Botallo pervio, valvola aortica bicuspidale, prolapsio della valvola mitrale, spessori parietali ventricolari $\geq 90^\circ$ percentile per età, sesso e area di superficie corporea, diametro ventricolare destro e sinistro $\geq 90^\circ$ percentile per età, sesso e area di superficie corporea.

Studio ecocardiografico standard. In tutta la popolazione studiata è stato effettuato esame ecocardiografico M-mode/bidimensionale con Doppler e color Doppler tramite ecografo System Seven (GE Vingmed Ultrasound, Horton, Norvegia), usando trasduttori a frequenze appropriate per la dimensione corporea.

Le immagini sono state acquisite nelle proiezioni 4 camere apicale e parasternale asse lungo e asse corto.

Gli spessori parietali ventricolari in M-mode e i diametri ventricolari sono stati calcolati in accordo a quanto stabilito dall'American Society of Echocardiography¹⁸.

La frazione di accorciamento (FAC) e la frazione di eiezione (FE) sono state calcolate in M-mode dai valori dei diametri del VS in telediastole (DTD) e in telesistole (DTS) con le seguenti formule: $FAC (\%) = (DTD - DTS)/DTD$; $FE (\%) = DTD^3 - DTS^3 / DTD^3$ ¹⁸.

Inoltre, abbiamo studiato la funzione longitudinale globale destra e sinistra con indici quali il picco di escursione sistolica dell'anulus mitralico (MAPSE) e il picco di escursione sistolica dell'anulus tricuspide (TAPSE). Il MAPSE è stato calcolato dalla sezione apicale 4 camere posizionando il cursore M-mode a livello dell'anulus della valvola mitrale in corrispondenza del MAPSE della parete laterale del VS, del setto e della parete inferiore visualizzata dalla sezione apicale 2 camere. Il TAPSE è stato calcolato dalla sezione apicale 4 camere posizionando il cursore M-mode a livello dell'anulus della valvola tricuspide. Viene quindi valutata l'escursione tra la telesistole (in corrispondenza dell'onda T dell'elettrocardiogramma) e la telediastole (in corrispondenza del complesso QRS dell'elettrocardiogramma).

La funzione diastolica è stata studiata analizzando il flusso transmitralico da una sezione apicale 4 camere. Abbiamo posizionato il volume campione del Doppler pulsato all'apice dei lembi valvolari mitralici. Abbiamo così registrato le velocità E ed A (m/s), da cui viene calcolato il loro rapporto (E/A). Inoltre, abbiamo calcolato il tempo di decelerazione della velocità E e il tempo di rilasciamento isovolumetrico, che abbiamo registrato con il Doppler pulsato angolando il trasduttore nella sezione apicale 5 camere e posizionando il volume campione tra l'efflusso e l'afflusso del VS, in prossimità del lembo mitralico anteriore, in modo da registrare sia la velocità sistolica che quella protodiastolica. Durante tutti gli esami ecocardiografici non è stata ottenuta una traccia del respiro.

Studio con strain/strain rate imaging. Tutta la popolazione è stata studiata usando il System Seven (GE Vingmed Ultrasound, Horton, Norvegia) e trasduttori a frequenza di 3-7 MHz.

I dati sono stati acquisiti in modalità TVI (GE Vingmed Ultrasound, Horton, Norvegia) con un frame rate medio di 230 ± 10 frame/s e con un angolo settore di 15° .

Il segmento basale della parete posteriore è stato esaminato nelle proiezioni parasternali asse lungo e asse corto (Fig. 1). Le due serie di dati di questo segmento sono state le uniche usate per valutare la funzione radiale.

Per lo studio della funzione longitudinale regionale del VS abbiamo studiato il setto (Fig. 2) e la parete laterale, in proiezione apicale 4 camere, e la parete inferiore, in proiezione apicale 2 camere, perché quelle con il migliore allineamento con il fascio ultrasonoro. Per ciascuna parete abbiamo analizzato tre regioni: basale, media ed apicale. Per il ventricolo destro è stata studiata la parete libera in proiezione apicale 4 camere. Della parete libera del ventricolo destro così ottenuta sono stati analizzati soltanto due segmenti: il basale e il medio-apicale. Tutte le immagini ecocardiografiche sono state registrate alla fine dell'inspirazione per minimizzare il movimento cardiaco globale.

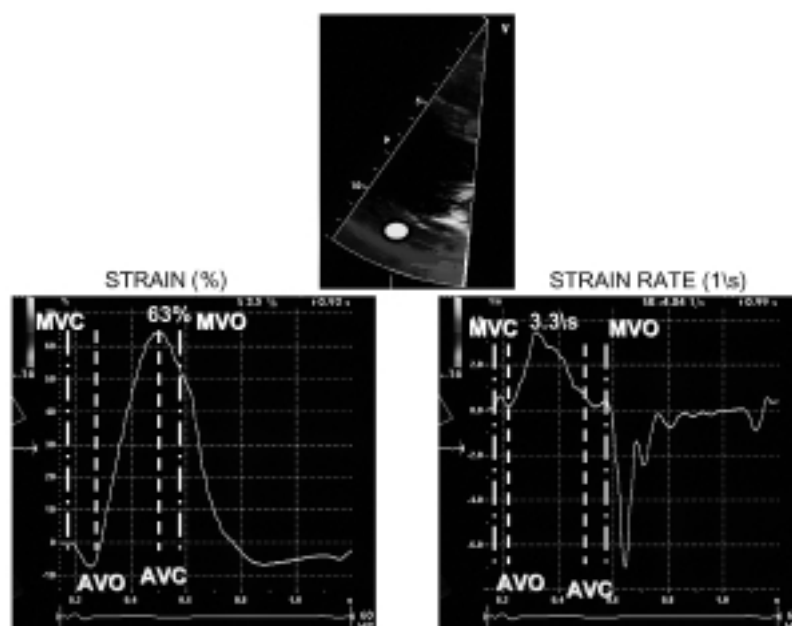


Figura 1. Esempio di studio della deformazione miocardica radiale. Dalla proiezione parasternale asse lungo, viene acquisito il segmento medio della parete posteriore con un angolo molto stretto, allo scopo di ottenere un frame rate > 200 frame/s. Da questa immagine vengono calcolati lo strain e lo strain rate. I due indici appaiono positivi in sistole (ispessimento) e negativi in diastole (assottigliamento). AVC = chiusura della valvola aortica; AVO = apertura della valvola aortica; MVC = chiusura della valvola mitrale; MVO = apertura della valvola mitrale.

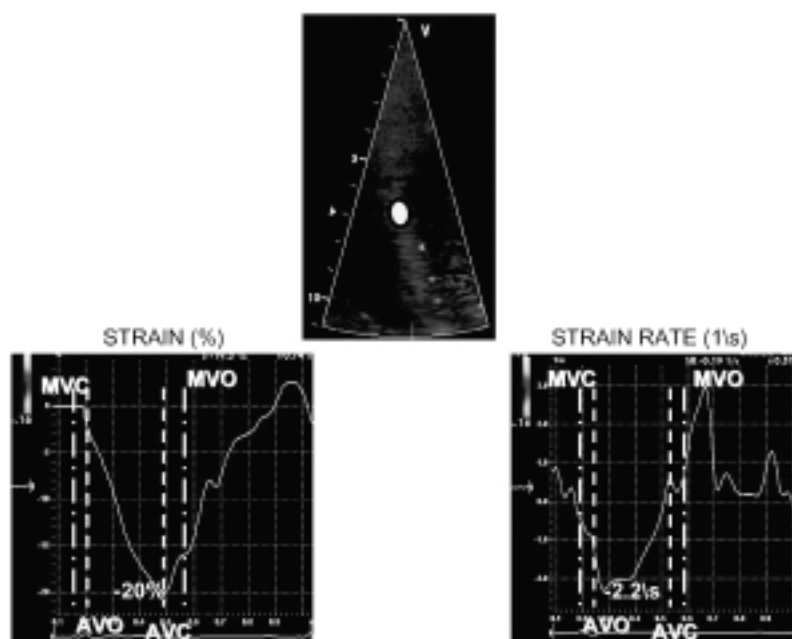


Figura 2. Esempio di studio della deformazione miocardica longitudinale. Dalla proiezione apicale 4 camere viene acquisito il setto interventricolare, con un angolo molto stretto, allo scopo di ottenere un frame rate > 200 frame/s. Da questa immagine vengono calcolati lo strain e lo strain rate. I due indici appaiono negativi in sistole (accorciamento) e positivi in diastole (allungamento). AVC = chiusura della valvola aortica; AVO = apertura della valvola aortica; MVC = chiusura della valvola mitrale; MVO = apertura della valvola mitrale.

La profondità dell'immagine e l'angolo settore in ogni proiezione sono state aggiustate per ottenere un frame rate più alto possibile per l'acquisizione di immagini con Doppler miocardico; il valore ottimale da raggiungere era un frame rate ≥ 200 frame/s.

Tutte le serie di dati di immagini bidimensionali con Doppler miocardico sono state analizzate off-line,

usando software dedicati (TVI 6.0, GE Vingmed Ultrasound, Horton, Norvegia), per ricavare le curve SR/ ϵ regionali per la deformazione radiale e longitudinale.

Lo ϵ /SR regionale è stato valutato durante l'analisi off-line con una zona di calcolo di 3 mm per la funzione radiale (proiezione parasternale, sia asse lungo che

asse corto) e di 7 mm per la funzione longitudinale (proiezione apicale).

Per il presente studio è stato considerato per l'analisi il picco sistolico, protodiastolico e telediastolico dello SR e dello ϵ .

I singoli eventi nelle curve di ϵ /SR sono stati identificati effettuando un timing avendo come riferimento il flusso transmitralico per definire inizio e fine della diastole ventricolare sinistra e il flusso aortico per definire inizio e fine della sistole ventricolare sinistra. Lo studio del ventricolo destro è stato effettuato avendo come riferimento il flusso trans-tricuspidalico per definire inizio e fine della diastole ventricolare destra e il flusso transpolmonare, misurato in sezione parasternale asse corto a livello della base, per definire inizio e fine della sistole ventricolare destra.

Analisi statistica. I dati sono stati espressi come media $\pm$ deviazione standard. Le variabili quantitative sono state comparate con il test t di Student per dati appaiati. Le correlazioni sono state effettuate con lo studio della correlazione lineare. Un valore di $p < 0.05$ è stato considerato statisticamente significativo.

La variabilità inter-osservatore è stata valutata facendo analizzare 10 immagini selezionate a caso in parasternale asse corto per la funzione radiale e 10 immagini selezionate a caso in 4 camere apicale per lo studio della funzione longitudinale da due investigatori indipendenti. Per valutare la variabilità intraosservatore un investigatore ha rianalizzato 10 immagini selezionate a caso in parasternale asse corto per la funzione radiale e 10 immagini selezionate a caso in 4 camere apicale per lo studio della funzione longitudinale a distanza di 1 settimana. Tutte le analisi sono state effettuate con il software "Statview".

Risultati

I dati ecocardiografici della nostra popolazione sono illustrati nella tabella I.

Valutazione della funzione longitudinale. Nelle tabelle II e III sono stati riportati i valori di picco sistolico, proto- e telediastolico dello SR/ ϵ .

I valori di SR/ ϵ risultano omogenei nei tre segmenti del setto interventricolare, della parete inferiore e laterale del VS. Eccetto i valori di picco telediastolico dello SR, il ventricolo destro presenta valori di SR/ ϵ più alti del VS. Tutte le curve di SR longitudinale sono negative in sistole (espressione di accorciamento regionale) e positive in diastole (espressione di allungamento regionale). I valori di SR/ ϵ longitudinali sono stati correlati con il MAPSE ed il TAPSE che sono espressione del movimento longitudinale globale. Il MAPSE correla con lo ϵ della stessa parete ($p < 0.05$, $r = -0.65$), mentre una correlazione significativa non è stata trovata con lo SR.

Tabella I. Dati ecocardiografici standard della popolazione studiata.

Età (anni)	11 $\pm$ 6
Sesso (M/F)	25/20
BSA (m ²)	1.2 $\pm$ 0.4
SIVtd (mm)	0.7 $\pm$ 2
PPtd (mm)	0.7 $\pm$ 2
LVtd (mm)	40 $\pm$ 0.7
FE (%)	68 $\pm$ 8
MAPSE-S (mm)	1.2 $\pm$ 0.2
MAPSE-L (mm)	1.4 $\pm$ 0.2
TAPSE (mm)	2.2 $\pm$ 0.4
MAPSE-I (mm)	1.3 $\pm$ 0.3
E (m/s)	0.9 $\pm$ 0.1
A (m/s)	0.5 $\pm$ 0.1
DT (ms)	160 $\pm$ 30
IVRT (ms)	56 $\pm$ 12

A = velocità di riempimento ventricolare telediastolico; BSA = area di superficie corporea; DT = tempo di decelerazione; E = velocità di riempimento ventricolare protodiastolico; FE = frazione di eiezione; IVRT = tempo di rilasciamento isovolumetrico; LVtd = diametro ventricolare sinistro in diastole; MAPSE-I = picco di escursione sistolica dell'anulus mitralico della parete inferiore; MAPSE-L = picco di escursione sistolica dell'anulus mitralico della parete laterale; MAPSE-S = picco di escursione sistolica dell'anulus mitralico settale; PPtd = spessore della parete posteriore in diastole; SIVtd = spessore del setto interventricolare in diastole; TAPSE = picco di escursione sistolica del piano dell'anulus tricuspidale.

Valutazione della funzione radiale. La funzione radiale della parete posteriore del VS è stata studiata dalla sezione parasternale sia asse lungo sia asse corto¹⁷. I valori di SR/ ϵ regionale sistolico e diastolico ottenuti dalla proiezione parasternale asse lungo non differiscono significativamente da quelli in parasternale asse corto (Tab. IV). Le curve di SR radiale mostrano una morfologia opposta rispetto a quelle longitudinali, per l'ispessimento miocardico sul piano radiale durante la sistole e l'assottigliamento durante la diastole (Figg. 1 e 2). Le stesse differenze si possono notare anche per le curve di ϵ . Lo ϵ radiale sistolico, proto- e telediastolico mostra valori uguali a più del doppio dei corrispondenti valori longitudinali del VS [ϵ sistolico 55 $\pm$ 6 vs (-)24 $\pm$ 8%, $p < 0.0001$; ϵ protodiastolico (-)40 $\pm$ 15 vs 17.22 $\pm$ 7%, $p < 0.0001$]. I valori assoluti di SR radiale sistolico e diastolico sono significativamente più alti rispetto a quelli longitudinali del VS (SR radiale sistolico 2.7 $\pm$ 0.5 s⁻¹ vs SR longitudinale sistolico (-)1.9 $\pm$ 0.7 s⁻¹; SR radiale picco protodiastolico [(-)6.2 $\pm$ 1.5 s⁻¹ vs SR longitudinale picco protodiastolico 2.24 $\pm$ 1.2 s⁻¹; $p < 0.0001$].

La FE e la FAC correlano in maniera statisticamente significativa con lo ϵ radiale ($p < 0.05$; $r = 0.70$), mentre una correlazione significativa non è stata trovata con lo SR.

La variabilità inter- ed intraosservatore per la funzione radiale è stata molto buona per il picco sistolico di $\epsilon \leq 5\%$, buona per il picco di ϵ diastolico precoce $\leq 6\%$, accettabile per il picco telediastolico di $\epsilon \leq 10\%$, con valori simili per lo SR ($\leq 6\%$ picco sistolico; $\leq 6\%$

Tabella II. Valori normali di picco di strain rate longitudinale in 45 soggetti sani di età 4-16 anni.

	Strain rate (1/s)		
	Sistole	Protodiastole	Telediastole
A4C - Setto			
Basale	-1.8 ± 0.6	2.6 ± 0.9	1.4 ± 0.6
Medio	-1.9 ± 0.6	1.3 ± 0.9	1.3 ± 0.7
Apicale	-1.7 ± 0.3	2.8 ± 0.9	0.8 ± 0.3
A4C - Parete laterale del VS			
Basale	-2.2 ± 1.1	2.7 ± 1.1	1.9 ± 1.2
Medio	-2.1 ± -1.0	3.4 ± 1.5	1.5 ± 0.8
Apicale	-1.9 ± 0.7	3.3 ± 0.9	1.0 ± 0.7
A2C - Parete inferiore del VS			
Basale	-1.7 ± 0.5	3.0 ± 1.0	1.4 ± 0.7
Medio	-1.9 ± 0.6	2.7 ± 1.4	1.4 ± 0.7
Apicale	-2.0 ± 0.5	3.5 ± 1.4	1.2 ± 0.5
A4C - Ventricolo destro			
Basale	-3.3 ± 0.7	3.9 ± 1.1	1.4 ± 1.1
Medio-apicale	-3.4 ± 0.9	4.1 ± 1.2	1.7 ± 1

A2C = sezione apicale 2 camere; A4C = sezione apicale 4 camere; VS = ventricolo sinistro.

Tabella III. Valori normali di picco di strain longitudinale in 45 soggetti sani di età 4-16 anni.

	Strain (%)		
	Sistole	Protodiastole	Telediastole
A4C - Setto			
Basale	-24 ± 6	17 ± 5	7 ± 6
Medio	-24 ± 8	14 ± 5	7 ± 6
Apicale	-24 ± 5	19 ± 7	3 ± 2
A4C - Parete laterale del VS			
Basale	-26 ± 11	14 ± 8	11 ± 7
Medio	-26 ± 8	19 ± 11	6 ± 6
Apicale	-25 ± 7	19 ± 11	3 ± 2
A2C - Parete inferiore del VS			
Basale	-24 ± 5	17 ± 5	7 ± 5
Medio	-24 ± 9	16 ± 7	6 ± 4
Apicale	-26 ± 9	20 ± 9	5 ± 3
A4C - Ventricolo destro			
Basale	-30 ± 14.9	20 ± 9	10 ± 4
Medio-apicale	-35.3 ± 5	25 ± 10	12 ± 6

A2C = sezione apicale 2 camere; A4C = sezione apicale 4 camere; VS = ventricolo sinistro.

Tabella IV. Valori normali di picco di strain rate e strain radiale in 45 soggetti sani di età 4-16 anni.

	Strain (%)			Strain rate (1/s)		
	Sistole	Protodiastole	Telediastole	Sistole	Protodiastole	Telediastole
Parete posteriore del VS						
Proiezione parasternale asse lungo	55 ± 6	-40 ± 15	-10 ± 8	2.6 ± 0.5	-6 ± 1.8	-1 ± 0.8
Proiezione parasternale asse corto	55 ± 6	-41 ± 13	-11 ± 9	2.8 ± 0.5	-6.2 ± 1.5	-1.3 ± 0.7

VS = ventricolo sinistro.

picco protodiastolico; ≤ 12% picco telediastolico). Per lo studio della funzione longitudinale la variabilità inter- ed intraosservatore per lo ε era ≤ 8% per il picco sistolico, ≤ 20% per il picco protodiastolico e ≤ 29% per

il picco telediastolico, con valori leggermente più alti per lo SR: rispettivamente ≤ 10, ≤ 25 e ≤ 33%. Il tempo necessario al “post-processing” per singolo paziente era di circa 15 min.

Discussione

Il nostro studio è la più grande casistica pubblicata di valori normali di SR/ε in età pediatrica, ottenuti con un frame rate largamente superiore a quanto pubblicato in precedenza da altri autori¹⁷.

Esso fornisce valori di normalità per bambini sani, utilizzando un software facilmente disponibile. Inoltre, questo studio conferma che lo SR/ε monodimensionale ottenuto con ultrasuoni è una tecnica sufficientemente robusta per essere usata nelle indagini cliniche sui bambini.

L'applicazione clinica dello SR/ε può fornire uno strumento estremamente sensibile nel cogliere alterazioni precliniche della funzione sistolica regionale del VS, ed inoltre, non richiedendo assunti geometrici può essere di valore nello studio della funzione ventricolare destra.

Le misurazioni dello ε basate sugli ultrasuoni sono state convalidate in un lavoro sperimentale con sonomicrometria¹⁹ e nei pazienti adulti con "magnetic resonance tagging"²⁰.

In cardiologia pediatrica, gli studi precedenti hanno dimostrato l'attendibilità della tecnica dello SR/ε nel quantificare la funzione del ventricolo destro nei bambini sottoposti ad intervento di Senning²¹, nel monitorare la funzione del VS in pazienti con origine anomala della coronaria sinistra dell'arteria polmonare²² e nei bambini con insufficienza aortica congenita²³.

La metodologia usata in questo studio per desumere i dati di SR/ε è stata basata sulla comparazione dei profili della velocità mediante autocorrelazione.

Ciò richiede l'acquisizione di dati ad alto frame rate (≥ 200 frame/s) per risolvere nello stesso tempo tutti gli eventi ad alta velocità che si verificano durante un normale ciclo cardiaco.

L'acquisizione di questo alto frame rate ha il vantaggio di migliorare il "signal to noise ratio". Ciò spiega anche la nostra migliore variabilità inter- ed intraosservatore, confrontata con il lavoro di Weidemann et al.¹⁷ che utilizza un frame rate di circa 160 frame/s. La migliore qualità del segnale così ottenuto, insieme all'utilizzo di nuovi e più veloci software di analisi, spiega anche il minor tempo necessario al "post-processing" (circa 15 min per singolo paziente) rispetto ai precedenti studi^{9,17}.

I valori di SR/ε sia longitudinale che radiale da noi ottenuti sono sovrapponibili a quelli riportati da Weidemann et al.¹⁷. Il nostro studio conferma che lo ε è un parametro pre- e postcarico dipendente come dimostrato dalle significative correlazioni da noi riscontrate fra ε longitudinale con MAPSE e fra ε radiale e FE/FAC (tutti parametri pre- e postcarico dipendenti). Al contrario, in accordo con precedenti studi²⁴⁻²⁶, lo SR si conferma parametro relativamente pre- e postcarico indipendente, non essendo nella nostra casistica correlato con FE/FAC, MAPSE e TAPSE.

Nel nostro studio abbiamo valutato per l'analisi con SR/ε imaging, in accordo con il gruppo di Suther-

land^{2,25}, solo due segmenti della parete libera del ventricolo destro: il basale e il medio-apicale. Abbiamo adottato tale divisione perché ad essa corrisponde una differenza morfologica dei segmenti in esame, infatti, il segmento basale corrisponde alla porzione liscia della parete ventricolare destra e il medio-apicale alla porzione trabecolata.

In aggiunta, mentre per il VS viene proposta una divisione in tre segmenti, in accordo con la differente irrorazione coronarica, ciò non è valido per il ventricolo destro.

Limiti. La tecnica da noi utilizzata offre solo una misurazione monodimensionale in tempo reale di SR/ε regionale per ciascuna direzione radiale o longitudinale.

Inizia ad essere disponibile un software preliminare per l'analisi dello SR/ε bidimensionale. Inoltre, alla stato attuale il frame rate dello SR/ε bidimensionale è < 80 frame/s.

A causa dell'angolo-dipendenza dello SR/ε monodimensionale una particolare cura è stata tenuta per allineare il fascio di onde ultrasoniche con la direzione analizzata del movimento miocardico.

In conclusione, questo studio rappresenta la più grossa casistica pubblicata sullo SR/ε in età pediatrica e fornisce i valori di normalità per bambini da 4 a 16 anni utilizzando un software commerciale facilmente reperibile.

Riassunto

Razionale. Lo strain rate (SR) e lo strain (ε) imaging rappresentano nuovi indici di deformazione miocardica regionale. Recentemente lo SR imaging è stato utilizzato anche nello studio della funzione miocardica regionale in età pediatrica e in presenza di cardiopatie congenite. Quindi la misurazione dei valori normali di SR/ε in bambini sani è un prerequisito necessario per il loro uso nella valutazione quantitativa delle patologie congenite. Scopo dello studio è riportare valori di SR/ε in bambini sani sia per il ventricolo destro che sinistro, utilizzando un software commerciale largamente diffuso.

Materiali e metodi. Abbiamo selezionato 45 soggetti sani (25 maschi e 20 femmine, età 11 ± 6 anni, range 4-16 anni) con area di superficie corporea di 1.2 ± 0.4 m².

Risultati. I valori di SR/ε risultano omogenei nei tre segmenti del setto interventricolare, della parete inferiore e laterale del ventricolo sinistro (VS). Eccetto i valori di picco telediastolico dello SR, il ventricolo destro presenta valori di SR/ε più alti del VS. L'escursione massima dell'anulus mitralico correla con lo ε della stessa parete ($p < 0.05$, $r = -0.65$). I valori assoluti di ε/SR radiale sistolico e diastolico sono significativamente più alti rispetto a quelli longitudinali del VS [ε sistolico 55 ± 6 vs $(-24 \pm 8\%$, $p < 0.0001$; ε protodia-

stolico $(-40 \pm 15$ vs $17.22 \pm 7\%$, $p < 0.0001$; SR sistolico 2.7 ± 0.5 vs $(-1.9 \pm 0.7$ s⁻¹; SR picco protodiastolico $(-6.2 \pm 1.5$ vs 2.24 ± 1.2 s⁻¹, $p < 0.0001$). La frazione di eiezione e la frazione di accorciamento correlano in maniera statisticamente significativa con lo ϵ radiale ($p < 0.05$, $r = 0.70$).

Conclusioni. Questo studio rappresenta la più grossa casistica pubblicata sullo SR/ ϵ in età pediatrica, e fornisce i valori di normalità per bambini da 4 a 16 anni utilizzando un software commerciale e facilmente reperibile.

Parole chiave: Età pediatrica; Funzione ventricolare destra; Strain rate.

Bibliografia

- Picano E, Lattanzi F, Orlandini A, Marini C, L'Abbate A. Stress echocardiography and the human factor: the importance of being expert. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 666-9.
- Sutherland GR, Di Salvo G, Claus P, D'hooge J, Bijnsens B. Strain and strain rate imaging: a new clinical approach to quantifying regional myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004; 17: 788-802.
- Rychik J, Tian ZY. Quantitative assessment of myocardial tissue velocities in normal children with Doppler tissue imaging. *Am J Cardiol* 1996; 77: 1254-7.
- Kapusta L, Thijssen JM, Cuypers MH, Peer PG, Daniels O. Assessment of myocardial velocities in healthy children using tissue Doppler imaging. *Ultrasound Med Biol* 2000; 26: 229-37.
- Garcia MJ, Rodriguez L, Ares M, Griffin BP, Thomas JD, Klein AL. Differentiation of constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy: assessment of left ventricular diastolic velocities in longitudinal axis by Doppler tissue imaging. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 108-14.
- Severino S, Caso P, Galderisi M, et al. Use of pulsed Doppler tissue imaging to assess regional left ventricular diastolic dysfunction in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1998; 82: 1394-8.
- Hashimoto I, Li X, Hejmadi Bhat A, Jones M, Zetts AD, Sahn DJ. Myocardial strain rate is a superior method for evaluation of left ventricular subendocardial function compared with tissue Doppler imaging. *J Am Coll Cardiol* 2003; 42: 1574-83.
- 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.
- 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.
- Voigt JU, Nixdorff U, Bogdan R, et al. Comparison of deformation imaging and velocity imaging for detecting regional inducible ischaemia during dobutamine stress echocardiography. *Eur Heart J* 2004; 25: 1517-25.
- Voigt JU, Exner B, Schmiedehausen K, et al. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation* 2003; 107: 2120-6.
- Weidemann F, Dommke C, Bijnsens B, et al. Defining the transmural of a chronic myocardial infarction by ultrasonic strain-rate imaging: implications for identifying intramural viability. An experimental study. *Circulation* 2003; 107: 883-8.
- Abraham TP, Nishimura RA, Holmes DR Jr, Belohlavek M, Seward JB. Strain rate imaging for assessment of regional myocardial function: results from a clinical model of septal ablation. *Circulation* 2002; 105: 1403-6.
- Kowalski M, Herbots L, Weidemann F, et al. One-dimensional ultrasonic strain and strain rate imaging: a new approach to the quantitation of regional myocardial function in patients with aortic stenosis. *Ultrasound Med Biol* 2003; 29: 1085-92.
- Buyse G, Mertens L, Di Salvo G, et al. Idebenone treatment in Friedreich's ataxia: neurological, cardiac, and biochemical monitoring. *Neurology* 2003; 60: 1679-81.
- Di Salvo G, Pacileo G, Caso P, et al. Un nuovo approccio ecocardiografico per la quantizzazione della funzione miocardica nelle cardiopatie congenite: lo "strain" e lo "strain rate imaging". *Ital Heart J Suppl* 2003; 4: 375-82.
- 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.
- Sahn DJ, De Maria A, Kisslo J, Weyman A. The committee on M-mode standardization of the American Society for Echocardiography: recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography; results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 1978; 58: 1072-83.
- Urheim S, Edvardsen T, Torp T, Angelsen B, Smiseth O. Myocardial strain by Doppler echocardiography: validation of a new method to quantify regional myocardial function. *Circulation* 2000; 102: 1158-64.
- 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.
- Eyskens B, Weidemann F, Kowalski M, et al. Regional right and left ventricular function after the Senning operation: an ultrasonic study of strain rate and strain. *Cardiol Young* 2004; 14: 255-64.
- Mertens L, Weidemann F, Sutherland GR. Left ventricular function before and after repair of an anomalous left coronary artery arising from the pulmonary trunk. *Cardiol Young* 2001; 11: 79-83.
- Di Salvo G, Pacileo G, Verrengia M, et al. Early myocardial abnormalities in asymptomatic patients with severe isolated congenital aortic regurgitation: an ultrasound tissue characterization and strain rate study. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18: 122-7.
- 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.
- Dambrauskaite V, Herbots L, Claus P, et al. Differential changes in regional right ventricular function before and after a bilateral lung transplantation: an ultrasonic strain and strain rate study. *J Am Soc Echocardiogr* 2003; 16: 432-6.
- Weidemann F, Jamal F, Sutherland GR, et al. Myocardial function defined by strain rate and strain during alterations in inotropic states and heart rate. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2002; 283: H792-H799.