

# Correspondencia de la deformación miocárdica con la teoría de Torrent-Guasp. Aporte de nuevos parámetros ecocardiográficos

## Correspondence of Myocardial Strain with Torrent-Guasp's Theory. Contributions of New Echocardiographic Parameters

VICENTE MORA<sup>1</sup>, ILDEFONSO ROLDÁN<sup>1</sup>, ASSUMPCIÓ SAURÍ<sup>1</sup>, RUBÉN FERNÁNDEZ-GALERA<sup>1</sup>, MARTA MONTEAGUDO<sup>1</sup>, ELENA ROMERO<sup>1</sup>, CLAUDIA CABADÉS<sup>1</sup>, JUAN A. COSÍN<sup>2</sup>, JORGE C. TRAININI<sup>MTSAC, 3</sup>, JORGE A. LOWENSTEIN<sup>MTSAC, 4</sup>

### RESUMEN

**Introducción:** El *strain*, o deformación, evaluado mediante ecocardiografía *speckle tracking*, puede utilizarse para estudiar la mecánica del ventrículo izquierdo y permitiría establecer valores de referencia junto con nuevos índices de función miocárdica.

**Objetivo:** Demostrar la correspondencia de los valores ecocardiográficos con la teoría de la banda única de Torrent-Guasp.

**Material y métodos:** Estudio prospectivo observacional de 54 voluntarios sanos. Se utilizaron las tres proyecciones apicales para determinar el *strain* longitudinal. El *strain* radial, el *strain* circunferencial y la rotación se determinaron en planos transversales a nivel de la válvula mitral, los músculos papilares y el ápex.

**Resultados:** La edad media fue de  $52,5 \pm 10,1$  años. El *strain* longitudinal global del ventrículo izquierdo fue de  $-20,8\% \pm 2,4\%$ . Una deformación postsistólica en el *strain* longitudinal afecta fundamentalmente a segmentos del septo interventricular. El *strain* radial fue de  $36,5\% \pm 10,7\%$ , con valores basales predominantes sobre los apicales, extendiendo su duración hasta la protodiástole. El *strain* circunferencial fue de  $-20,8\% \pm 3,8\%$ , con valores mayores hacia el ápex. El giro, o *twist*, fue de  $18,4^\circ \pm 6^\circ$ , la torsión fue de  $2,2^\circ \pm 0,8^\circ/\text{cm}$  y el índice de torsión (giro/excursión sistólica del anillo mitral) fue de  $13,1^\circ \pm 4,4^\circ/\text{cm}$ . El índice combinado de deformación incluye el "producto de deformación" ( $-387^\circ \pm 147^\circ \times \%$ ) y el "índice de deformación" ( $-0,9^\circ \pm 0,3^\circ/\%$ ), calculados como giro  $\times$  *strain* longitudinal y giro/*strain* longitudinal, respectivamente.

**Conclusiones:** Nuevos parámetros de deformación pueden ser útiles en el estudio de la mecánica ventricular. La disposición anatómica descrita por la teoría de la banda miocárdica se ve apoyada ecocardiográficamente por la presencia de mayor *strain* radial a nivel basal-medial (predominio de fibras transversales), mientras que la disposición variable de las fibras oblicuas son las responsables del *strain* longitudinal, el *strain* circunferencial y la torsión ventricular.

**Palabras clave:** Ecocardiografía/métodos - Función ventricular izquierda/fisiología - Contracción miocárdica - Parámetro combinado de deformación

### ABSTRACT

**Background:** Strain, assessed by speckle tracking echocardiography, may be used to evaluate left ventricular mechanics and could establish reference values together with new indices of myocardial function.

**Objective:** The aim of this study was to demonstrate the correspondence of echocardiographic strain values with Torrent-Guasp's single band theory.

**Methods:** A prospective observational study was conducted in 54 healthy volunteers. The three apical projections were used to determine longitudinal strain. Radial strain, circumferential strain and rotation were assessed in transverse planes at the level of the mitral valve, the papillary muscles and the apex.

**Results:** Mean age was  $52 \pm 10.1$  years. Global left ventricular longitudinal strain was  $-20.8\% \pm 2.4\%$ . Postsystolic longitudinal strain mainly affects interventricular septal segments. Radial strain was  $36.5\% \pm 10.7\%$ , with basal values prevailing over apical ones, extending its duration to the early phase of diastole. Circumferential strain was  $-20.8\% \pm 3.8\%$ , with larger values towards the apex. Twist was  $18.4^\circ \pm 6^\circ$ , torsion  $2.2^\circ \pm 0.8^\circ/\text{cm}$  and the torsion index (twist/mitral annular plane systolic excursion)  $13.1^\circ \pm 4.4^\circ/\text{cm}$ . The combined strain index includes the "strain product" ( $-387^\circ \pm 147^\circ \times \%$ ), and the "strain index" ( $-0.9^\circ \pm 0.3^\circ/\%$ ) calculated as twist  $\times$  longitudinal strain and twist/longitudinal strain, respectively.

**Conclusions:** New strain parameters may be useful in the study of ventricular mechanics. The anatomical arrangement described by the myocardial band theory is echocardiographically supported by the presence of larger radial strain at the basal-medial level (prevalence of transverse fibers), while the variable arrangement of oblique fibers are responsible for longitudinal strain, circumferential strain and ventricular torsion.

**Key words:** Echocardiography/methods - Ventricular Function, Left/physiology - Myocardial Contraction/physiology - Combined Strain Ratio

REV ARGENT CARDIOL 2016;84:565-573. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v84.i6.9656>

Recibido: 21/09/2016 - Aceptado: 27/10/2016

**Dirección para separatas:** Vicente Mora Llabata - Servicio de Cardiología. Hospital Universitario Doctor Peset - Avda. Gaspar Aguilar 90. 46017. Valencia, España - Tel. 96 1622589. Fax 96 1622589 - e-mail: vmoral@com.es

<sup>MTSAC</sup> Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

<sup>1</sup> Servicio de Cardiología - Hospital Universitario Doctor Peset. Valencia, España

<sup>2</sup> Unidad de Cardiología Experimental - Centro de Investigación Hospital Universitario La Fe. Valencia, España

<sup>3</sup> Hospital Presidente Perón. Buenos Aires, Argentina. Fundación y Centro de Ingeniería Biomédica y Tecnologías Sanitarias. Madrid, España

<sup>4</sup> Servicio de Cardiodiagnóstico, Investigaciones Médicas de Buenos Aires. Argentina

## Abreviaturas

DPS	Deformación postsistólica	NT-proBNP	Fracción N terminal del péptido natriurético cerebral
ECG	Electrocardiograma	SC	Strain circunferencial
EcST	Ecocardiografía <i>speckle tracking</i>	SL	Strain longitudinal
MAPSE	Mitral annular plane systolic excursion (Excursión sistólica del plano del anillo mitral)	SR	Strain radial
		VI	Ventrículo izquierdo

## INTRODUCCIÓN

La función del ventrículo izquierdo (VI) es el resultado de la contracción y relajación de una compleja arquitectura de fibras miocárdicas que determinan cambios en la forma y el tamaño del VI. (1, 2)

El *strain*, o deformación, obtenido a partir de la ecocardiografía *speckle tracking* (EcST), permite cuantificar la función miocárdica regional. (3, 4) La EcST permite estimar el *strain* longitudinal (SL), el radial (SR) y el circunferencial (SC) del miocardio independientemente del ángulo de adquisición de la imagen y evaluar la mecánica rotacional del VI. (5, 6) Su exactitud se ha validado con sonomicrometría y resonancia magnética. (7-9)

Dos de los enfoques más controvertidos al intentar la descripción de la función y la arquitectura miofibrilar cardíaca son el modelo de malla miocárdica propuesto por Anderson y colaboradores (10, 11) y la banda miocárdica ventricular de Torrent-Guasp y colaboradores. (12, 13) El modelo de malla propone una disposición longitudinal y radial de los miocitos, con angulaciones que varían con la profundidad miocárdica. Torrent-Guasp y colaboradores (12-14) describieron la orientación helicoidal de las miofibras como una sola banda miocárdica en doble hélice que forma dos lazadas, una basal transversal y una apical oblicua con un componente descendente y otro ascendente.

Las fibras transversales de la lazada basal envuelven la lazada apical incluyendo los dos tercios superiores y, en menor medida, el tercio inferior o apical (Figura 1).

El presente estudio se realizó con el propósito de obtener mediante EcST bidimensional valores de referencia del *strain* junto con nuevos índices de función miocárdica. Se analizó la correspondencia de la expresión del *strain* con la disposición muscular descrita en la teoría de la banda miocárdica de Torrent-Guasp.

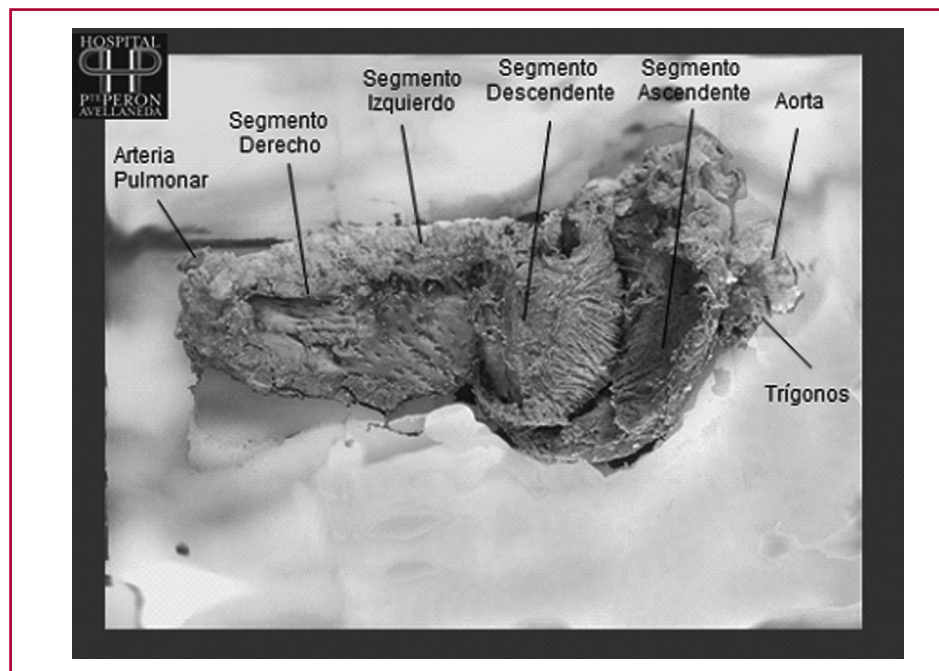
## MATERIAL Y MÉTODOS

### Población en estudio

Estudio prospectivo observacional de 54 voluntarios sanos. Los criterios para la inclusión fueron: edad > 18 años, ausencia de enfermedad cardiovascular y exploración física y electrocardiograma (ECG) normales. Los criterios de exclusión fueron entrenamiento deportivo, embarazo y presencia de factores de riesgo cardiovascular.

### Ecocardiografía

Se utilizó un ecógrafo (Vivid E9, GE Healthcare Medical Systems, Noruega) equipado con transductor de 2,5 MHz. Se obtuvieron proyecciones bidimensionales desde el plano apical (cuatro y dos cámaras, y de eje largo) para el cálculo del SL y paraesternal (proyecciones transversales a nivel de la válvula mitral, músculos papilares y apical) para el cálculo del SR, el SC y los parámetros de rotación. Todas las imágenes se obtuvieron con una frecuencia de entre 50-80 cuadros/segundo. Se determinó el momento de cierre valvular aórtico



**Fig. 1.** Fibras del segmento descendente. En el segmento ascendente se logró un plano de clivaje para observar cómo las fibras se van espiralando (de horizontales a verticales) para lograr el efecto mecánico de torsión ventricular. Disección realizada por los Dres. Jorge Trainini y Alejandro Trainini.

en la proyección apical de eje largo. Todos los exámenes se transfirieron a una estación de trabajo para su análisis con un programa informático (EchoPAC GE Healthcare *software* versión 112.0.0).

El límite del endocardio del VI se trazó ligeramente por dentro del miocardio. A continuación se generó automáticamente un segundo círculo concéntrico mayor cerca del epicardio para incluir todo el miocardio. El programa dividió en forma automática cada proyección en seis segmentos iguales y realizó el *speckle tracking* cuadro a cuadro, proporcionó una confirmación automatizada del *tracking* (que el operador verifica) y generó los valores de *strain*, expresados en porcentaje.

La rotación es un desplazamiento angular de un segmento miocárdico en una proyección transversal alrededor del eje longitudinal del VI. (15) La rotación sistólica apical en sentido antihorario se expresa en grados con valores positivos cuando se visualiza desde el vértice, y la rotación basal en sentido horario con valores negativos. El giro o *twist* es la diferencia neta en grados entre la rotación apical y la basal.

Se exploró la existencia y tipo de deformación postsistólica (DPS) a partir del SL (Figura 2 A). La “duración de la deformación” sistólica y postsistólica se estimó como el tiempo transcurrido desde el inicio del QRS en el ECG hasta la máxima deformación del SL y la diferencia entre ambas. (16)

La distancia entre la base y el ápex se determinó en telerdiástole al inicio del QRS. El acortamiento longitudinal del VI se estimó a partir de la excursión sistólica del plano del anillo mitral (MAPSE, del inglés *mitral annular plane systolic excursion*) en el plano apical de cuatro cámaras colocando el cursor en modo M a nivel septal y lateral del anillo, promediando ambos valores. (17)

Se evaluó una serie de parámetros destinados a la determinación de la función miocárdica del VI:

a) Torsión: Giro/distancia base-ápex (grados/cm).

b) Índice de torsión: Giro/MAPSE (grados/cm).

c) Parámetro combinado de deformación:  
Producto de deformación: Giro  $\times$  SL (grados  $\times$  %).  
Índice de deformación: Giro/SL (grados/SL).

### Análisis estadístico

Las variables continuas se expresan como media y desviación estándar. Se compararon los valores de *strain* de varones y mujeres y las regiones mediante una prueba *t* y análisis de la varianza (ANOVA) según fuera apropiado. Los valores de  $p < 0,05$  se consideraron estadísticamente significativos.

La reproducibilidad intraobservador e interobservador de las variables continuas se evaluó con el coeficiente de correlación intraclass de acuerdo en una muestra aleatoria de 10 casos con enmascaramiento y realizando las mediciones en diferentes momentos. Se analizó, asimismo, la representación gráfica obtenida con el método de Bland-Altman. La normalidad de la distribución de los parámetros estudiados se comprobó con la prueba de Shapiro-Wilk.

Los análisis estadísticos se realizaron con IBM SPSS Statistics v.19.0.0.329.

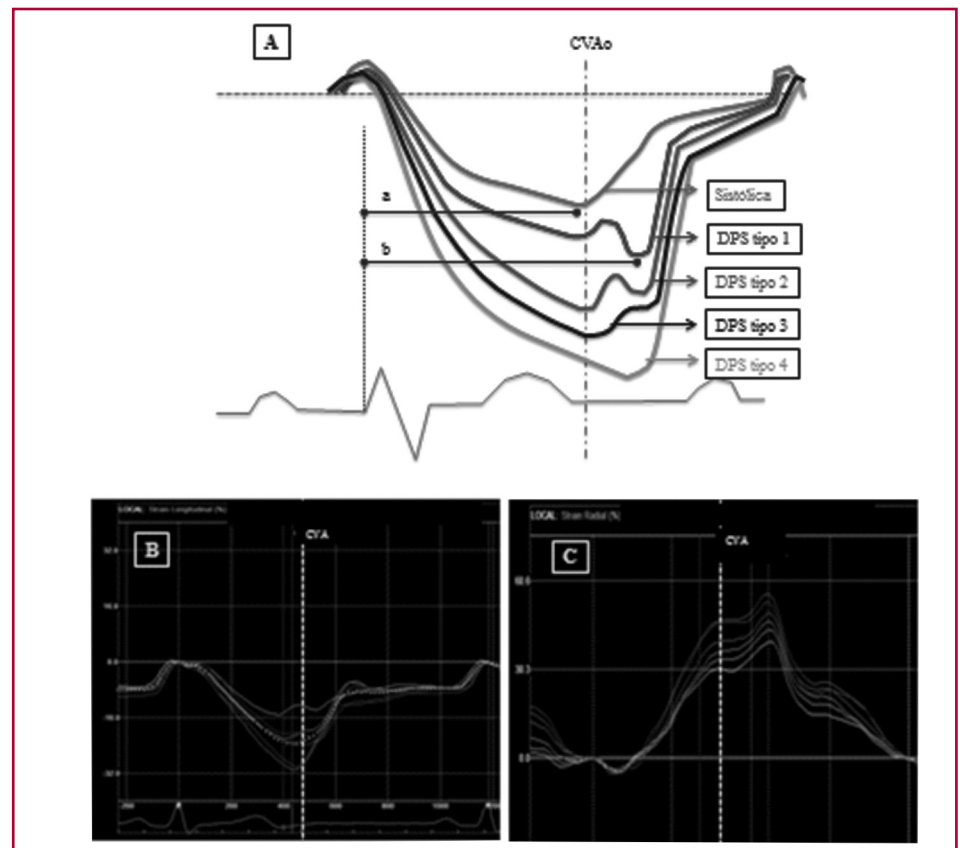
### Consideraciones éticas

El estudio recibió la aprobación del Comité de Ética de nuestro hospital y se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los participantes.

### RESULTADOS

En la Tabla 1 se detallan las características de la población. La amplitud del SL global del VI fue de  $-20,8\% \pm 2,4\%$  (Tabla 2), con valores que van aumentando a nivel regional desde la base del VI hacia el ápex. Se observa

**Fig. 2. A.** Representación de tipos morfológicos de deformación longitudinal observados en sujetos sanos (mención solo a la morfología, independientemente de la amplitud). a: Duración de la deformación sistólica. b: Duración de la deformación postsistólica. **B.** Deformación postsistólica medial (azul claro) y basal (amarillo) del tabique interventricular y basal lateral (rojo). **C.** *Strain* radial basal. Véase la imagen en color en la web. CVAo: Cierre valvular aórtico. DPS: Deformación postsistólica.



	Total (n = 54)	Hombres (n = 32)	Mujeres (n = 22)	p
Edad	52,5 ± 10,1	53,0 ± 8,9	51,7 ± 11,8	0,65
Superficie corporal	1,8 ± 0,2	1,9 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,001
Frecuencia cardíaca	63 ± 10	60 ± 11	66 ± 9	0,04
Tensión arterial sistólica, mm Hg	127 ± 15	130 ± 14	122 ± 15	0,05
Aurícula izquierda, cm <sup>2</sup>	16 ± 3	17 ± 3	14 ± 2	0,01
Ventrículo izquierdo diástole, mm	46,8 ± 4,5	48,6 ± 4,6	44,4 ± 2,9	0,001
Masa ventricular izquierda	172,6 ± 50,2	192,1 ± 54,0	145,1 ± 26,7	0,001
VTDVI, ml	93,1 ± 30,4	105,5 ± 28,1	75,0 ± 24,3	0,001
VTSVI, ml	29,8 ± 11,7	34,6 ± 11,5	22,7 ± 8,2	0,001
FEVI, %	68,2 ± 5,1	67,4 ± 5,3	69,5 ± 5,3	0,13

VTDVI: Volumen telediastólico del ventrículo izquierdo. VTSVI: Volumen telesistólico del ventrículo izquierdo. FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo.

**Tabla 1.** Características de la población control (n = 54), diferenciadas por sexo

	Total (n = 54)	Hombres (n = 32)	Mujeres (n = 22)	p
<b>Strain longitudinal</b>				
Basal	-19,6 ± 2,4	-19,2 ± 2,3	-20,2 ± 2,5	0,11
Medial	-21,2 ± 2,4	-20,7 ± 2,1	-21,9 ± 2,7	0,08
Apical	-21,9 ± 3,6	-21,2 ± 3,5	-22,9 ± 3,5	0,09
<b>Global</b>	<b>-20,8 ± 2,4</b>	<b>-20,3 ± 2,2</b>	<b>-21,6 ± 2,6</b>	<b>0,06</b>
<b>Strain radial</b>				
Basal	44,2 ± 18,5	44,5 ± 22,9	43,8 ± 18,1	0,90
Medial	41,8 ± 16,1	42,4 ± 18,5	41,1 ± 12,2	0,77
Apical	23,5 ± 16,1	23,5 ± 12,6	23,5 ± 20,4	0,99
<b>Global</b>	<b>36,5 ± 10,7</b>	<b>36,8 ± 10,7</b>	<b>36,1 ± 11,1</b>	<b>0,82</b>
<b>Strain circunferencial</b>				
Basal	-16,8 ± 3,5	-16,5 ± 3,5	-17,3 ± 3,7	0,47
Medial	-19,8 ± 5,0	-20,5 ± 5,2	-18,9 ± 4,7	0,26
Apical	-25,6 ± 6,6	-25,7 ± 7,6	-25,5 ± 5,2	0,89
<b>Global</b>	<b>-20,8 ± 3,8</b>	<b>-20,9 ± 3,9</b>	<b>-20,5 ± 20,8</b>	<b>0,73</b>
MAPSE, cm	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,11
DDS, mseg	359 ± 30	352 ± 30	367 ± 29	0,08
DDPS, mseg	447 ± 28	442 ± 22	453 ± 33	0,17
DDPS-DDS, mseg	88,2 ± 7,1	90,2 ± 9,7	85,9 ± 2,5	0,10
Rotación apical, grados	12,5 ± 4,6	12,6 ± 4,2	12,5 ± 5,3	0,95
Rotación basal, grados	-5,9 ± 3,7	-5,5 ± 3,7	-6,5 ± 3,6	0,31
Giro, grados	18,4 ± 6,0	18,0 ± 5,5	18,9 ± 6,8	0,59
Torsión, grados/cm	2,2 ± 0,8	2,0 ± 0,7	2,4 ± 0,9	0,08
Índice de torsión, grados/cm	13,1 ± 4,4	12,6 ± 4,2	13,9 ± 4,6	0,30
<b>Parámetro combinado de deformación</b>				
Producto de deformación, grados × %	-387 ± 147	-367 ± 120	-416 ± 178	0,23
Índice de deformación grados/%	-0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,80

MAPSE: Excursión sistólica del plano del anillo mitral. SL: *Strain* longitudinal. DDS: Duración de deformación sistólica. DDPS: Duración de deformación postsistólica.

**Tabla 2.** Valores de *strain* longitudinal, radial, circunferencial y parámetros de rotación en población total y diferenciada por sexo

una DPS más frecuente en los segmentos del septo interventricular y basales de las paredes adyacentes anterior e inferior (Figuras 2 B y 3). La duración de

la deformación sistólica media fue de 359 ± 30 mseg y la postsistólica fue de 447 ± 28 mseg; diferencia entre ambas: 88 ± 7,1 mseg (véase Tabla 2).

El SR mostró valores predominantes a nivel basal y medial sobre los apicales (véase Tabla 2). Su duración se extiende hasta la primera fase de la diástole, siendo más evidente a nivel basal (Figura 2 C). El SC global del VI mostró valores progresivamente de mayor amplitud desde la base hacia el ápex (véase Tabla 2).

### Rotación, giro y torsión del ventrículo izquierdo

Tanto a nivel basal como apical es característico al inicio de la rotación un movimiento en sentido opuesto al regional dominante (Figura 4). Los valores medios de rotación apical y basal en el momento del giro sistólico máximo del VI se muestran en la Tabla 2. El giro fue de  $18,4^\circ \pm 6^\circ$  y la torsión máxima, de  $2,2^\circ \pm 0,8^\circ/\text{cm}$ .

El índice de torsión, cociente entre giro y MAPSE, fue de  $13,1^\circ \pm 4,4^\circ/\text{cm}$ . El parámetro combinado de deformación se utiliza para una estimación conjunta más completa y sensible de la función miocárdica (producto de deformación:  $-387^\circ \pm 147^\circ \times \%$ ) y el tipo de afectación de ella (índice de deformación:  $-0,9^\circ \pm 0,3^\circ/\%$ ) (véase Tabla 2). La variabilidad intraobservador e interobservador (Tabla 3) fue buena, con coeficientes de correlación intraclase  $> 0,75$ . En comparación con los sujetos  $< 50$  años, en los  $\geq 50$  años fueron mayores el giro ( $19,5^\circ \pm 6,1^\circ$  vs.  $15,6^\circ \pm 5,0^\circ$ ;  $p = 0,03$ ), la torsión ( $2,4^\circ \pm 0,8^\circ$  vs.  $1,7^\circ \pm 0,6^\circ$ ;  $p = 0,01$ ) y el índice de torsión ( $14,2^\circ \pm 4,5^\circ$  vs.  $10,6^\circ \pm 3,0^\circ$ ;  $p = 0,001$ ). El producto de deformación no mostró diferencias con la edad, mientras que en los  $\geq 50$  años el índice de deformación fue mayor ( $-0,9^\circ \pm 0,3^\circ$  vs.  $0,7^\circ \pm 0,1^\circ$ ;  $p = 0,01$ ). Las diferencias de los parámetros de *strain* y mecánica rotacional según género se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 3.** Variabilidad intraobservador e interobservador

Coeficiente de correlación intraclase (IC del 95%)		P
<b>Intraobservador</b>		
<i>Strain</i> longitudinal global	0,86 (0,53-0,96)	< 0,001
Giro	0,94 (0,65-0,98)	< 0,001
Torsión	0,96 (0,84-0,99)	< 0,001
Índice de torsión	0,93 (0,63-0,98)	< 0,001
Producto de deformación	0,97 (0,82-0,99)	< 0,001
Índice de deformación	0,85 (0,52-0,96)	< 0,001
<b>Interobservador</b>		
<i>Strain</i> longitudinal global	0,87 (0,58-0,96)	< 0,001
Giro	0,85 (0,53-0,96)	< 0,001
Torsión	0,87 (0,59-0,96)	< 0,001
Índice de torsión	0,80 (0,41-0,94)	< 0,001
Producto de deformación	0,90 (0,65-0,97)	< 0,001
Índice de deformación	0,77 (0,31-0,94)	0,003

## DISCUSIÓN

### Deformación miocárdica y mecánica rotacional del ventrículo izquierdo

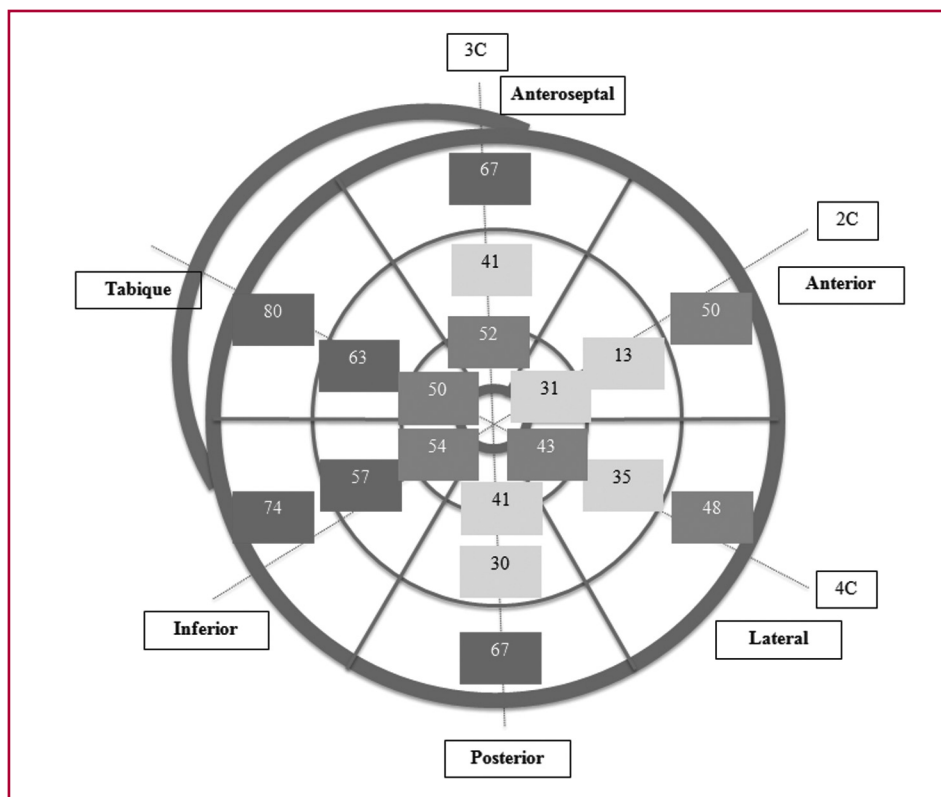
Presentamos los valores de *strain* y mecánica rotacional del VI en una población adulta sana junto con nuevos parámetros que pueden ser útiles en la evaluación de la función del VI.

Se observa un predominio del SR en la región basal y del SC en la apical, mientras que el SL muestra valores regionales más uniformes aumentando hacia el ápex. Según un metaanálisis reciente (18) que incluyó 2.597 sujetos (edad  $47 \pm 11$  años; el 51% varones), los valores normales de SL oscilaron entre -15,9% y -22,1%, el SC entre -20,9% y -27,8% y el SR entre 35,1% y 59%, con valores mayores del SL y el SC aumentando hacia el vértice.

Los valores de giro obtenidos concuerdan con los resultados de Kocabay y colaboradores, (2) menor en sujetos de 36-55 años ( $18,9^\circ \pm 7,3^\circ$ ) respecto de lo observado en los de 56-80 años ( $23^\circ \pm 8^\circ$ ). Tanto la rotación, sobre todo la apical, como la torsión del VI son factores determinantes de la función del VI y suelen aumentar con la edad, (18, 19) como se refleja en nuestra serie. Los valores de *strain*, torsión e índice de torsión fueron similares en ambos sexos (véase Tabla 2), aunque existe controversia al respecto. (18-20)

La torsión se calcula como el cociente del giro/distancia base-ápex en telediástole, aunque la medición exacta del denominador por eco bidimensional puede ser imprecisa a la hora de definir el endocardio apical. (21) Fisiológicamente, quizá sea más ajustado a la realidad el índice de torsión (giro/MAPSE), puesto que ambos parámetros traducen los movimientos activos que se producen simultáneamente durante la sístole “exprimiendo” el VI.

Es importante distinguir función miocárdica de función ventricular, siendo esta última consecuencia de la primera. El SL y el giro se han revelado como parámetros sensibles para evaluar la función miocárdica antes de traducirse en disfunción ventricular. (22) Se han descrito los valores de normalidad del SL, (23) en tanto que los de giro están menos tipificados. Proponemos la utilización de un “parámetro combinado de deformación” para evaluar la función del VI, de modo que el “producto de deformación (giro  $\times$  SL)” informa acerca de la función miocárdica y el “índice de deformación (giro/SL)” lo hace acerca del tipo de afectación predominante. Un producto “normal” se traduciría en una función global del VI conservada, ya sea por normalidad de ambos parámetros o por la compensación proporcionada entre ellos (producto “seudonormal”). Un “producto de deformación” disminuido puede deberse al descenso del SL, del giro o de ambos, y estaría caracterizado por el valor del “índice de deformación” (índice alto, bajo o normal, respectivamente). Así entonces, este “parámetro combinado de deformación” puede ayudar a detectar precozmente, distinguir el tipo y monitorizar el deterioro miocárdico producido en algunas cardiopatías o tratamientos oncológicos.



**Fig. 3.** Representación en ojo de buey de la frecuencia (%) en la detección de deformación postsistólica según segmentos.

Mornos y colaboradores (24) observan la correlación negativa del producto torsión del VI  $\times$  SL, similar al “producto de deformación”, con los valores de NT-proBNP en pacientes con miocardiopatía dilatada. Su evaluación aislada puede ocultar un valor seudonormal. Sin embargo, la evaluación del “parámetro combinado de deformación” (producto e índice) ofrecería una información más completa de la función miocárdica.

### Relación con la teoría de la banda miocárdica de Torrent-Guasp

La distribución muscular estructural del VI según los datos que nos proporciona el *strain* es coherente con lo propuesto por Torrent-Guasp (12-14) y resulta útil para entender cómo la activación de endocardio a epicardio justifica la torsión del VI.

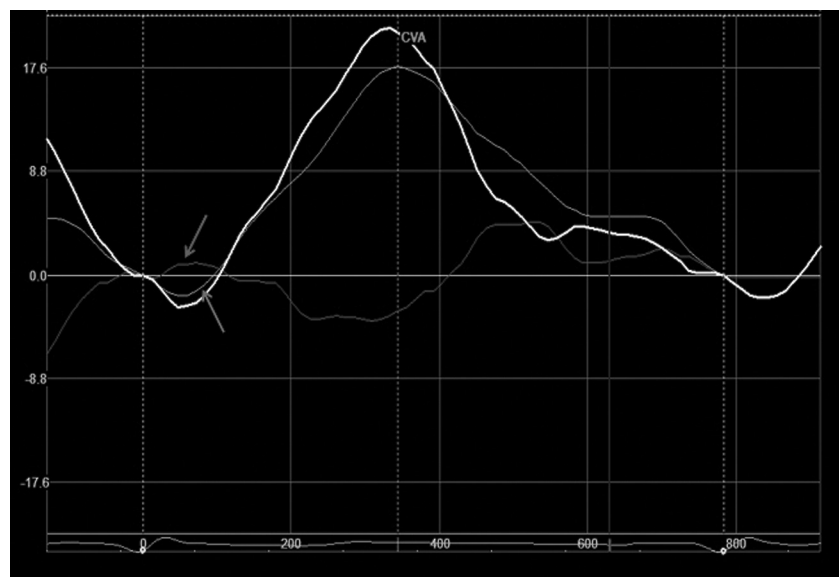
### Disposición muscular

La masa muscular miocárdica se concentra sobre todo a nivel medio-basal del VI, donde concurren fibras de la lazada basal y apical. Esto justifica que la máxima amplitud de la deformación obtenida mediante el SR se produzca a este nivel, extendiéndose además su duración hasta ocupar el período de relajación isovolumétrica y parte de la protodiástole (véanse Tabla 2 y Figura 2 C). El SL, fundamentalmente relacionado con la acción de las fibras fundamentales endocárdicas, aumenta en dirección al ápex. Estas fibras van adquiriendo una disposición progresivamente más oblicua hasta llegar al ápex (lo que se traduce en mayor deformación longitudinal), donde invierten su disposición mediante la formación de un bucle antes de adoptar una

dirección ascendente (véase Figura 1). A nivel apical, el SC es de mayor amplitud (véase Tabla 2), facilitando la rotación apical. A nivel basal, las fibras de la lazada apical también adoptan una disposición oblicua que facilita una rotación basal, aunque de menor amplitud (véanse Tabla 2 y Figura 4).

El SL muestra una característica DPS en algunos segmentos miocárdicos cuando ya se había iniciado la recuperación diastólica (véase Figura 2 A y B). Se objetiva fundamentalmente en los segmentos septales y en los basales anterior e inferior adyacentes (véase Figura 3), se corresponde en el tiempo con la parte final de la deformación radial y, al igual que esta, se produce en la primera fase de la diástole. Es decir, se registra actividad contráctil en la primera fase de la diástole, cuando ya se ha iniciado la relajación ventricular. Los segmentos con esta DPS del SL se corresponden con la localización anatómica de la lazada ascendente descrita por Torrent-Guasp, de disposición más epicárdica. La diferencia entre la duración de la deformación sistólica y postsistólica fue de  $88,2 \pm 7,1$  mseg, similar a la duración del QRS en nuestra población de sujetos sanos sin alteraciones de la conducción intraventricular, lo que se explicaría por la activación más tardía de las fibras epicárdicas ascendentes de la banda miocárdica involucradas en la succión ventricular protodiastólica, ya apuntada por Trainini y colaboradores (25) a partir de estudios electrofisiológicos. Mediante mapeo cartográfico electroanatómico tridimensional describen el inicio de la activación del VI en el endocardio del *septum* interventricular hacia el epicardio. Observan que la activación endocavitaria finaliza mucho antes del final

**Fig. 4.** Rotación basal (línea rosa), apical (línea azul) y giro (línea blanca). Rotación sistólica inicial basal (flecha rosa) y apical (flecha azul) en sentido contrario al regional predominante. CVA: Cierre valvular aórtico (línea de puntos vertical). Véase la imagen en color en la web.



del QRS, de modo que la más tardía correspondería a la activación de la porción distal de las fibras ascendentes, lo que justifica la persistencia de la contracción durante la fase isovolumétrica diastólica, base del mecanismo de succión ventricular. Este fenómeno se corresponde en el tiempo con la duración de la DPS observada con el SL a este nivel y con la prolongación del SL y el SR hasta la primera fase de la diástole objetivada en nuestro estudio.

Cosín y colaboradores (26) muestran experimentalmente mediante cristales piezoeléctricos intramiocárdicos que durante la fase de relajación isovolumétrica del VI el segmento ascendente de la lazada apexiana está contrayéndose. La infiltración con formaldehído del segmento ascendente prolonga la duración de la fase de relajación isovolumétrica y la capacidad de reducir la presión intraventricular al inicio de la diástole. La localización descrita de este segmento ascendente se corresponde con los segmentos anteroseptales donde se observa la DPS con el *strain*.

Investigaciones realizadas por Poveda y colaboradores, (27) a través del análisis experimental de reconstrucciones tractográficas con resonancia magnética, revelan una organización de las fibras miocárdicas en forma de estructura helicoidal continua concordante con el modelo de la banda ventricular única.

#### Activación contráctil y mecánica de torsión

La teoría de la banda miocárdica soporta la comprensión de una activación inicial del subendocardio hacia el epicardio contrayéndose en direcciones opuestas, y es capaz de explicar el movimiento de torsión por su disposición en doble hélice. El SL y el SC sistólicos se traducen en el engrosamiento miocárdico registrado por el SR con valores positivos debido a esta disposición miofibrilar. Si el SR fuese “activo” por acortamiento muscular de fibras dispuestas en dirección radial

debería codificarse con valores negativos por EcST, y no es así en sujetos sanos. El SR aparece así como la consecuencia del SL y el SC.

La propagación transmural de la activación eléctrica resulta en un acortamiento secuencial de las fibras de subendocardio a subepicardio. (28-30) Las fibras descendentes subendocárdicas de la lazada apical iniciarían la contracción, propagándose a continuación por las transversales y ascendentes dispuestas progresivamente en sentido opuesto. El mayor radio de la región subepicárdica domina la dirección de la rotación. (28)

Durante la contracción isovolumétrica, el ápex del VI muestra una breve rotación en sentido horario que revierte rápidamente y se transforma en sentido antihorario durante la eyección del VI. (30, 31) Este movimiento se invierte (en sentido horario) durante la relajación isovolumétrica y la protodiástole. Lo contrario se produce en la base del VI en menor magnitud. El *strain* es capaz de objetivar esta característica rotación sistólica (véase Figura 4).

La intervención de las proteínas elásticas del miocardio es importante en este proceso a través de su función mecánico-sensora. (32) La titina actúa como sensor de presión durante la contracción y de distensión durante la relajación muscular mediante cambios de conformación. (32-35) La rotación de las fibras subendocárdicas deforman la matriz muscular y resulta en un almacenamiento de energía potencial, subsecuentemente utilizada para el retroceso diastólico. (28-30) La fase inicial de la diástole aparecería ligada tanto a la acción de las proteínas elásticas del miocardio como a la contracción final de las fibras ascendentes de la lazada apical de Torrent-Guasp actuando sucesiva y conjuntamente. Modificaciones provocadas tanto en la estructura de la titina (34) como a nivel anatómico de las fibras ascendentes (26) se traducen en alteración de las presiones de llenado del VI. Observamos que se

dispone de datos anatómicos, (12-14) cartográficos, (25) sonomicrometría, (26) resonancia magnética, (27) moleculares (34-37) y los obtenidos mediante EcST en este trabajo que soportan la disposición de la banda miocárdica de Torrent-Guasp.

### Limitaciones

La aplicación de rutina del *strain* miocárdico en la práctica clínica requiere la definición de rangos normales. Los nuevos parámetros propuestos deberán demostrar su utilidad en diferentes cardiopatías.

Una amplia variedad de parámetros puede potencialmente influir en la medición del *strain*, incluyendo aspectos antropométricos del paciente, hemodinámicos, cardíacos y diferencias en el *software* utilizado para calcular la deformación. No obstante, no creemos que estas limitaciones intervengan en la interpretación de la teoría de la banda muscular. No hemos realizado el análisis por capas (endocárdica, miocárdica y epicárdica), que podría aportar algunos datos adicionales.

### CONCLUSIONES

Proponemos nuevos parámetros adicionales para el estudio de la mecánica ventricular mediante EcST que pueden facilitar la comprensión de la fisiología cardíaca y deberán demostrar su utilidad en cardiopatías.

Los datos obtenidos mediante EcST del miocardio ventricular soportan ecocardiográficamente la disposición miofibrilar descrita en la teoría de la banda miocárdica, capaz de explicar los fenómenos de acortamiento y torsión ventricular, y apoyan la participación de una contracción muscular activa durante la primera parte de la diástole.

### Agradecimiento

Los autores agradecen a la familia del Dr. Francisco Torrent-Guasp las facilidades brindadas para el acceso al material utilizado en sus investigaciones.

### Declaración de conflicto de intereses

El Dr. Jorge Lowenstein ha recibido honorarios médicos por conferencias para la firma General Electric. El resto de los autores no poseen conflicto de intereses.

(Véanse formularios de conflicto de intereses de los autores en la web/ Material suplementario).

### BIBLIOGRAFÍA

- Zaca V, Ballo P, Galderisi M, Mondillo S. Echocardiography in the assessment of left ventricular longitudinal systolic function: current methodology and clinical applications. *Heart Fail Rev* 2010;15:23-37. <http://doi.org/cztpfd>
- Kocabay G, Muraru D, Peluso D, Cucchini U, Mihaila S, Padayattil-Jose S, et al. Mecánica ventricular izquierda normal mediante ecocardiografía speckle tracking bidimensional. Valores de referencia para adultos sanos. *Rev Esp Cardiol* 2014;67:651-8. <http://doi.org/f2rd8v>
- D'Hooge J, Heimdal A, Jamal F, Kukulski T, Bijnens B, Rademakers F. Regional strain and strain rate measurements by cardiac ultrasound: principles, implementation and limitations. *Eur J Echocardiogr* 2000;1:154-70. <http://doi.org/fkfd2h>

- Gorcsan J, Tanaka H. Echocardiographic assessment of myocardial strain. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:1401-13. <http://doi.org/frwrbb>
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afialo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1-39.e14. <http://doi.org/bhj5>
- Takeuchi M, Nishikage T, Nakai H, Kokumai M, Otani S, Lang RM. The assessment of left ventricular twist in anterior wall myocardial infarction using two-dimensional speckle tracking imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:36-44. <http://doi.org/cdj7cw>
- Notomi Y, Setser RM, Shiota T, Martin-Miklovic MG, Weaver JA, Popovic ZB, et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:2034-41. <http://doi.org/bwgh3f>
- Helle-Valle T, Crosby J, Edvardsen T, Lvsseggen E, Amundsen BH, Smith HJ, et al. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography. *Circulation* 2005;112:3149-56. <http://doi.org/cq7d97>
- Hyung K, Dac S, Sang L, Su CH, Jin P, Yong K, et al. Assessment of left ventricular rotation and torsion with two-dimensional speckle tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;1:45-53. <http://doi.org/d68hdp>
- Anderson R, Ho S, Redmann K, Sanchez-Quintana D, Lunkenheimer P. The anatomical arrangement of the myocardial cells making up the ventricular mass. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005;28:517-25. <http://doi.org/bx2xfs>
- Anderson R, Smerup M, Sanchez-Quintana D, Loukas M, Lunkenheimer P. The three-dimensional arrangement of the myocytes in the ventricular walls. *Clin Anat* 2009;22:64-76. <http://doi.org/6tj>
- Torrent-Guasp F. Estructura y función del corazón. *Rev Esp Cardiol* 1998;51:91-102. <http://doi.org/d332kh>
- Torrent-Guasp F, Ballester M, Buckberg G, Carreras F, Flotats A, Carrio I, et al. Spatial orientation of the ventricular muscle band: physiologic contribution and surgical implications. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;122:389-92. <http://doi.org/6th>
- Torrent-Guasp F, Buckberg GD, Clemente C, Cox JL, Coghlan HC, Gharib M. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. I. The normal macroscopic structure of the heart. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2001;13:301-19. <http://doi.org/dhdvnr>
- Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:167-205. <http://doi.org/dhdvnr>
- Haugaa KH, Amlie JP, Berge KE, Leren TP, Smiseth OA, Edvardsen T. Transmural differences in myocardial contraction in long-QT syndrome. Mechanical consequences of ion channel dysfunction. *Circulation* 2010;122:1355-63. <http://doi.org/dzj3nf>
- Simonson J, Schiller NB. Descent of the base of the left ventricle: an echocardiographic index of left ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 1989;2:25-35. <http://doi.org/5cq>
- Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popovic ZB, Marwick TH. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:185-91. <http://doi.org/bt9m>
- Kim HK, Sohn DW, Lee SE, Choi SY, Park JS, Kim YJ, et al. Assessment of left ventricular rotation and torsion with two-dimensional speckle tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:45-53. <http://doi.org/cfcfb9>
- Takahashi K, AlNaami G, Thompson R, Inage A, Mackie AS, Smallhorn JF. Normal rotational, torsion and untwisting data in c <http://doi.org/c9phx4> children, adolescents and young adults. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:286-93.
- Voight JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle H, Baumann R, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/



- Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16:1-11. <http://doi.org/bt9n>
22. Kalam K, Otahal P, Marwick TH. Prognostic implications of global LV dysfunction: a systematic review and meta-analysis of global longitudinal strain and ejection fraction. *Heart* 2014;100:1673-80. <http://doi.org/bt9p>
23. Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, Haugaa KH, Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur Heart J* 2016;37:1196-207. <http://doi.org/bt9q>
24. Mornos C, Rusinaru D, Manolis AJ, Zacharopoulou I, Pittaras A, Ionac A. The value of a new speckle tracking index including left ventricular global longitudinal strain and torsion in patients with dilated cardiomyopathy. *Hellenic J Cardiol* 2011;52:299-306.
25. Trainini JC, Elencwajg B, López-Cabanillas N, Herreros J, Lago NE, Lowenstein JA, Trainini A. Propagación de los estímulos, torsión muscular y efecto de succión cardiaca a través de la investigación electrofisiológica. En: *Fundamentos de la nueva mecánica cardiaca. La bomba de succión*. 1ª ed. Buenos Aires: Lumen; 2015. p. 41-67.
26. Cosín JA, Hernández A, Tuzón MT, Agüero J, Torrent-Guasp F. Estudio experimental de la llamada fase de relajación isovolumétrica del ventrículo izquierdo. *Rev Esp Cardiol* 2009;62:392-9. <http://doi.org/ccnmde>
27. Poveda F, Gil D, Martí E, Andaluz A, Ballester M, Carreras F. Estudio tractográfico de la anatomía helicoidal del miocardio ventricular mediante resonancia magnética por tensor de difusión. *Rev Esp Cardiol* 2013;66:782-90. <http://doi.org/f2fnsn>
28. Taber LA, Yang M, Podszus WW. Mechanics of ventricular torsion. *J Biomech* 1996;29:745-52. <http://doi.org/bngnk7>
29. Sengupta PP, Khandheria BK, Korinek J, Wang J, Jahangir A, Seward JB, et al. Apex to base dispersion in regional timing of left ventricular shortening and lengthening. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:163-72. <http://doi.org/c79bb9>
30. Hayabuchi Y, Sakata M, Kagami S. Assessment of the helical ventricular myocardial band using standard echocardiography. *Echocardiography* 2015;32:310-8. <http://doi.org/bt9r>
31. Sengupta PP, Tajik A, Chandrasekaran K, Khandheria BK. Twist mechanics of the left ventricle. *JACC Cardiovascular Imaging* 2008;1:366-76. <http://doi.org/dfxc4r>
32. Voelkel T, Linke WA. Conformation-regulated mechanosensory control via titin domains in cardiac muscle. *Pflugers Arch Eur J Physiol* 2011;462:143-54. <http://doi.org/dhv4jt>
33. Linke WA. Sense and stretchability: the role of titin and titin-associated proteins in myocardial stress-sensing and mechanical dysfunction. *Cardiovasc Res* 2008;77:637-48.
34. Granzier HL, Radke MH, Peng J, Westermann D, Nelson L, Rost K. Truncation of titin's elastic PEVK region leads to cardiomyopathy with diastolic dysfunction. *Circ Res* 2009;105:557-64. <http://doi.org/bwhatsn>
35. Linke WA, Krüger M. The giant protein titin as an integrator of myocyte signaling pathways. *Physiol Bethesda* 2010;25:186-98. <http://doi.org/d6nqvw>
36. Bell SP, Nyland L, Tischler MD, McNabb M, Granzier H, LeWinter MM. Alterations in the determinants of diastolic suction during pacing tachycardia. *Circ Res* 2000;87:235-40. <http://doi.org/bt9s>
37. Ashikaga H, Criscione JC, Omens JH, Covell JW, Ingels NB Jr. Transmural left ventricular mechanics underlying torsional recoil during relaxation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2004;286:H640-7. <http://doi.org/dsk5km>