

Artículo original

Torsión ventricular izquierda durante el ejercicio en pacientes con y sin respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio

Jesús Peteiro^{a,*}, Alberto Bouzas-Mosquera^a, Gonzalo Barge-Caballero^a, Dolores Martínez^a, Juan C. Yañez^a, Manuel Lopez-Perez^a, Paula Gargallo^a y Alfonso Castro-Beiras^b^a Laboratorio de Ecocardiografía de Estrés, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, España^b Servicio de Cardiología, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, España

Historia del artículo:

Recibido el 27 de septiembre de 2013

Aceptado el 17 de diciembre de 2013

On-line el 1 de mayo de 2014

Palabras clave:

Torsión ventricular izquierda

Enfermedad coronaria

Isquemia

RESUMEN

Introducción y objetivos: La torsión ventricular izquierda disminuye durante la isquemia miocárdica transmural, pero el efecto del ejercicio en aquella no se ha estudiado de manera detallada. Nuestra hipótesis era que la isquemia inducida por el ejercicio puede deteriorar la torsión ventricular izquierda. Por consiguiente, nuestro objetivo fue estudiar los efectos del ejercicio en la torsión ventricular izquierda en pacientes con una respuesta normal a la ecocardiografía de ejercicio y en pacientes con una respuesta normal.

Métodos: Se llevó a cabo un análisis retrospectivo de 172 pacientes con fracción de eyección $\geq 50\%$ remitidos a ecocardiografía de ejercicio, a los que se examinó mediante *speckle tracking* en reposo, en ejercicio máximo y después del ejercicio. La torsión se definió como rotación apical – rotación basal (en grados) / longitud del ventrículo izquierdo (en centímetros). Un total de 114 pacientes presentaron una ecocardiografía de esfuerzo normal y 58 mostraron respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio.

Resultados: Los pacientes con respuesta isquémica a la prueba presentaron menor rotación basal en el ejercicio máximo ($+0,30 \pm 2,39^\circ$ frente a $-0,65 \pm 2,61^\circ$ en el grupo de respuesta normal; $p = 0,03$), mientras que la rotación máxima apical fue similar (respuesta isquémica a la prueba, $7,80 \pm 3,51^\circ$; respuesta normal, $7,27 \pm 3,28^\circ$; $p = 0,36$). La torsión en el ejercicio máximo fue también similar ($1,07 \pm 0,60^\circ$ en el grupo de respuesta isquémica frente a $1,16 \pm 0,57^\circ$ en el grupo de respuesta normal; $p = 0,37$). Se observó mayor deterioro de la rotación basal máxima en los pacientes con afección anterior o anterior + posterior (respuesta isquémica anterior, $+1,22 \pm 2,45^\circ$; respuesta isquémica anterior + posterior, $-0,20 \pm 2,25^\circ$; respuesta isquémica posterior, $-0,71 \pm 1,96^\circ$; respuesta normal, $-0,65 \pm 2,60^\circ$; $p = 0,02$).

Conclusiones: La rotación basal en el ejercicio máximo está deteriorada en los pacientes con respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio, en especial la de quienes presentan afección anterior. La rotación apical y la torsión son similares a las de los pacientes con una ecocardiografía de ejercicio normal.

© 2013 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Left Ventricular Torsion During Exercise in Patients With and Without Ischemic Response to Exercise Echocardiography

ABSTRACT

Introduction and objectives: Left ventricular torsion decreases during transmural myocardial ischemia, but the effect of exercise on left ventricular torsion has not been widely studied. We hypothesized that exercise-induced ischemia may impair left ventricular torsion. Therefore, our aim was to study the effects of exercise on left ventricular torsion in patients with an ischemic response to exercise echocardiography and in patients with a normal response.

Methods: A retrospective analysis was performed in 172 patients with ejection fraction $\geq 50\%$ who were referred for exercise-echocardiography and studied by speckle imaging at rest, peak and postexercise. Torsion was defined as apical rotation – basal rotation (in degrees) / left ventricular length (in centimeters). A total of 114 patients had a normal exercise echocardiography and 58 patients had an ischemic response to exercise echocardiography.

Results: Patients with ischemic response to the test exhibited less basal rotation at peak exercise ($+0.30^\circ$ [2.39°] vs -0.65° [2.61°] in the normal group; $P = .03$), whereas peak apical rotation was similar (ischemic response to the test, 7.80° [3.51°]; normal response, 7.27° [3.28°]; $P = .36$). Torsion at peak exercise was also similar (1.07° [0.60°] in the ischemic response to the test group vs 1.16° [0.57°] in normal group; $P = .37$). A more impaired peak basal rotation was found in patients with anterior or anterior+posterior involvement (anterior ischemic response, $+1.22^\circ$ [2.45°]; anterior + posterior ischemic response, -0.20° [2.25°]; posterior ischemic response, -0.71° [1.96°]; normal response, -0.65° [2.60°]; $P = .02$).

Keywords:

Left ventricular torsion

Coronary artery disease

Ischemia

* Autor para correspondencia: Laboratorio de Ecocardiografía de Estrés, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), As Xubias 84, 15006 A Coruña, España. Correo electrónico: pete@canalejo.org (J. Peteiro).

Conclusions: Basal rotation at peak exercise is impaired in patients with an ischemic response to exercise echocardiography, particularly in those with anterior involvement. Apical rotation and torsion are similar to those in patients with normal exercise echocardiography.

Full English text available from: www.revespcardiol.org/en

© 2013 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Abreviaturas

- DAI: descendente anterior izquierda
- FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo
- RI-EEj: respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio
- Tor-VI: torsión ventricular izquierda

INTRODUCCIÓN

Aunque la torsión ventricular izquierda (Tor-VI) se ha estudiado en reposo en varias enfermedades cardiacas¹⁻³, incluida la enfermedad coronaria (EC)⁴⁻⁶, no disponemos de datos de pacientes con EC en situaciones de isquemia puesta de manifiesto por el ejercicio. Se ha observado que la Tor-VI aumenta con la estimulación inotrópica producida con dobutamina y se reduce durante la isquemia miocárdica transmural⁷. Sin embargo, el efecto de la isquemia inducida por el ejercicio en la torsión humana podría ser diferente, debido a que la isquemia inducida por el ejercicio puede estar limitada al endocardio. Recientemente, el análisis de imagen por rastreo de marcas o *speckle tracking* ha mostrado resultados prometedores en la evaluación de la Tor-VI^{7,8}.

El objetivo de este trabajo es estudiar los efectos del ejercicio en la Tor-VI de pacientes con respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio (RI-EEj) y de pacientes con respuesta normal.

MÉTODOS

Pacientes

Estudiamos una serie de 410 pacientes consecutivos que fueron a nuestro centro para una EEj por razones clínicas. Se excluyó a los pacientes con bloqueo de rama izquierda del haz de His, disfunción sistólica del ventrículo izquierdo (VI) definida por una fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) < 50%, diagnóstico clínico de miocardiopatía hipertrófica o valvulopatía significativa, y a los pacientes con anomalías del movimiento de la pared en reposo. Se excluyó asimismo a los pacientes de los que no se pudo realizar los estudios de *speckle tracking* en reposo o en ejercicio para la evaluación de la Tor-VI. En la *figura 1* se indica número y porcentaje de pacientes excluidos por las diferentes razones. No se excluyó a ningún paciente a causa de una adquisición subóptima de las imágenes bidimensionales, que podría haber hecho que la exploración no fuera diagnóstica. La población final estudiada

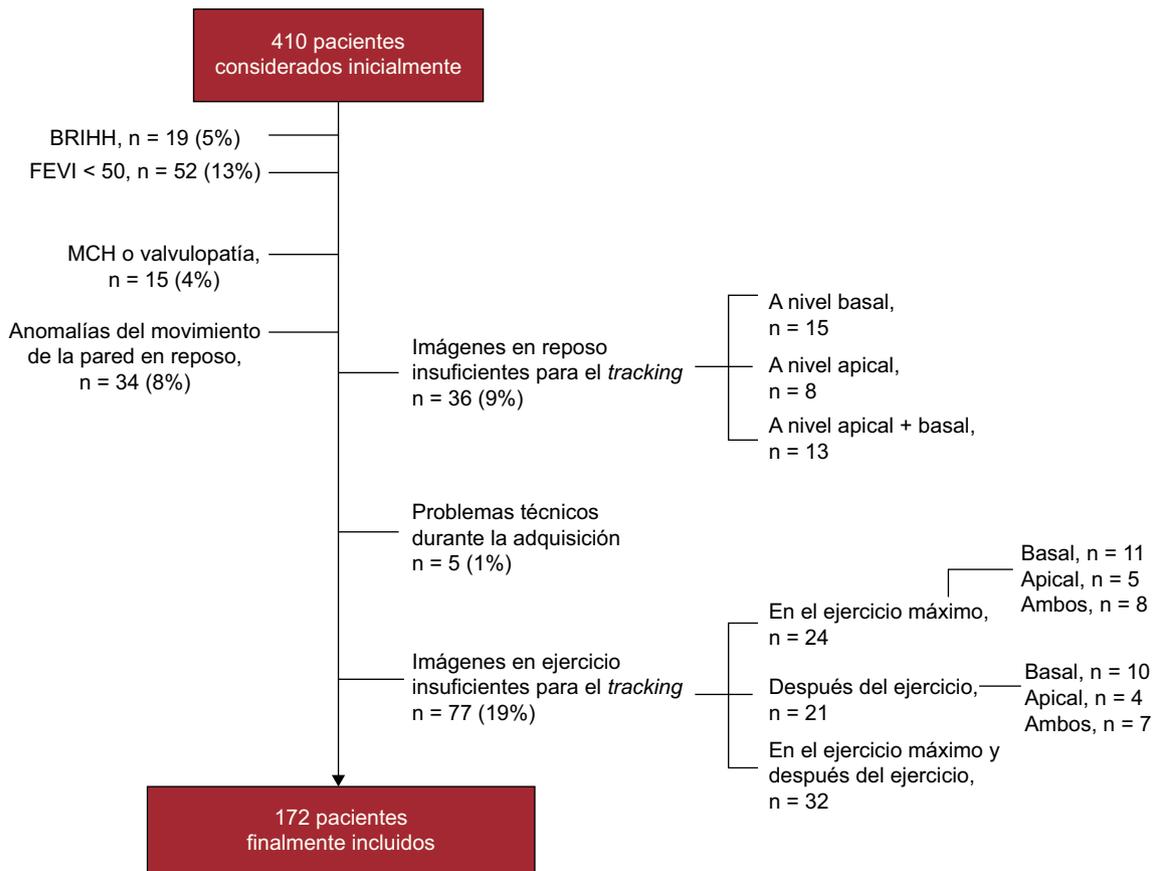


Figura 1. Diagrama de flujo que describe a los pacientes excluidos por razones clínicas y por imposibilidad de obtener registros adecuados para *speckle tracking*. BRIHH: bloqueo de rama izquierda del haz de His; FEVI: fracción de eyección ventricular izquierda; MCH: miocardiopatía hipertrófica.

retrospectivamente incluyó a 172 pacientes, divididos en dos grupos: grupo de respuesta normal, formado por 114 pacientes con resultados normales de la EEj, y grupo isquémico, de 58 pacientes con RI-EEj. Un total de 21 pacientes (12%) tenían antecedentes de infarto de miocardio pero presentaron una ecocardiografía en reposo completamente normal.

Se realizó una angiografía coronaria a criterio del equipo encargado del paciente (en un plazo de 6 meses). El equipo del laboratorio de angiografía llevó a cabo los análisis angiográficos empleando un método cualitativo. A los especialistas en cardiología invasiva no se les ocultaron los resultados de la EEj, pero sí los resultados de las determinaciones de la Tor-VI. Los pacientes dieron su consentimiento informado por escrito antes de la realización de las pruebas.

Ecocardiografía de ejercicio

La EEj se llevó a cabo en una cinta sin fin aplicando diferentes protocolos (Bruce, 77%; otros protocolos, 23%). Se efectuaron determinaciones de frecuencia cardíaca, presión arterial y un electrocardiograma de 12 derivaciones en situación basal y en cada fase del protocolo de ejercicio. Los criterios de finalización del ejercicio fueron agotamiento físico, arritmia significativa, hipertensión grave (presión arterial sistólica > 240 mmHg o presión arterial diastólica > 110 mmHg), angina grave y respuesta hipotensora significativa (disminución > 20 mmHg de la presión arterial sistólica). Las anomalías electrocardiográficas isquémicas durante la prueba se definieron como la aparición de una desviación del segmento ST ≥ 1 mm 80 ms después del punto J.

La ecocardiografía se realizó con proyecciones de eje largo apical, de cuatro y de dos cámaras, y con las proyecciones paraesternales de eje largo y paraesternales de eje corto a niveles apical y basal, en reposo y en ejercicio máximo^{9,10}. Se obtuvieron imágenes en reposo con el paciente en decúbito lateral y en ejercicio máximo con el paciente realizando todavía ejercicio en la cinta sin fin. Se utilizaron las imágenes en ejercicio máximo para el diagnóstico de la isquemia. En la ecocardiografía posterior al ejercicio (en un plazo de 40 s), con el paciente de nuevo en decúbito lateral, se registraron de nuevo las proyecciones de eje corto a niveles apical y basal para la determinación de la Tor-VI después del ejercicio. Se obtuvieron al menos tres ciclos cardíacos para la evaluación de la torsión en el ejercicio máximo y después del ejercicio en las proyecciones de eje corto basal y apical. En consecuencia, para la detección de la isquemia nos basamos en las exploraciones de imagen en el ejercicio máximo, mientras que la Tor-VI se determinó en el momento de ejercicio máximo y después del ejercicio, y se presentan ambos valores. Se evaluó el movimiento regional de la pared para la determinación de la isquemia con un modelo de 16 segmentos del VI¹¹. Cada segmento fue evaluado con una escala de 4 puntos en la que la puntuación del movimiento de la pared era la siguiente: normal, 1; hipocinético, 2; acinético, 3 y discinético, 4. Se calculó el índice de puntuación del movimiento de la pared en reposo y en el ejercicio máximo mediante la suma de las puntuaciones dividida por el número de segmentos. La isquemia se definió como la aparición de nuevas anomalías del movimiento de la pared con el ejercicio, a excepción de la hipocinesia aislada del segmento inferobasal¹². Se consideró que había isquemia de la arteria coronaria descendente anterior izquierda (DAI) cuando había nuevas anomalías del movimiento de la pared en los segmentos septal, apical y/o anterior; se consideró que había isquemia de la arteria coronaria derecha/arteria circunfleja izquierda cuando había nuevas anomalías del movimiento de la pared en otros segmentos del VI. Los pacientes con isquemia en el territorio de la DAI se agruparon como casos de afección del territorio de la circulación anterior; a los que

presentaban isquemia en los territorios de la arteria coronaria derecha o la arteria circunfleja izquierda se los asignó al grupo de afección de la circulación posterior, y los pacientes con isquemia en los territorios de la DAI y la arteria coronaria derecha o la arteria circunfleja izquierda constituyeron el grupo con afección del territorio de la circulación anterior + posterior. Se determinaron también los cocientes de velocidad de onda de flujo transmitral precoz y velocidad diastólica precoz en el anillo mitral (E/e') en reposo y después del ejercicio. En caso de fusión, se medían una vez se habían separado. Se suspendió la administración de bloqueadores beta para la EEj a la mayoría de los pacientes.

Evaluación de la torsión

Se utilizaron las proyecciones de eje corto a niveles apical y basal para la evaluación de la Tor-VI mediante *speckle tracking*, empleando tecnología comercializada (Philips ie33; Andover, Estados Unidos; programa informático de *speckle tracking*, QLab versión 8.1.2). Para ello, la proyección basal de eje corto debe incluir la válvula mitral y la proyección apical de eje corto debe mostrar una forma esférica del miocardio, sin músculo papilar. Las imágenes se obtuvieron con una velocidad de 70-100 fps. Las imágenes registradas se analizaron al menos 30 días después de la exploración, con objeto de evitar el sesgo debido al conocimiento de los resultados de la EEj. Se determinó la rotación máxima en sentido antihorario (en grados) a partir de la proyección de eje corto apical y se registró como valor positivo, mientras que la rotación máxima en sentido horario (en grados) se determinó a partir de la proyección de eje corto basal y se registró como valor negativo. La región de interés incluyó todo el grosor del miocardio. Se tuvo cuidado en evitar el pericardio dentro del tamaño de la muestra. Se verificó manualmente que el *tracking* fuera suficiente, con un reajuste de la región de interés en caso necesario. El giro (en grados) se definió como rotación apical - rotación basal, y la Tor-VI, como giro (en grados) / longitud del ventrículo izquierdo (en centímetros)¹³. La longitud del VI se estableció a partir de la media de valores de la longitud del VI en las proyecciones apicales de cuatro y de dos cámaras en reposo y en el ejercicio máximo (figura 2). Se determinaron también los valores del tiempo (en milisegundos) hasta la rotación máxima apical y basal en reposo y en el ejercicio máximo y se corrigieron según el intervalo RR (ms/RR). Se determinó la recuperación del giro de la rotación apical al 25% del periodo de recuperación en reposo y en el ejercicio máximo¹⁴, y los valores se presentan en porcentajes de la siguiente forma: 100 - (rotación apical al 25% del intervalo de recuperación del giro / rotación apical máxima). Por último, se analizaron también las imágenes después del ejercicio y se calcularon los valores de rotación apical y basal, giro y Tor-VI. Se determinó en reposo y en el ejercicio máximo la rotación total, endocárdica y subepicárdica, a niveles basal y apical. Después del ejercicio, se determinó la rotación basal total, endocárdica y subepicárdica, mientras que se presentan los valores generales de rotación apical. Se compararon las determinaciones del Tor-VI en los grupos de isquemia y normal. Todas las mediciones fueron realizadas por cardiólogos.

Variabilidad de las mediciones

Un único observador, con una experiencia de unos 200 registros de *speckle tracking* durante la EEj, realizó las mediciones de la torsión. Para evaluar la reproducibilidad, se repitieron las mismas mediciones, realizadas por el mismo observador y con las mismas imágenes en 22 exploraciones elegidas aleatoriamente, con al menos 4 semanas de diferencia entre determinaciones. Estas mismas exploraciones se utilizaron también para las mediciones

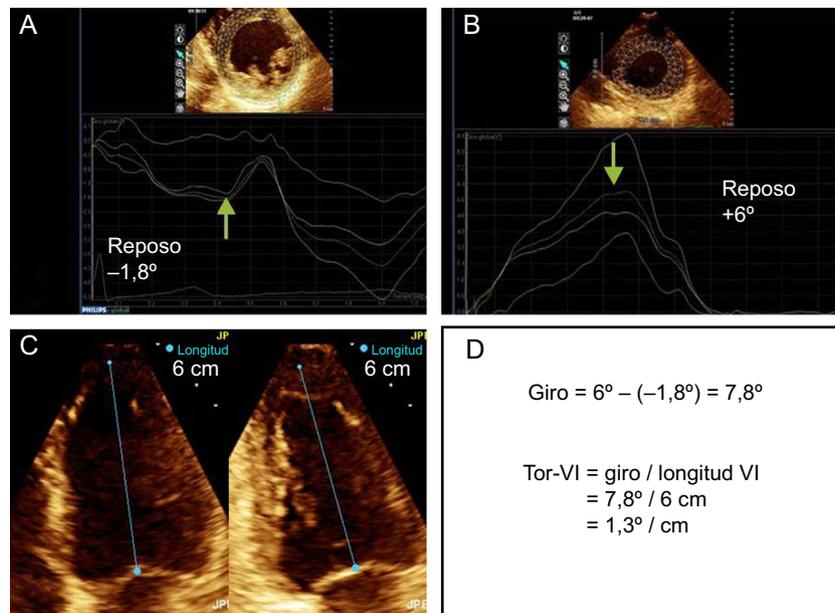


Figura 2. Gráfico que muestra el método de medición de giro y torsión ventricular izquierda. A: rotación basal. B: rotación apical. C: longitud del ventrículo izquierdo en las proyecciones apicales de cuatro y de dos cámaras. D: cálculo del giro y la torsión ventricular izquierda. Tor-VI: torsión ventricular izquierda; VI: ventrículo izquierdo.

realizadas por un segundo evaluador que no conocía los resultados obtenidos por el primero, con objeto de determinar la variabilidad interobservadores.

Objetivos

El objetivo es estudiar los efectos del ejercicio en la Tor-VI de pacientes con RI-EEj y pacientes con resultado normal. Se utilizó *speckle tracking* para medir las rotaciones basal y apical en reposo y en ejercicio. El giro y la Tor-VI se obtuvieron a partir de esas determinaciones.

Análisis estadístico

Las variables discretas se presentan en forma de porcentajes y la comparación de los grupos se basa en la prueba de la χ^2 . Las variables continuas se presentan en forma de media ± 1 desviación estándar cuando siguen una distribución normal y en forma de mediana [intervalo intercuartílico] cuando siguen una distribución no normal. La normalidad de las distribuciones se evaluó con una prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre los grupos se evaluaron con la prueba de la t de Student para datos no apareados o con la prueba de la U de Mann-Whitney según fuera apropiado. Se utilizó un ANOVA (análisis de la varianza) para el análisis de las diferencias entre más de dos grupos. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0,05$. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para describir la relación entre las variables investigadas. Se exploró las correlaciones entre los parámetros principales de Tor-VI (Tor-VI, rotación apical y basal) y la edad, la carga de ejercicio, los cocientes E/e', la FEVI y el valor máximo del índice de puntuación del movimiento de la pared. Los valores de p_{IN} y p_{OUT} se establecieron en 0,05 y 0,10, respectivamente. Las variables de interés que estaban correlacionadas con la variable dependiente en el análisis univariable se incluyeron en un análisis de regresión lineal escalonado. Las asociaciones multivariadas de la RI-EEj se evaluaron también después de haber incluido en el modelo de análisis de regresión logística las variables con asociación significativa en el análisis univariable. Los análisis estadísticos se realizaron con el

programa SPSS, versión 15.0 (SPSS Inc.; Chicago, Illinois, Estados Unidos). La variabilidad interobservadores e intraobservador en la evaluación de la torsión se evaluó con gráficos de Bland-Altman y coeficientes de correlación interclases. Se consideró que un coeficiente de correlación interclases $\geq 0,82$ indica coincidencia moderada.

RESULTADOS

Características clínicas y resultados angiográficos

En la *tabla 1* se resumen las características clínicas y de la EEj de los pacientes con y sin RI-EEj. Tal como se preveía, los pacientes con RI-EEj presentaban peor perfil clínico, con menor capacidad funcional y un índice de puntuación del movimiento de la pared en ejercicio superior al de los pacientes con EEj normal. De los 58 pacientes con RI-EEj, 28 (48%) presentaban afección de múltiples territorios y 30 (52%), RI-EEj de un solo territorio. Se observó respuesta isquémica en el territorio de la circulación anterior en 23 pacientes, en el territorio de la circulación posterior en 9 y en ambos territorios en 26.

Las angiografías coronarias se realizaron principalmente a los pacientes con resultados anormales de la EEj: 35 de los 58 pacientes del grupo de RI-EEj y 14 de los 114 del grupo de EEj normal. En 25 de los 35 pacientes del grupo de RI-EEj, había una estenosis significativa (estrechamiento $> 50\%$ de la luz), al igual que ocurría en 5 de los 14 pacientes del grupo con resultados de la EEj normales. De los 30 pacientes con EC en la angiografía, 13 presentaban afección de múltiples vasos y 17, enfermedad de un solo vaso con afección de la arteria coronaria DAI en 14 pacientes y la arteria circunfleja izquierda en 3. Tenían EC multivazo 12 de los 35 pacientes con RI-EEj a los que se practicó una angiografía (34%) y tan solo 1 de los 14 sin RI-EEj a los que se realizó una angiografía (7%).

Torsión ventricular izquierda

Los parámetros de Tor-VI en reposo fueron similares en los pacientes con y sin antecedentes de EC según lo indicado por un infarto previo o el uso de intervenciones de revascularización

Tabla 1
Características clínicas y datos ecocardiográficos en reposo y en ejercicio en los dos grupos de pacientes

Variable	Normal (n = 114)	RI-EEj (n = 58)	p
Edad (años)	60 ± 13	68 ± 9	< 0,001
Sexo masculino	57 (50)	44 (72)	0,007
Diabetes mellitus	23 (20)	12 (21)	0,91
Hipertensión	65 (57)	40 (69)	0,15
Hipertrofia ventricular izquierda	55 (48)	30 (52)	0,45
Infarto de miocardio previo	14 (12)	7 (12)	0,98
Revascularizaciones previas	19 (17)	18 (31)	0,06
Bloqueadores beta en el momento de EEj	15 (13)	9 (15)	0,63
Frecuencia cardiaca en reposo (lpm)	79 ± 15	73 ± 12	0,01
Frecuencia cardiaca máxima (lpm)	149 ± 19	141 ± 20	0,01
Presión arterial sistólica en reposo (mmHg)	120 [120-140]	130 [120-140]	0,13
Presión arterial sistólica máxima (mmHg)	157 ± 23	165 ± 23	0,06
Angina durante EEj	21 (18)	19 (33)	0,047
Electrocardiograma positivo	17 (15)	27 (46)	< 0,001
Carga de trabajo en ejercicio (MET)	10,3 ± 4,0	8,9 ± 2,5	0,007
IPMO en reposo	1 [1-1]	1 [1-1]	—
IPMO máximo	1,00 [1,00-1,00]	1,25 [1,13-1,50]	< 0,001
FEVI en reposo (%)	67 ± 8	65 ± 8	0,29
FEVI máxima (%)	70 ± 10	61 ± 12	< 0,001
E/e' en reposo	10,5 [8,0-13,8]	12,1 [9,6-14]	0,11
E/e' después del ejercicio	8,3 [7,1-10,0]	8,3 [7,3-9,7]	0,24

E/e': cocientes de velocidad de onda de flujo transmitral precoz y velocidad diastólica precoz en el anillo mitral; EEj: ecocardiografía de ejercicio; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; IPMO: índice de puntuación del movimiento de la pared; MET: equivalentes metabólicos; RI-EEj: respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio. Los datos expresan n (%), media ± desviación estándar o mediana [intervalo intercuartílico].

(rotación basal, $-1,23 \pm 2,30^\circ$ frente a $-0,81 \pm 1,97^\circ$; rotación apical, $5,10 \pm 2,42^\circ$ frente a $4,97 \pm 2,25^\circ$; giro, $6,32 \pm 2,93^\circ$ frente a $5,78 \pm 2,58^\circ$; Tor-VI $0,87 \pm 0,42^\circ$ frente a $0,84 \pm 0,40^\circ$; diferencias no significativas en todos los casos).

En la **tabla 2** se presentan las determinaciones de la torsión en reposo y en ejercicio de los pacientes con EEj normal y con RI-EEj. Los valores obtenidos en reposo fueron similares. Durante el ejercicio, los pacientes con RI-EEj presentaron menor magnitud de la rotación basal en sentido horario. Los valores generales de rotación apical no fueron significativamente diferentes entre los pacientes con y sin RI-EEj. Los valores de giro y torsión resultantes fueron similares en ambos grupos. Se produjeron iguales resultados en las exploraciones de imagen obtenidas después del ejercicio. Las determinaciones de la torsión en reposo tampoco mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los pacientes con RI-EEj en los territorios de la circulación anterior, posterior o ambos. Sin embargo, durante el ejercicio, la magnitud de la rotación basal fue inferior en los pacientes con respuesta isquémica que afectaba al territorio de la circulación anterior (**figura 3**). En la **figura 4** (y en los **vídeos 1 y 2 del material suplementario**) se muestra el ejemplo de un paciente con respuesta isquémica general, atenuación de la rotación basal y aumento de la rotación apical al pasar del reposo al ejercicio, que lleva a una reducción del giro con el ejercicio. La **figura 5** corresponde a un paciente con respuesta isquémica en los territorios de la DAI y la arteria coronaria derecha, en el que un aumento de la rotación apical con cambios menores de la rotación basal llevó a un incremento del giro.

Asociaciones con la torsión ventricular izquierda en ejercicio

La Tor-VI en reposo mostró una correlación débil con los valores de la función sistólica del VI (FEVI en reposo, $r = 0,19$; $p = 0,02$) y la edad ($r = 0,19$; $p = 0,02$) y no mostró correlación alguna con el

cociente E/e' en reposo. En el análisis multivariable, ambas variables alcanzaron significación estadística (edad, $p = 0,04$; FEVI, $p = 0,048$; $r^2 = 0,06$). La rotación apical en reposo también mostró correlación con la FEVI en reposo ($r = 0,28$; $p < 0,001$) y la edad ($r = 0,20$; $p = 0,01$). Ambas variables presentaron también asociación con la rotación apical en el análisis multivariable (edad, $p = 0,04$; FEVI, $p = 0,002$; $r^2 = 0,10$).

La Tor-VI en ejercicio máximo mostró correlación solo con la edad ($r = 0,25$; $p = 0,002$), mientras que la rotación apical en ejercicio máximo se correlacionó con la edad ($r = 0,31$; $p < 0,001$) y el valor de MET (equivalentes metabólicos) alcanzado ($r = -0,20$; $p = 0,01$). En el análisis multivariable, solo la edad continuó mostrando valor predictivo para la rotación apical máxima ($p < 0,001$; $r^2 = 0,10$). La rotación basal en ejercicio máximo se correlacionó solo con el valor de MET alcanzado ($r = -0,25$; $p = 0,002$). Ningún parámetro de la Tor-VI en ejercicio máximo (Tor-VI general, rotaciones apical y basal) mostró correlación significativa con la carga isquémica (valor máximo del índice de puntuación del movimiento de la pared, FEVI máxima).

Los parámetros con asociación multivariable con la RI-EEj fueron solo la edad (*odds ratio* [OR] = 1,07; intervalo de confianza del 95% [IC95%], 1,02-1,13; $p = 0,009$) el sexo masculino (OR = 3,93; IC95%, 1,57-9,87; $p = 0,004$) y la positividad del electrocardiograma durante la EEj (OR = 3,66; IC95%, 1,48-9,03; $p = 0,005$). Los parámetros de Tor-VI no presentaron una relación independiente con la RI-EEj tras el ajuste. Las variables incluidas en el modelo fueron las de las **tablas 1 y 2** que presentaban diferencias significativas entre los grupos.

Variabilidad de la evaluación de la torsión ventricular izquierda

El análisis de Bland-Altman mostró unos resultados aceptables de la variabilidad intraobservadores e interobservadores (**figuras 6 y 7**). Los coeficientes de correlación intraclase entre las dos evaluaciones de la rotación apical en reposo, la rotación apical en ejercicio,

Tabla 2

Mediciones de la torsión en reposo, en ejercicio máximo y después del ejercicio en los dos grupos de pacientes

	Normal (n = 114), media ± DE	RI-EEj (n = 58), media ± DE	p
En reposo			
Rotación basal (°)	-0,97 ± 2,00	-0,81 ± 2,18	0,64
En el endocardio	-1,12 ± 3,18	-0,85 ± 3,07	0,63
En el epicardio	-0,89 ± 1,81	-0,69 ± 1,98	0,53
Tiempo hasta rotación basal (ms/RR)	0,43 ± 0,08	0,42 ± 0,07	0,46
Rotación apical (°)	4,98 ± 2,25	5,04 ± 2,38	0,86
En el endocardio	6,96 ± 2,78	7,23 ± 3,28	0,63
En el epicardio	3,92 ± 2,18	4,11 ± 2,05	0,64
Tiempo hasta rotación apical (ms/RR)	0,43 ± 0,08	0,41 ± 0,06	0,17
Recuperación de la rotación apical al 25% de la diástole (%)	33 ± 21	32 ± 18	0,88
Giro (°)	5,96 ± 2,46	5,84 ± 3,09	0,81
Torsión (°/cm)	0,85 ± 0,37	0,84 ± 0,48	0,87
Longitud del VI (cm)	7,1 ± 0,7	7,1 ± 0,7	0,81
Ejercicio máximo			
Rotación basal (°)	-0,65 ± 2,61	0,30 ± 2,39	0,03
En el endocardio	-0,79 ± 3,57	0,00 ± 4,08	0,23
En el epicardio	-0,54 ± 2,58	0,15 ± 2,08	0,10
Tiempo hasta la rotación basal (ms/RR)	0,55 ± 0,10	0,54 ± 0,12	0,57
Rotación apical (°)	7,27 ± 3,28	7,80 ± 3,51	0,36
En el endocardio	10,40 ± 4,58	10,75 ± 4,61	0,69
En el epicardio	6,08 ± 2,96	6,83 ± 3,34	0,21
Tiempo hasta rotación apical (ms/RR)	0,53 ± 0,06	0,53 ± 0,07	0,88
Recuperación de la rotación apical al 25% de la diástole (%)	26 ± 18	24 ± 19	0,61
Giro (°)	7,92 ± 3,94	7,50 ± 4,19	0,54
Torsión (°/cm)	1,16 ± 0,57	1,07 ± 0,60	0,37
Δ giro de reposo a ejercicio máximo (°)	1,97 ± 4,24	1,66 ± 4,68	0,68
Δ Tor de reposo a ejercicio máximo (°/cm)	0,31 ± 0,60	0,23 ± 0,68	0,47
Longitud del VI (cm)	6,9 ± 0,7	7,0 ± 0,6	0,33
Después del ejercicio			
Rotación basal (°)	-0,92 ± 2,70	-0,36 ± 2,10	0,20
En el endocardio	-1,44 ± 3,76	-0,73 ± 3,33	0,29
En el epicardio	-1,23 ± 2,50	-0,30 ± 1,93	0,03
Rotación apical* (°)	6,90 ± 3,06	7,06 ± 3,48	0,76
Giro (°)	7,81 ± 3,57	7,42 ± 3,65	0,52
Tor (°/cm)	1,14 ± 0,52	1,07 ± 0,54	0,42

DE: desviación estándar; RI-EEj: respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio; VI: ventrículo izquierdo.

* La rotación apical después del ejercicio solamente se evaluó en general, ya que los valores generales fueron similares entre los dos grupos y también a los obtenidos en ejercicio máximo.

la rotación basal en reposo y la rotación basal en ejercicio fueron 0,95 (IC95%, 0,89-0,98), 0,87 (IC95%, 0,70-0,95), 0,93 (IC95%, 0,84-0,97) y 0,88 (IC95%, 0,72-0,95), respectivamente, cuando las realizó el mismo evaluador, y 0,80 (IC95%, 0,52-0,92), 0,91 (IC95%, 0,77-0,96), 0,90 (IC95%, 0,76-0,96) y 0,82 (IC95%, 0,57-0,93) cuando las realizaron dos evaluadores.

DISCUSIÓN

Que nosotros sepamos, este es el primer estudio en el que se evalúa la Tor-VI durante el ejercicio en cinta sin fin, en vez de usar ejercicio en bicicleta o estimulación con dobutamina. Tal como han indicado algunos de estos estudios, la evaluación de la Tor-VI no es posible en un porcentaje considerable de pacientes en condiciones de estrés¹⁵. Las razones de que no sea factible obtener

imágenes con *speckle tracking* en el ejercicio incluyen las proyecciones basales de eje corto tangenciales. En cambio, en nuestro estudio resultó más fácil la adquisición de proyecciones apicales de eje corto durante el ejercicio.

La principal observación del estudio es que una respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio conduce a una atenuación de la rotación basal en sentido horario (lo que lleva a valores más positivos), pero con un giro y una Tor-VI similares, en comparación con los pacientes sin isquemia. Se observó con mayor frecuencia una magnitud inferior de la rotación basal en los pacientes con respuesta isquémica que afectaba al territorio de la circulación anterior. En cambio, la rotación apical general no mostró diferencias estadísticas entre los pacientes normales y los pacientes con RI-EEj. En estudios previos se ha descrito ausencia de empeoramiento de la rotación apical durante la isquemia inducida por estrés o en la isquemia de corta duración^{15,16}. La explicación

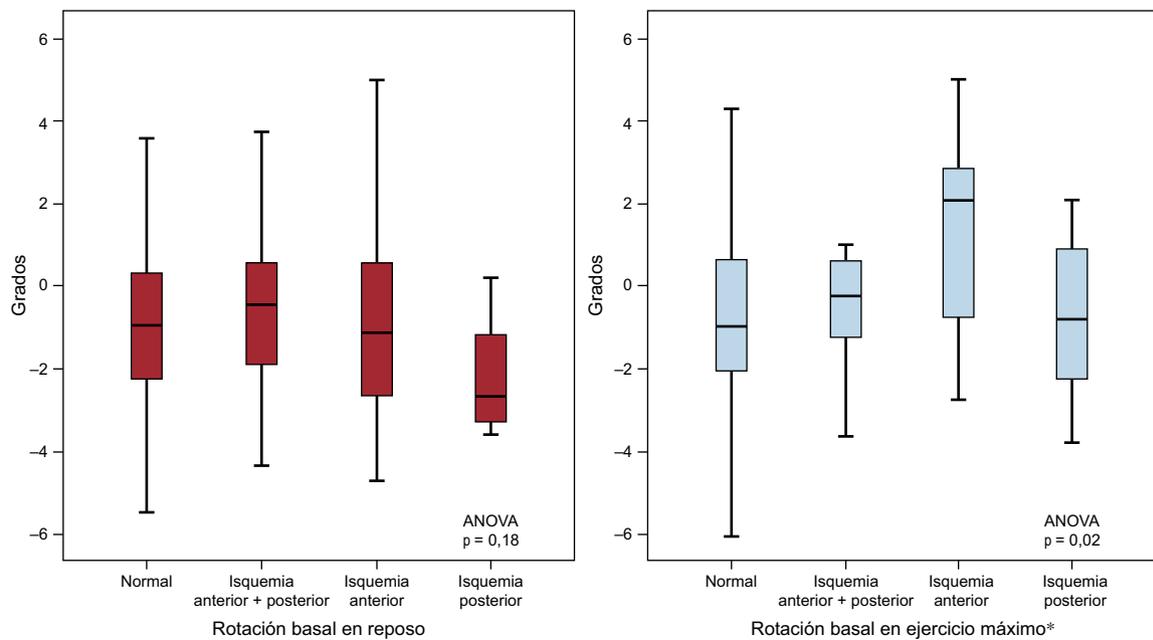


Figura 3. Rotación basal en reposo y en ejercicio máximo de pacientes con ecocardiografía de ejercicio normal y pacientes con respuesta isquémica a la ecocardiografía de ejercicio en los territorios de la circulación coronaria posterior, anterior o anterior + posterior. Se presentan los valores de mediana [intervalo intercuartílico]. ANOVA: análisis de la varianza: NS: no significativo. *Rotación basal en ejercicio máximo en: normal frente a isquemia anterior, $p = 0,003$; anterior + posterior frente a isquemia anterior, $p = 0,05$; isquemia posterior frente a anterior, $p = 0,06$; otras comparaciones entre grupos, $p = NS$.

está en que la isquemia subendocárdica lleva a una función sin oposición de las fibras subepicárdicas¹⁶. Las fibras subendocárdicas producen un movimiento del miocardio en sentido horario, a diferencia del movimiento antihorario causado por las fibras subepicárdicas. Dado que el ejercicio puede conducir principalmente a una isquemia subendocárdica en los pacientes con EC, el

predominio de la función subepicárdica podría aumentar el movimiento apical en sentido antihorario, como en nuestro estudio. En este aspecto, la rotación apical y la Tor-VI aumentaron tras periodos breves de isquemia (10 s) en animales, con un deterioro adicional después de una isquemia más prolongada (30 s)¹⁶. Además, los pacientes ancianos, que pueden tener una

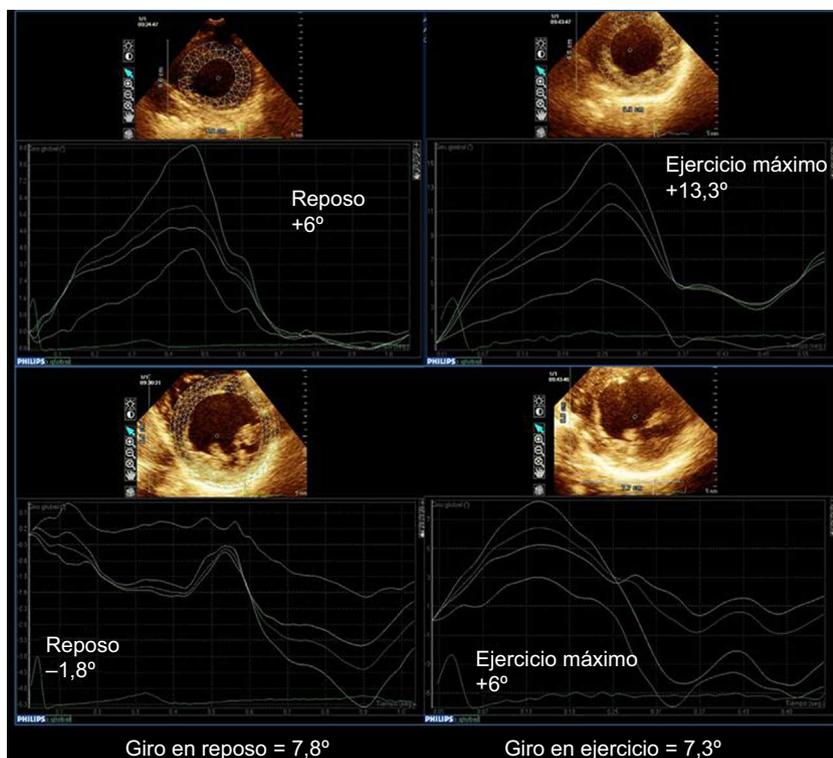


Figura 4. Ejemplo de un paciente con respuesta isquémica general durante la ecocardiografía de ejercicio, que muestra deterioro de la rotación basal y mejora de la rotación apical entre la situación de reposo y la de ejercicio máximo, lo cual conduce a una disminución del giro con el ejercicio (vídeos 1 y 2 del material suplementario). Arriba, rotación apical en reposo y en ejercicio máximo; abajo, rotación basal en reposo y en ejercicio máximo. Se demostró enfermedad coronaria multivazo en la angiografía.

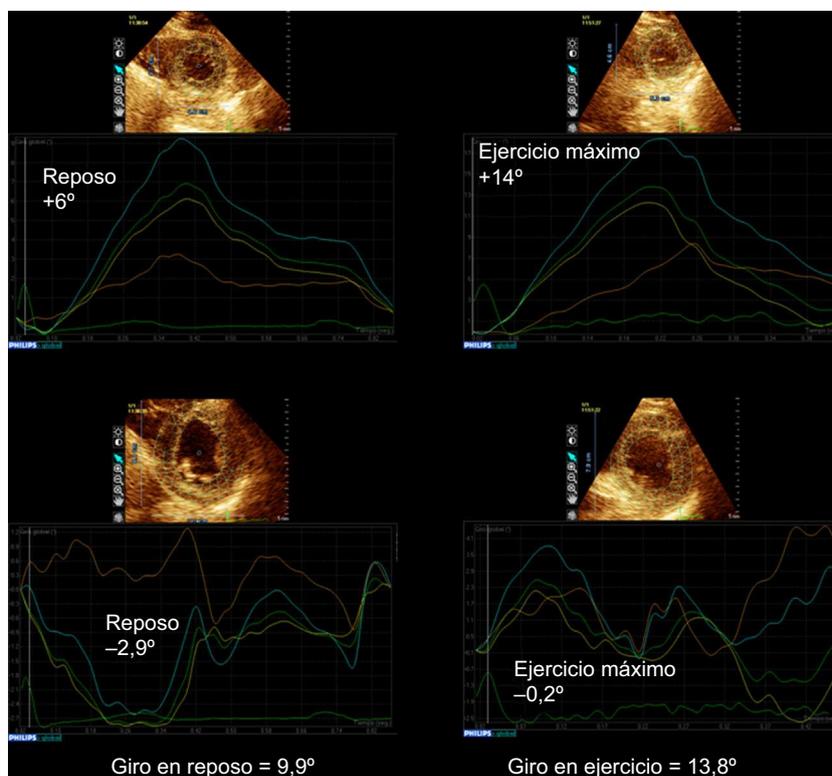


Figura 5. Ejemplo de un paciente con respuesta isquémica apical y posterobasal durante la ecocardiografía de ejercicio. Aunque la rotación basal disminuye durante el ejercicio, el giro aumenta debido al aumento de la rotación apical con el ejercicio. Arriba, rotación apical en reposo y en ejercicio máximo; abajo, rotación basal en reposo y en ejercicio máximo. Se demostró enfermedad coronaria multivaso en la angiografía.

fibrosis limitada al endocardio, muestran un aumento de la rotación apical¹⁷. En cambio, se ha observado deterioro de la rotación apical y la Tor-VI después de la isquemia transmural en animales¹⁶, así como durante la angioplastia¹⁸. En un estudio llevado a cabo en cerdos, la rotación apical se redujo solo a partir de una disminución de la presión de perfusión de la DAI del $\sim 60\%$ ¹⁹. En cambio, la Tor-VI aumenta con la estimulación con dobutamina en ausencia de isquemia⁷. Así pues, es de prever un aumento de la rotación apical cuando la enfermedad (debida a isquemia, necrosis o fibrosis) está limitada al subendocardio. La mayor carga isquémica con isquemia o necrosis transmural conduciría a disminución de la rotación apical.

Las posibles explicaciones de la reducción de la rotación basal en ejercicio en pacientes con isquemia resultan más intrigantes. En un estudio de Bansal et al¹⁵ los pacientes con isquemia en los territorios anterior o inferior presentaron un deterioro de la rotación basal en estrés con dobutamina. Nosotros observamos unos resultados similares en nuestros pacientes con RI-EEj que afectaba al territorio de la circulación anterior. El estudio de Bansal et al planteó también la cuestión de por qué la rotación apical no se reduce en los pacientes con isquemia anteroapical y por qué la rotación basal está limitada (lo cual conduce a reducción del movimiento en sentido horario). Como explicación plausible, los autores apuntaron que podría deberse a diferencias en la facilidad con que se produce la rotación de la base y el vértice, de tal manera que la base está más limitada cuando hay un empeoramiento del giro². Considerados conjuntamente, los estudios publicados sobre pacientes con infarto de miocardio a los que se ha medido la rotación basal indican que esta parece estar deteriorada en los infartos de cara inferior o inferolateral^{5,6,15}. En pacientes con infarto de cara anterior, los resultados han sido contradictorios, pues al menos tres estudios han observado deterioro de la rotación basal en sentido horario^{5,6,15}, y otro ha descrito una rotación basal

mayor en el infarto de cara anterior que en el infarto de cara inferior y sujetos normales⁴. Así pues, las respuestas de la rotación basal podrían diferir en función de que haya necrosis o isquemia y de su localización.

Torsión ventricular izquierda y estrés en estudios previos

Tan solo unos pocos estudios han abordado el papel del ejercicio en la Tor-VI²⁰⁻²². En varones jóvenes sanos²⁰, el ejercicio en bicicleta aumentó el giro del VI de $8,8 \pm 3,8^\circ$ a $12,8 \pm 6,6^\circ$, lo cual es superior a los valores obtenidos en nuestros pacientes con EEj normal (un aumento de $6,0 \pm 2,5^\circ$ a $7,9 \pm 3,9^\circ$), y ello podría explicarse probablemente por diferencias en los métodos de aplicación del estrés, las características de los pacientes y la tecnología empleada. En cambio, el giro del VI se redujo tras un ejercicio extenuante en carrera de maratón²¹, pasando de $8,3 \pm 5,1^\circ$ a $6,4 \pm 3,9^\circ$.

En los pacientes con insuficiencia cardiaca y FEVI normal, la rotación apical se redujo en reposo y después del ejercicio en comparación con lo observado en el grupo de control, aunque el aumento de la rotación apical con el ejercicio no difirió del observado en el grupo de control¹⁴, lo cual concuerda con nuestros resultados. El aumento de la Tor-VI durante el ejercicio mostró también una atenuación en los pacientes receptores de trasplante de corazón²³.

En el único estudio similar al nuestro en el que se investigó el efecto de la isquemia en la Tor-VI mediante ecocardiografía de estrés con dobutamina¹⁵, la isquemia no tuvo un efecto intenso en la Tor-VI, aunque, al igual que en nuestro estudio, los pacientes con isquemia anteroapical presentaron una atenuación de la rotación basal en ejercicio. La media de la torsión general en este estudio fue de $3,05^\circ$ con la dosis máxima de dobutamina en los pacientes con isquemia anteroapical y de $4,65^\circ$ en los pacientes sin isquemia, lo

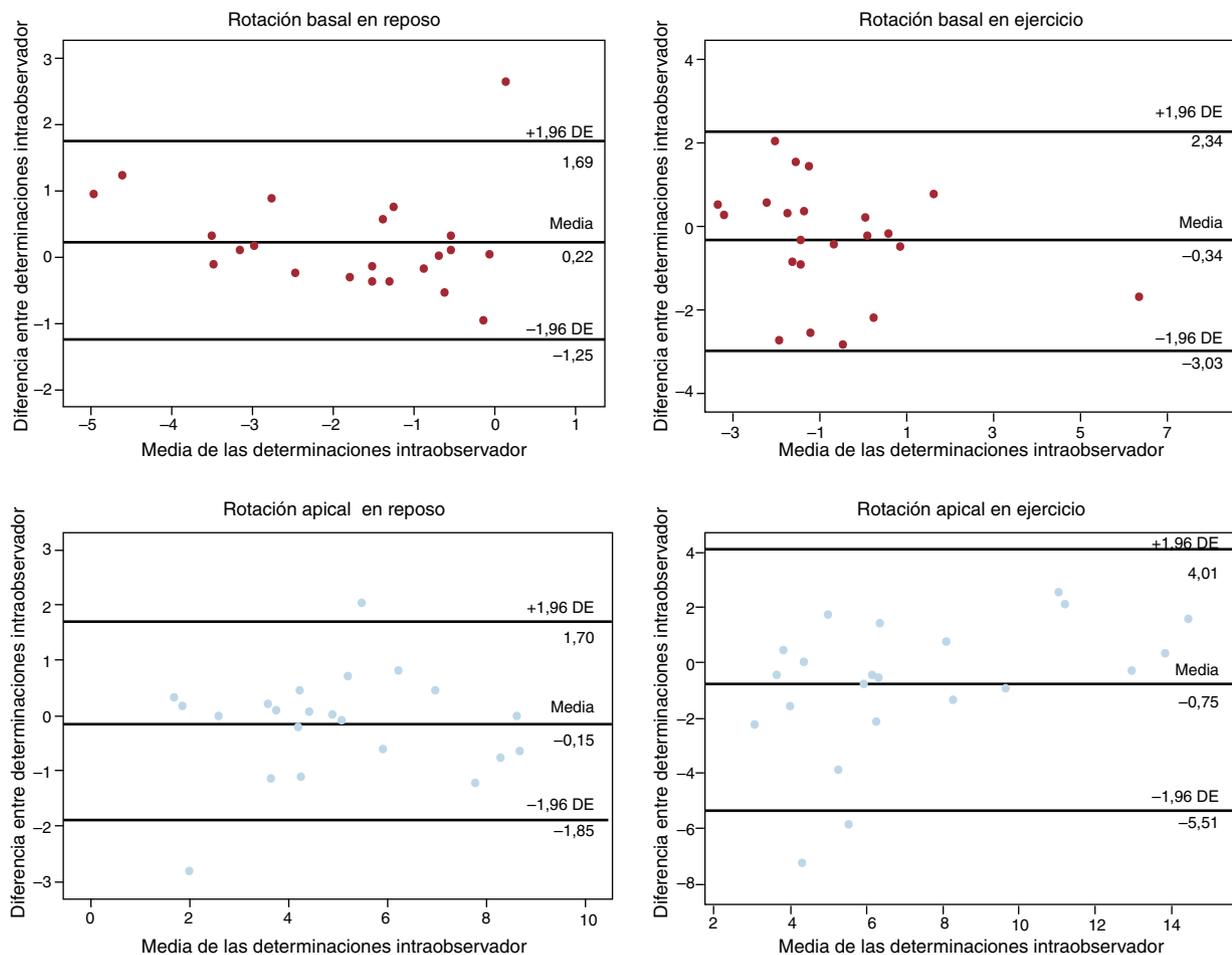


Figura 6. Análisis de Bland-Altman de la variabilidad intraobservador para la evaluación de la rotación apical y basal en reposo y durante el ejercicio. DE: desviación estándar.

cual no era estadísticamente diferente, probablemente a causa del bajo número de pacientes incluidos.

La Tor-VI se ha considerado una medida de la función general del VI, y por ello sería de prever que disminuyera en el grupo de RI-EEj, al igual que la FEVI disminuyó durante el ejercicio en este grupo (del $65 \pm 8\%$ al $61 \pm 12\%$), diferente de lo observado en el grupo normal (en quienes aumentó del $67 \pm 8\%$ al $70 \pm 10\%$). Sin embargo, la Tor-VI durante el ejercicio fue similar en ambos grupos, lo cual apunta a un papel compensatorio de la Tor-VI en los pacientes con RI-EEj que presentaron menor FEVI en ejercicio. En esta misma línea, en un estudio que comparó a sujetos normales con jugadores de fútbol, se observó una FEVI inferior y una Tor-VI superior en los primeros²⁴.

Consecuencias clínicas

Según nuestros resultados, puede observarse un aumento normal de la rotación apical durante el ejercicio incluso en los pacientes con una RI-EEj extensa. En consecuencia, la rotación apical intensa en sentido antihorario no parece descartar la isquemia. En cambio, el paso de una rotación basal normal en sentido horario a una rotación antihoraria podría ser un marcador de isquemia. Sin embargo, el cambio absoluto de los valores y las diferencias entre grupos observados en nuestro estudio fueron pequeños.

Limitaciones

La principal limitación de este estudio es que el diagnóstico de EC se basó en la EEj, en vez de en la angiografía coronaria, que se

realizó de manera selectiva en un subgrupo de los pacientes con resultados anormales o que tenían resultados normales y síntomas progresivos o persistentes. Aunque clínicamente útil, la EEj es un instrumento imperfecto para el diagnóstico de EC. Esto se manifiesta en el hecho de que 5 de 14 pacientes del grupo sin isquemia a los que finalmente se realizó una angiografía tenían una EC angiográficamente significativa, mientras que 10 de los 35 pacientes con resultados positivos en la EEj tenían una EC no significativa o arterias coronarias normales. Además, los análisis angiográficos se realizaron usando un método cualitativo y no se ocultó los resultados de la EEj al equipo de cardiología invasiva.

Aunque el carácter transitorio del estrés provocado por el ejercicio probablemente causara la isquemia subendocárdica en nuestros pacientes con RI-EEj, no podemos descartar una isquemia transmural en algunos de ellos. Como se ha comentado, la isquemia transmural puede tener en la Tor-VI un efecto diferente que la isquemia subendocárdica¹⁵⁻¹⁹.

Para las comparaciones de la Tor-VI entre distintos grupos, lo ideal habría sido que los pacientes no estuvieran en tratamiento con bloqueadores beta, aunque solo un 11% los estaba tomando en el momento de realizar la EEj. Otros factores clínicos pueden haber influido en los resultados, entre ellos la edad, la hipertensión, la hipertrofia del VI y la disfunción diastólica. Aunque los tres últimos se daban de manera similar en ambos grupos, los pacientes con RI-EEj tenían una media de edad 8 años mayor que los pacientes sin RI-EEj. Además, aunque la presencia de anomalías del movimiento de la pared fue un criterio de exclusión, 21 pacientes tenían antecedentes de infarto de miocardio, lo que también pudo haber afectado a los resultados.

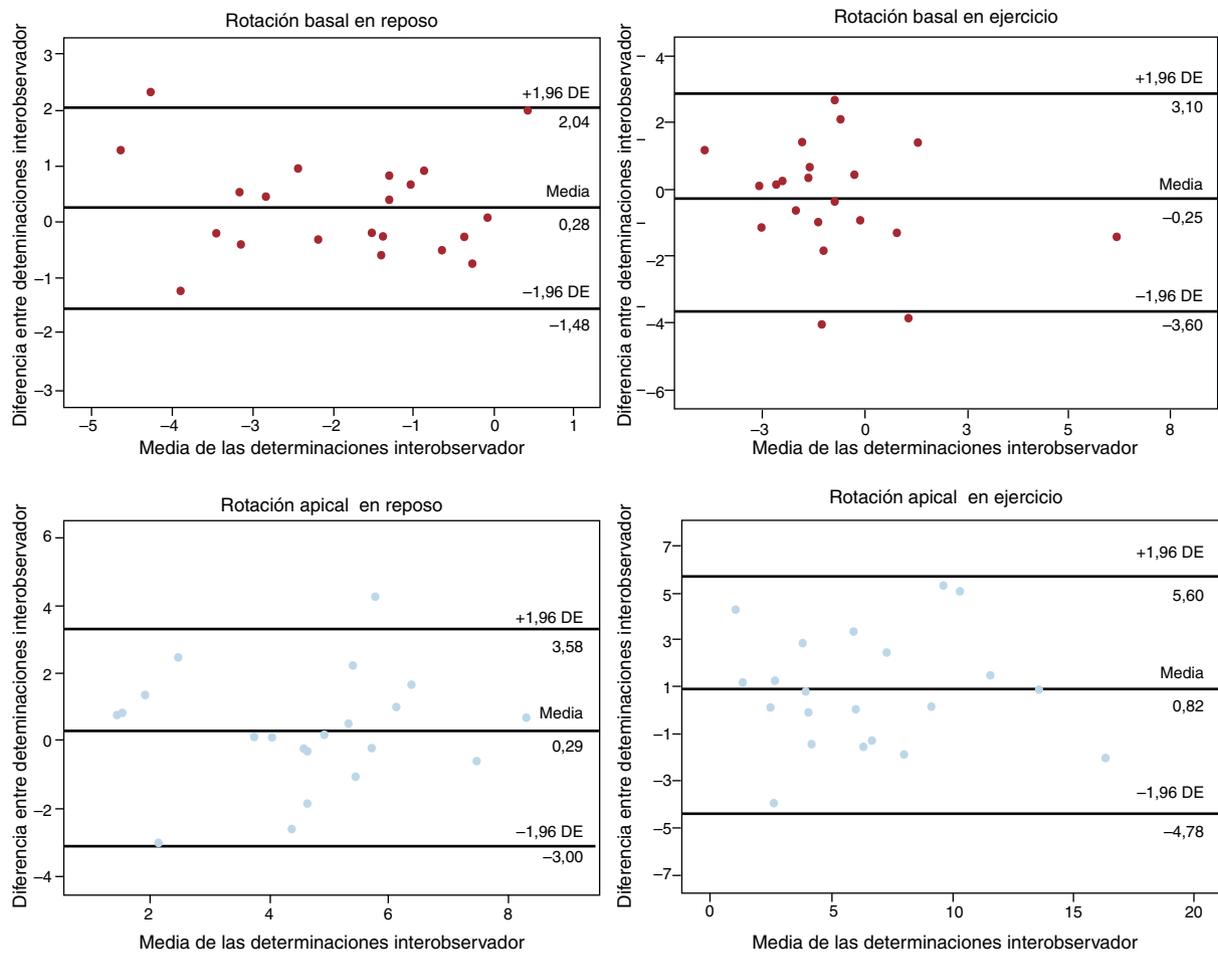


Figura 7. Análisis de Bland-Altman de la variabilidad interobservador para la evaluación de la rotación apical y basal en reposo y durante el ejercicio. DE: desviación estándar.

Por otro lado, se trata de un grupo de pacientes seleccionados, con una ventana ecocardiográfica aceptable, en los que era factible el examen de *tracking*. Se han descrito limitaciones derivadas de la técnica de *speckle tracking*, como el cambio de plano debido a la respiración, que podrían haber afectado a nuestras mediciones en algunos pacientes, en especial durante el ejercicio. La localización exacta de los planos basal y apical podría diferir de un paciente a otro. Cambios pequeños en el plano en que se realiza la evaluación pueden conducir a valores significativamente diferentes²⁵ (p. ej., menor rotación apical en los planos más basales). Además, aunque la Tor-VI determinada mediante *speckle tracking* se ha validado adecuadamente en reposo con resonancia magnética, no se ha hecho en ejercicio. Aunque preocupa la capacidad de la técnica de *speckle tracking* para evaluar las imágenes obtenidas a una frecuencia cardíaca de 140~150 lpm, estas frecuencias fueron similares a las obtenidas en estudios de estrés previos que utilizaron técnicas de imagen de *speckle tracking*¹⁵.

CONCLUSIONES

La evaluación de la Tor-VI en reposo y en ejercicio es factible solo en pacientes seleccionados. La Tor-VI es similar en pacientes con y sin RI-EEJ, aunque los primeros muestran deterioro de la rotación basal, principalmente en los que tienen afectación del territorio de la circulación anterior. La rotación apical fue similar a la de los pacientes con una EEJ normal. Serían de interés nuevos estudios en este campo para explicar y confirmar estos resultados.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

MATERIAL SUPLEMENTARIO



Se puede consultar material suplementario a este artículo en su versión electrónica disponible en [doi:10.1016/j.recesp.2013.12.015](https://doi.org/10.1016/j.recesp.2013.12.015).

BIBLIOGRAFÍA

1. Park SJ, Miyazaki Ch, Bruce CHJ, Ommen S, Miller FA, Oh JK. Left ventricular torsion by two-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with diastolic dysfunction and normal ejection fraction. *J Am Soc Echocardiogr.* 2008;21:1129-37.
2. Fuchs E, Muller MF, Oswald H, Thony H, Mohacsi P, Hess OM. Cardiac rotation and relaxation in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail.* 2004;6:715-22.
3. Maier SE, Fischer SE, McKinnon GC, Hess OM, Krayenbuehl HP, Boesiger P. Evaluation of left ventricular segmental wall motion in hypertrophic cardiomyopathy with myocardial tagging. *Circulation.* 1992;86:1919-28.
4. Park SM, Hong SJ, Ahn CM, Kim YH, Kim JS, Park JH, et al. Different impacts of acute myocardial infarction on left ventricular apical and basal rotation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2012;13:483-9.
5. Nucifora G, Marsan NA, Bertini M, Delgado V, Siebelink HM, Van Werkhoven JM, et al. Reduced left ventricular torsion early after myocardial infarction is related to left ventricular remodeling. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2010;3:433-42.
6. Bertini M, Delgado V, Nucifora G, Ajmone Marsan N, Ng AC, Shanks M, et al. Left ventricular rotational mechanics in patients with coronary artery disease: differences in subendocardial and subepicardial layers. *Heart.* 2010; 96:1737-43.

7. Helle-Valle T, Crosby J, Edvardsen T, Lyseggen E, Amundsen BH, Smith HJ, et al. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography. *Circulation*. 2005;112:3149–56.
8. Notomi Y, Setser RM, Shiota T, Martin-Miklovic MG, Weaver JA, Popovic ZB, et al. Assessment of left ventricular torsional deformation by Doppler tissue imaging: validation study with tagged magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2005;111:1141–7.
9. Peteiro J, Bouzas-Mosquera A, Broullón FJ, García-Campos A, Pazos P, Castro-Beiras A. Prognostic value of peak and post-exercise treadmill exercise echocardiography in patients with known or suspected coronary artery disease. *Eur Heart J*. 2010;31:187–95.
10. Bouzas-Mosquera A, Peteiro J, Alvarez-García N, Broullón FJ, Mosquera VX, García-Bueno L, et al. Prediction of mortality and major cardiac events by exercise echocardiography in patients with normal exercise electrocardiographic testing. *J Am Coll Cardiol*. 2009;53:1981–90.
11. Schiller NB, Shah PM, Crawford M, DeMaria A, Devereux R, Feigenbaum H, et al. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. American Society of Echocardiography Committee on Standards, Subcommittee on Quantitation of Two-Dimensional Echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr*. 1989;2:358–67.
12. Hoffmann R, Lethen H, Marwick T, Rambaldi R, Fioretti P, Pingitore A, et al. Standardized guidelines for the interpretation of dobutamine echocardiography reduce interinstitutional variance in interpretation. *Am J Cardiol*. 1998;82:1520–4.
13. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G, et al. 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. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;24:277–313.
14. Tan YT, Wenzelburger F, Lee E, Heatlie G, Leyva F, Patel K. The pathophysiology of heart failure with normal ejection fraction: exercise echocardiography reveals complex abnormalities of both systolic and diastolic ventricular function involving torsion, untwist, and longitudinal motion. *J Am Coll Cardiol*. 2009;54:36–46.
15. Bansal M, Leano RL, Marwick TH. Clinical assessment of left ventricular systolic torsion: effects of myocardial infarction and ischemia. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:887–94.
16. Kroeker CAG, Tyberg JV, Beyar R. Effects of ischemia on left ventricular apex rotation. An experimental study in anesthetized dogs. *Circulation*. 1995;92:3539–48.
17. Cameli M, Ballo P, Righini FM, Caputo M, Lisi M, Mondillo S. Physiologic determinants of left ventricular systolic torsion assessed by speckle tracking echocardiography in healthy subjects. *Echocardiography*. 2011;28:641–8.
18. Knudtson ML, Galbraith PD, Hildebrand KL, Tyberg JV, Beyar R. Dynamics of left ventricular apex rotation during angioplasty. A sensitive index of ischemic dysfunction. *Circulation*. 1997;96:801–8.
19. Moen CA, Salminen PR, Grong K, Matre K. Left ventricular strain, rotation, and torsion as markers of acute myocardial ischemia. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2011;300:H2142–54.
20. Lee LS, Mariani JA, Sasson Z, Goodman JM. Exercise with a twist: left ventricular twist and recoil in healthy young and middle-aged men, and middle-aged endurance-trained men. *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25:986–93.
21. Nottin S, Doucende G, Schuster I, Tanguy S, Dauzat M, Obert P. Alteration in left ventricular strains and torsional mechanics after ultralong duration exercise in athletes. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2009;2:323–30.
22. Burns AT, La Gerche A, Maclsaac AI, Prior DL. Augmentation of left ventricular torsion with exercise is attenuated with age. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:315–20.
23. Esch BT, Scott JM, Warburton DE, Thompson R, Taylor D, Cheng Baron J, et al. Left ventricular torsion and untwisting during exercise in heart transplant recipients. *J Physiol*. 2009;587(Pt 10):2375–86.
24. Zócalo Y, Guevara E, Bia D, Giacche E, Pessana F, Peidro R, et al. La reducción en el nivel y la velocidad de la torsión ventricular puede asociarse a incremento en la eficiencia ventricular izquierda: evaluación mediante ecografía speckle-tracking. *Rev Esp Cardiol*. 2008;61:705–13.
25. Van Dalen BM, Vletter WB, Soliman OI, Ten Cate FJ, Geleijnse ML. Importance of transducer position in the assessment of apical rotation by speckle tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008;21:895–8.