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*

Yanina Zócalo[a], Eduardo Guevara[b], Daniel Bia[a], Eduardo Giacche[c], Franco Pessana[c], Roberto Peidro[b] y Ricardo L. Armentano[a,c]

[a]Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
[b]División Diagnóstico por Ultrasonido. Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Fundación Favaloro. Buenos Aires. Argentina.
[c]Facultad de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Favaloro. Buenos Aires. Argentina.

Introducción y objetivos. Los cambios estructurales y funcionales existentes en el ventrículo izquierdo (VI) de futbolistas profesionales podrían determinar cambios en el movimiento de rotación ventricular (Rv) y torsión ventricular (Tv). El objetivo fue caracterizar los cambios en la Tv existentes en futbolistas profesionales.

Métodos. A 17 futbolistas y 10 voluntarios sanos no entrenados (grupo control), se les realizó un estudio ecocardiográfico en modos M y B y Doppler. Se cuantificaron parámetros estructurales y de función sistólica y diastólica del VI. La Rv basal y apical y la Tv se evaluaron utilizando un *software* diseñado para estos fines (EchoPAC, GE Medical Systems). La Tv se caracterizó en el dominio temporal.

Resultados. Todos los sujetos presentaron estructura y función del VI dentro del rango de normalidad. La fracción de eyección y la de acortamiento fueron mayores en los futbolistas ($p < 0,05$). Los niveles de Rv apical y basal y los niveles y velocidades de Tv fueron menores en los futbolistas ($p < 0,05$). En los futbolistas, la Tv máxima alcanzada y la fracción de eyección y la de acortamiento mostraron correlación negativa ($p < 0,05$).

Conclusiones. Los niveles y las velocidades de TV fueron menores en los futbolistas. Las reducciones en la Tv pueden ocurrir en condiciones fisiológicas y podrían representar una respuesta adaptativa que contribuye a aumentar la eficiencia ventricular.

Palabras clave: *Ecocardiografía. Ejercicio. Fisiología. Futbolistas. Investigación básica. Torsión ventricular. Ventrículo izquierdo.*

Correspondencia: Dra. Y. Zócalo.
Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad de la República.
General Flores 2125. (11800) Montevideo. Uruguay.
Correo electrónico: yana@fmed.edu.uy

Recibido el 14 de noviembre de 2007.
Aceptado para su publicación el 4 de marzo de 2008.

A Reduction in the Magnitude and Velocity of Left Ventricular Torsion May be Associated With Increased Left Ventricular Efficiency: Evaluation by Speckle-Tracking Echocardiography

Introduction and objectives. The structural and functional changes observed in the left ventricle in professional soccer players could cause alterations in ventricular rotation (Rv) and ventricular torsion (Tv). Our aim was to characterize the changes in Tv that occur in professional soccer players.

Methods. In total, 17 professional soccer players and 10 healthy volunteers who had not undergone training (control subjects) were investigated by M-mode, B-mode and Doppler echocardiography. Left ventricular systolic and diastolic functional and structural parameters were measured. Basal and apical Rv, and Tv were determined using specially developed software (EchoPAC, GE Medical Systems). In addition, Tv was characterized in the time domain.

Results. In all subjects, left ventricular structural and functional parameters were within the normal ranges. Both left ventricular ejection fraction and shortening were greater in soccer players ($P<.05$). The magnitude of apical and basal Rv and the magnitude and velocity of Tv were all lower in soccer players ($P<.05$). In soccer players, there were negative correlations between the maximum Tv achieved and left ventricular shortening and ejection fraction ($P<.05$).

Conclusions. The magnitude and velocity of Tv were lower in soccer players. A reduction in Tv might take place under certain physiological conditions and could represent an adaptive response that contributes to increased ventricular efficiency.

Key words: *Echocardiography. Exercise. Physiology. Soccer players. Basic research. Ventricular torsion. Left ventricle.*

Full English text available from: www.revespcardiol.org

ABREVIATURAS

EST: ecografía *speckle-tracking*.
FP: futbolistas profesionales.
Rv: rotación ventricular.
Tv: torsión ventricular.
VI: ventrículo izquierdo.

INTRODUCCIÓN

El entrenamiento físico intenso y prolongado se asocia a cambios estructurales y funcionales en el ventrículo izquierdo (VI) que han dado lugar a la designación de «corazón del atleta». Los cambios referidos incluyen aumento del volumen de eyección y del diámetro, el espesor y la masa ventricular y representarían una respuesta adaptativa del corazón a la sobrecarga hemodinámica impuesta por el entrenamiento y el ejercicio[1]. En este sentido, existen diferencias cualitativas y cuantitativas en las modificaciones cardiacas dependiendo del tipo de deporte. Particularmente, se describen diferencias entre atletas que practican deportes dinámicos (como los corredores) y los que realizan ejercicios estáticos (como los levantadores de pesas). Asimismo, la extensión de las modificaciones estructurales difiere entre los distintos individuos, lo que en algunos casos dificulta establecer si se trata de cambios fisiológicos o de situaciones patológicas[1,2].

La arquitectura miocárdica es un importante determinante de la capacidad funcional, la eficiencia y la adaptación del VI en situaciones tanto fisiológicas como patológicas. En particular, la disposición helicoidal de las fibras miocárdicas, descrita por Torrent-Guasp[3,4], determina que durante el ciclo cardiaco la base y el ápex del VI roten en sentido opuesto, generando un movimiento de torsión ventricular (Tv)[3-6]. Este movimiento constituye un aspecto fundamental de la biomecánica ventricular, ya que permite generar elevadas presiones y, al mismo tiempo, reducir la deformación y el estrés ventricular y homogeneizar su distribución en el espesor del miocardio[7,8]. En relación con ello, la Tv ha sido identificada como un indicador sensible de la función ventricular, y se han descrito características singulares de la dinámica de la Tv en situaciones fisiológicas y patológicas[6,9,10]. Sin embargo, por muchos años el único método disponible para el análisis de la Tv fue la resonancia magnética, por lo que el estudio de la Tv en la práctica clínica estuvo limitado por la escasa disponibilidad, la complejidad y los elevados costos de la técnica. Recientemente, se ha propuesto y validado la utilización de la ecografía *speckle-tracking* (EST) para caracterizar la Tv. Considerando que la EST supone menores costos, no presenta contraindicaciones y es de fácil realización, su utilización en la práctica clínica permitiría el estudio sistemático de la Tv[6,11].

Teniendo en cuenta la relación de la Tv con la estructura y la función del VI y las modificaciones del corazón con el entrenamiento físico, podrían esperarse cambios en la Tv de los deportistas. En este sentido, el análisis de la rotación ventricular (Rv) y de la Tv en deportistas podría contribuir a: *a)* caracterizar los cambios en el comportamiento biomecánico del VI asociados con el entrenamiento físico, y *b)* identificar y caracterizar diferencias en el comportamiento biomecánico del corazón del deportista y de un corazón con características patológicas (p. ej., miocardiopatía). Hasta el momento y a pesar de ser el deporte más practicado en el mundo, la Rv y la Tv no han sido estudiadas en futbolistas profesionales (FP).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar mediante EST los cambios en la Tv existentes en FP. Para ello, la dinámica de la Tv de los FP se caracterizó en el dominio del tiempo y se la comparó con la de los sujetos no entrenados.

METODOS

Población de estudio y registros ecocardiográficos

El estudio fue realizado de acuerdo con normativas éticas de las instituciones participantes. Se incluyó en el estudio a 17 FP (edad, 25 ± 5 años; índice de masa corporal [IMC], 23,9 ± 1,1) y 10 voluntarios (grupo control) no entrenados, sanos, sin factores de riesgo cardiovascular y de edad y complexión física similares a las de los FP (edad, 27 ± 6 años; IMC, 24,7 ± 3,1). Se practicó un estudio ecocardiográfico en modo M, en modo B y Doppler (Vivid 7, GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin) de todos los sujetos (tabla 1). Se registró el espesor parietal y el diámetro ventricular, y se calculó la masa ventricular y el espesor parietal relativo[12]. Se caracterizó la función diastólica (velocidad de la onda E y de la onda A, relación E/A) y la función sistólica (fracción de acortamiento, fracción de eyección) del VI, usando parámetros recomendados (tabla 1)[12]. Posteriormente, para el estudio de la Rv y la Tv, se captaron imágenes basales (plano del anillo mitral) y apicales (cavidad ventricular distal a los músculos papilares) en proyección paraesternal, en eje corto (frecuencia de obtención, 46-110 imágenes/s).

Determinación de la rotación y la torsión

La Rv en cada nivel (base y ápex ventricular) define su desplazamiento angular alrededor del eje longitudinal del VI y se expresa en grados. Un movimiento de Rv antihorario, visto desde el ápex del VI, se expresa como valor positivo. La Tv es la diferencia entre la Rv de la base y del ápex[6,10,11] (fig. 1). La Rv fue obtenida

TABLA 1. **Datos hemodinámicos y de estructura y función del ventrículo izquierdo**

	Controles	Futbolistas
Frecuencia cardiaca (lat/min)	72 ± 7	65 ± 8
Presión arterial sistólica (mmHg)	129 ± 7	126 ± 8
Presión arterial diastólica (mmHg)	73 ± 4	71 ± 5
Tabique interventricular (mm)	9,9 ± 1,5	10 ± 1,9
Pared posterior del VI (mm)	8,7 ± 2	8,9 ± 1,3
Diámetro telesistólico del VI (mm)	33,1 ± 4,1	33,3 ± 7,3
Diámetro telediastólico del VI (mm)	49,1 ± 4,5	52,7 ± 4,1*
Espesor parietal normalizado del VI	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1
Masa ventricular (g)	190,9 ± 59,6	218,3 ± 57,6
Velocidad de onda E (m/s)	0,83 ± 0,08	0,8 ± 0,09
Velocidad de onda A (m/s)	0,54 ± 0,08	0,52 ± 0,07
Relación E/A	1,59 ± 0,28	1,57 ± 0,28
Fracción de eyección del VI (%)	63,9 ± 5,2	69,7 ± 6,5*
Fracción de acortamiento del VI (%)	35,6 ± 4,9	39,9 ± 5,5*

VI: ventrículo izquierdo.
*p < 0,05 respecto de los controles.
Los datos expresan media ± desviación estándar.

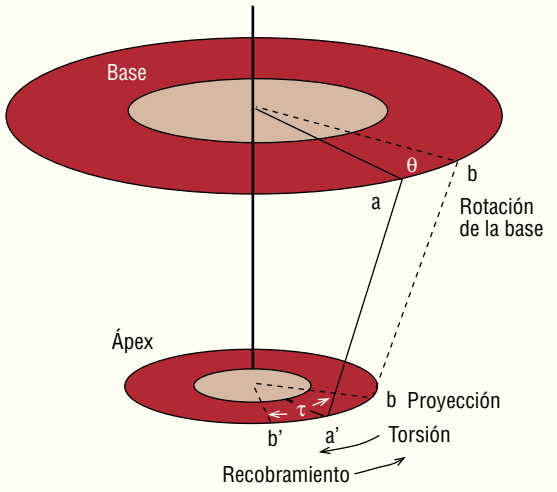

Fig. 1. Esquema del ángulo de torsión (τ) y rotación (θ). Un par de puntos de la base (a) y el ápex (a') se miden al finalizar la diástole. En la sístole, el punto a se mueve en sentido horario y alcanza la posición b, y un movimiento antihorario del ápex determina que el punto a' alcance la posición b'. La τ sistólica se define como el ángulo entre la posición apical (b') y la basal (b, reflejada en el ápex como punto $b_{proyección}$). La τ diastólica (recobramiento torsional) se obtiene de forma similar.

utilizando un *software* específico (EchoPAC 2DS-software package, 3.3, GE Medical Systems). Para ello, en cada ciclo cardiaco estudiado, se delimitó el endocardio en fin de diástole (fig. 2). A continuación, en forma automática se definió la región de interés (espesor ventricular) para el análisis del seguimiento del ruido de moteado (EST). La región de interés fue dividida en forma automática en 6 segmentos (que se corresponden con los segmentos miocárdicos), señalizados con diferentes colores. En cada segmento el *software* seleccionó estructuras estables que se identificaron (siguieron) en cada una de las sucesivas imágenes durante el ciclo cardiaco[13,14] (fig. 2). Según el grado de decorrelación del bloque de emparejamiento, el *software* indicó la precisión del seguimiento *(track score)* para cada segmento analizado, que se confirmó visualmente (para descartar seguimiento de un artefacto). Los registros en los que se obtuvo un inadecuado seguimiento fueron reprocesados ajustando la región de interés. El procesamiento descrito permitió obtener para la base y para el ápex el perfil de Rv de cada uno de los segmentos, definiendo el centroide de la línea media del miocardio en cada imagen (fig. 2). La Rv «global» de la base y del ápex se calculó como el promedio de la Rv de los 6 segmentos (fig. 2). Para el cálculo de la Tv, las señales de Rv segmentaria y global y los datos del electrocardiograma se exportaron a un programa de procesamiento (Excel 2000, Microsoft Corp, Seattle, Washington)[11].

El realizador del estudio ecocardiográfico conocía el grupo al que pertenecía el sujeto estudiado. El análisis de la Rv y la Tv lo realizó un integrante del equipo de investigación que desconocía el grupo al que pertenecía el sujeto en estudio.

Análisis de la torsión ventricular

Para poder comparar a individuos con diferente frecuencia cardiaca, los perfiles de Rv y Tv sistólica y diastólica se normalizaron a la duración de cada una de estas fases, y el tiempo se expresó como porcentaje de la sístole o de la diástole[15]. Posteriormente, el perfil temporal se remuestreó, utilizando para ello series de Fourier, y se obtuvieron 50 muestras en cada fase. La Tv se calculó como la diferencia entre la Rv apical y la basal[6,11] (fig. 1). Los niveles de Tv se expresaron en grados y, teniendo en cuenta la longitud del VI (distancia base-ápex), en grados por centímetro.

Las velocidades de torsión y destorsión durante la sístole y la diástole, respectivamente, se calcularon mediante la pendiente de la fase de ascenso (sístole) y de la fase de descenso (diástole) de la Tv (ajuste lineal entre el 10 y el 90% de la Tv).

Estadística

Análisis de la reproducibilidad de la técnica. Registros ecocardiográficos de 5 sujetos en cada grupo fueron seleccionados en forma aleatoria y fueron analizados por un mismo observador en dos oportunidades (separadas aproximadamente 1 mes) y por dos observadores en forma independiente, para el análisis de la variabilidad intraobservador e interobservador, respectivamente. La variabilidad se expresó como coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las medidas.

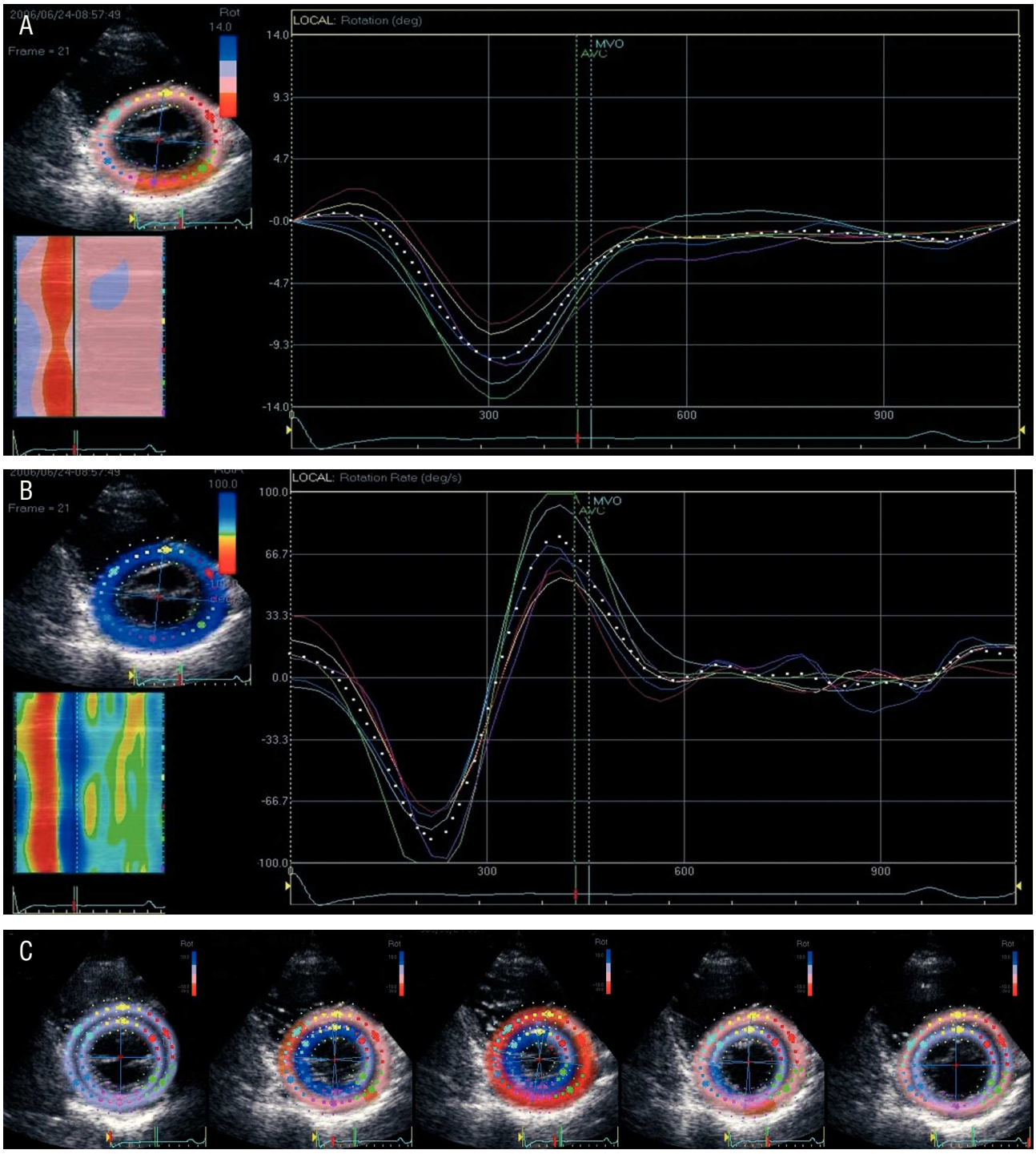

Fig. 2. A: gráfico de rotación ventricular basal. B: gráfico de rotación ventricular apical en función del tiempo durante un ciclo cardiaco de un futbolista profesional. Nótese las estructuras identificadas (puntos de color) dentro de la región de interés. Segmentos ventriculares: celeste, anteroseptal; amarillo: anterior; rojo: anterolateral; verde: inferolateral; rosa: inferior; azul: inferoseptal. La rotación ventricular «global» para base y ápex (líneas blancas entrecortadas) es el promedio de las curvas de los seis segmentos (líneas llenas) de la región de interés. C: secuencia obtenida por superposición de imágenes sincrónicas de la base y del ápex en diferentes momentos del ciclo cardiaco. De izquierda a derecha, se ilustra un ciclo cardiaco en el que se evidencia la contracción sistólica y la dilatación diastólica de los diámetros del ventrículo izquierdo y el diferente sentido de Rv de su base y su ápex, determinante de la Tv. Nótese el desfase entre segmentos (puntos) de similar color.

Análisis de resultados. Las comparaciones entre los niveles medios de los parámetros hemodinámicos y de torsión y destorsión ventricular (tablas 1 y 2) obtenidos para los controles y los FP se realizaron mediante la prueba de la t de Student para datos no apareados considerando dos colas de distribución. La compara-

ción de cada uno de los perfiles temporales obtenidos (de rotación y de torsión y destorsión ventricular) entre el grupo control y los FP se realizó mediante análisis de la varianza (ANOVA) para muestras repetidas, seguido del test de Bonferroni. La asociación entre la fracción de eyección y de acortamiento ventricular y la Tv máxima alcanzada en cada FP se analizó mediante análisis de correlación lineal y el cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson. En todos los casos un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

RESULTADOS

Parámetros hemodinámicos

La presión arterial en todos los sujetos estuvo en cifras de normotensión y no hubo diferencias entre los grupos. La frecuencia cardiaca fue similar entre los controles y los FP.

Estructura y función ventricular

Tanto los controles como los FP presentaron valores de los parámetros de estructura y función ventricular sistólica y diastólica dentro del rango de normalidad.

La masa ventricular, el tabique interventricular, la pared posterior y el espesor parietal normalizado fueron similares en los dos grupos ($p > 0,05$). El diámetro telediastólico ventricular fue mayor en los FP que en los controles ($p < 0,05$).

La fracción de eyección y de acortamiento fueron mayores en los FP ($p < 0,05$) (tabla 1). La velocidad de onda E y onda A y la relación E/A no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre controles y FP.

Rotación y torsión ventricular

El análisis mediante EST posibilitó la caracterización de la Rv y de la Tv en todos los sujetos.

En el 11% de los análisis (3 sujetos), fue necesario ajustar la región de interés para obtener un *score* de seguimiento aceptable (por inadecuado seguimiento en 2 segmentos en 2 sujetos y de 1 segmento en otro). Las medidas de un mismo observador presentaron $r = 0,94$ para la Tv sistólica pico y $r = 0,92$ para la destorsión al tiempo de apertura de la válvula mitral. En forma análoga, el análisis de la variabilidad interobservador mostró $r = 0,92$ para la Tv sistólica pico y $r = 0,92$ para la destorsión al tiempo de apertura de la válvula mitral.

Los niveles de Rv apical y basal fueron menores en los FP que en los controles ($p < 0,05$) (fig. 3). Las diferencias en Rv apical y basal determinaron diferencias en la torsión y la destorsión ventricular entre los grupos, con menores niveles y velocidad de torsión y de destorsión del VI en los FP (tabla 2). Las diferencias encontradas fueron mayores hacia el final de la sístole y el inicio de la diástole ($p < 0,05$) (fig. 4).

TABLA 2. **Parámetros de torsión y destorsión del ventrículo izquierdo**

	Controles	Futbolistas
Torsión sistólica media (grados)	5,6 ± 2	2,1 ± 0,9*
Torsión sistólica media [°/cm]	0,99 ± 0,06	0,24 ± 0,12*
Destorsión diastólica media (grados)	–3,7 ± 2	–1,7 ± 0,8*
Destorsión diastólica media [°/cm]	–0,67 ± 0,1	–0,12 ± 0,2*
Pendiente (velocidad) de ascenso [°/s]	61,5 ± 14,2	32,6 ± 11,8*
Pendiente (velocidad) de descenso [°/s]	–30,6 ± 9,2	–13,7 ± 4,3*

*$p < 0,05$ respecto de los controles.
Valor medio ± desviación estándar.

Función sistólica y torsión ventricular

La figura 5 muestra la correlación negativa existente para FP entre la máxima torsión ventricular alcanzada y la fracción de eyección ($y = –0,1624x + 17,039$; $r = 0,70$; $p < 0,05$) y de acortamiento ($y = –0,1985x + 13,646$; $r = 0,70$; $p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Los principales hallazgos del presente trabajo son que los niveles y la velocidad (pendientes de ascenso y de descenso) de torsión y destorsión del VI fueron menores en FP que en sujetos control no entrenados, y que por primera vez se describe que la reducción de la torsión y la destorsión ventricular puede ocurrir en condiciones fisiológicas. Al respecto, la reducción en los niveles y las velocidades de torsión y destorsión ventricular en FP ocurren en función diastólica normal y función sistólica aumentada respecto a la de los controles. Además, en los FP, mayores fracciones de eyección y de acortamiento se asocian con menores niveles de Tv. En el contexto de nuestro trabajo, estos hallazgos indicarían que la reducción de la Tv podría considerarse una respuesta adaptativa que permitiría a los sujetos entrenados —los FP— cumplir con las demandas cardiovasculares basales (en reposo físico), con menor utilización del mecanismo de Tv.

Consideraciones metodológicas

En la evaluación cardiaca, la ecocardiografía se ha convertido en la técnica de imagen dominante. Sin embargo, en el estudio de la torsión y destorsión ventricular, la metodología de evaluación más usada ha sido la resonancia magnética, por lo que el estudio sistemático de la dinámica torsional del VI ha estado limitado por la escasa disponibilidad y los elevados costos de la

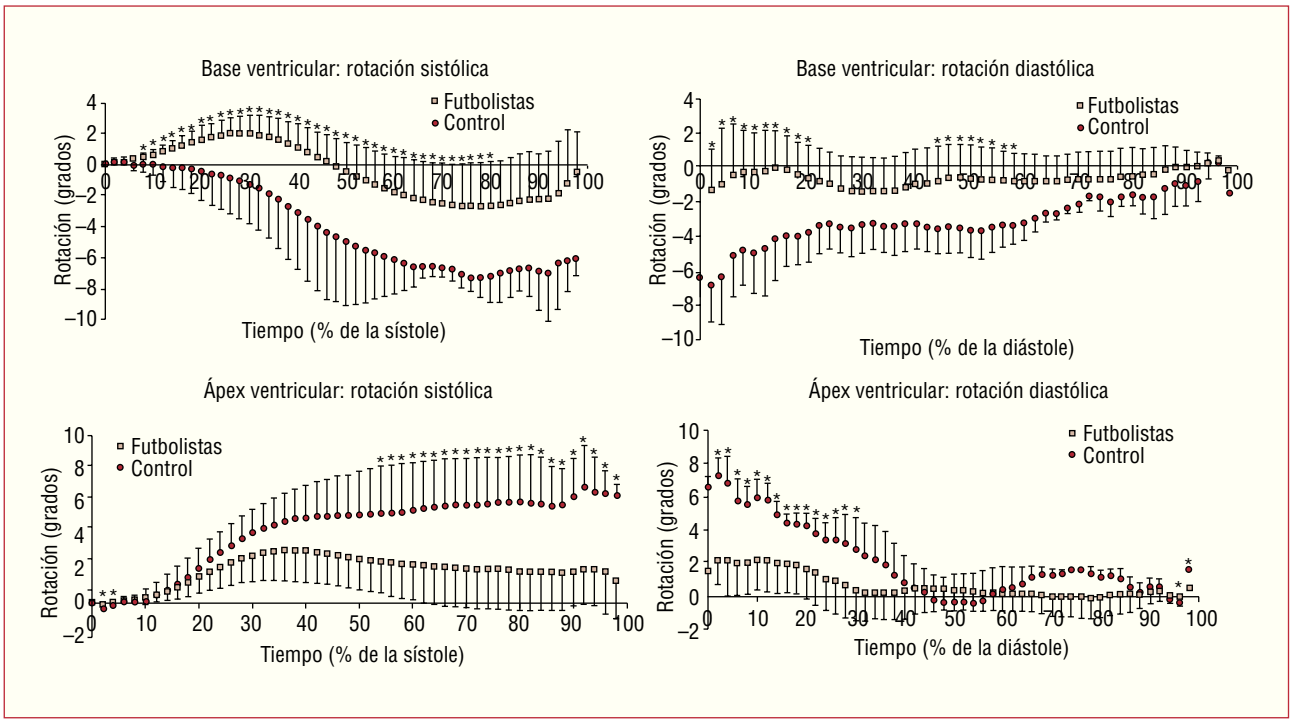

Fig. 3. Rotación basal y apical para las fases sistólica y diastólica, en futbolistas profesionales y en individuos controles. Para una mejor visualización, sólo se incluyó el valor medio y una desviación estándar.
*p < 0,05 respecto del restante grupo de individuos.

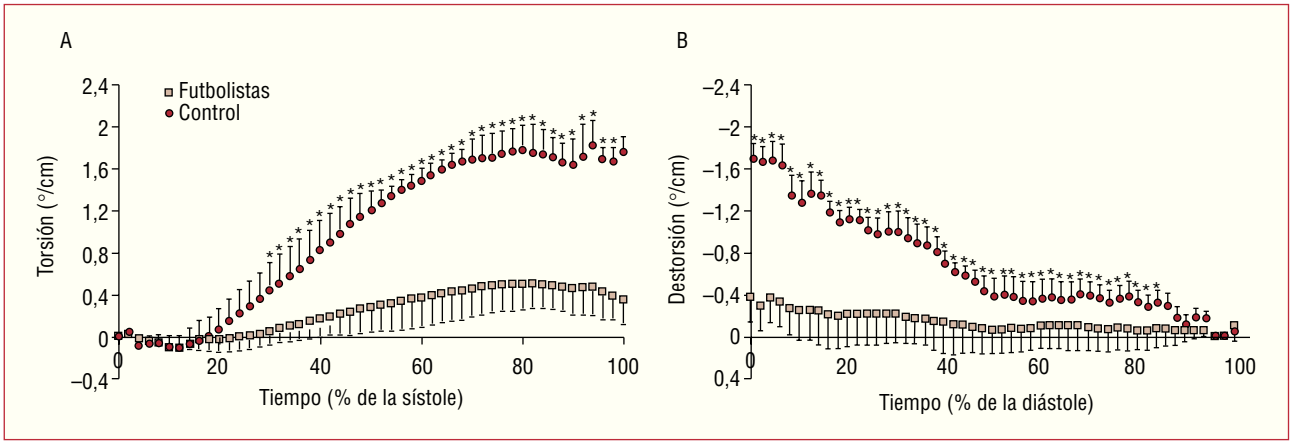

Fig. 4. Torsión (A) y destorsión (B) ventricular izquierda en futbolistas profesionales y en individuos no entrenados (controles). Para una mejor visualización sólo se incluyó el valor medio y una desviación estándar.
*p < 0,05 respecto de los futbolistas.

técnica. Recientemente, Helle-Valle et al[6] y Notomi et al[11] propusieron y validaron el estudio de la Tv con EST. El uso de EST posibilitaría la caracterización de la Tv y su estudio habitual en investigación cardiovascular y en la práctica clínica, con la ventaja de la independencia del ángulo y la traslación, a diferencia del estudio con Doppler, y tiene como limitación la posibilidad de obtener imágenes de buena calidad en modo B.

En este trabajo, utilizando EST se caracterizó la dinámica de la torsión y la destorsión ventricular en FP, en el dominio del tiempo, y se la comparó con la de sujetos control no entrenados, de iguales edad, IMC y condiciones hemodinámicas basales.

Consideraciones funcionales

Torrent-Guasp[4] propuso que los ventrículos están constituidos por una única banda miocárdica plegada y enrollada sobre sí misma en una doble hélice. Esta organización miocárdica sería de fundamental importancia en la función ventricular, dado que, si tenemos en

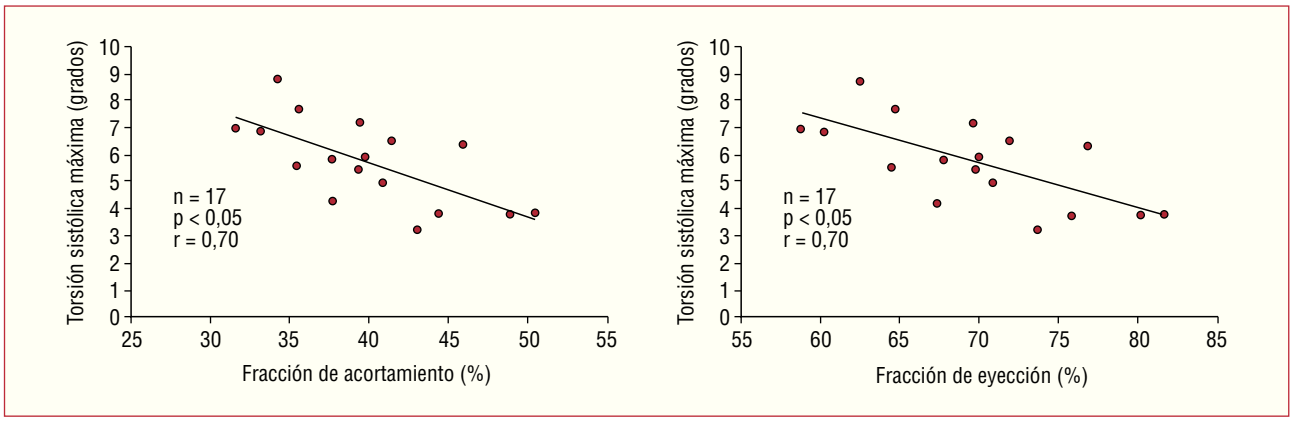

Fig. 5. Correlación entre la torsión ventricular máxima y la fracción de eyección y de acortamiento en los futbolistas profesionales.

cuenta que el acortamiento de los sarcómeros es de aproximadamente un 15% de su longitud, el volumen ventricular se reduciría un 15% si las fibras tuvieran una disposición longitudinal y un 30% con fibras circunferenciales, mientras que el valor normal de aproximadamente el 60% se obtiene si las fibras se disponen en dirección oblicua helicoidal[16]. En otras palabras, es la disposición helicoidal de las fibras miocárdicas lo que al determinar el movimiento de torsión sistólica y destorsión diastólica permite alcanzar los niveles fisiológicos de acortamiento y eyección. Asimismo, desde el punto de vista biomecánico, la Tv aumenta la eficiencia mecánica ventricular, ya que permite generar elevada presión ventricular y gran volumen de eyección ventricular, a la vez que reduce los niveles y diferencias de estrés y deformación intramiocárdicos y, en consecuencia, el consumo de oxígeno del ventrículo[5,17].

Teniendo en cuenta la importancia de la Tv en la biomecánica ventricular, se ha propuesto utilizarla para caracterizar la función del VI y se ha demostrado que la Tv es un sensible indicador de ésta. Cambios en la arquitectura, la geometría y la función ventriculares ocurren en situaciones patológicas y fisiológicas. En relación con esto, es sabido que tanto el ejercicio isométrico como el isotónico determinan modificaciones cardiacas, y que el tipo y la magnitud de los cambios dependen del deporte practicado, el tiempo y la intensidad del entrenamiento y factores individuales[1,2,18]. Considerando lo dicho y la relación de la Tv con la estructura y la función ventriculares, nos propusimos estudiar si se producen cambios en la torsión y/o la destorsión del VI en FP.

Nuestros resultados mostraron que en términos generales el perfil del curso temporal de la Tv sistólica y la destorsión diastólica de los FP y los de los controles fueron similares, pero con menores niveles en los FP. Esto constituye un hallazgo de singular importancia, dado que hasta el momento se han descrito reducciones en los niveles de torsión y destorsión ventricular en la isquemia, las valvulopatías y la miocardiopatía dilatada[9]. Consecuentemente, la reducción en la Tv se ha asociado a situaciones patológicas. Sin embargo, en nuestro trabajo, la «reducción» en la destorsión y la torsión del VI se evidenció en sujetos sin alteración de la función diastólica y con una función sistólica normal. Respecto a esto cabe destacar que nuestros resultados muestran que las cifras de fracción de eyección y de acortamiento de los FP fueron superiores que los encontrados en los controles. Si bien esto podría resultar sorprendente teniendo en cuenta que existen estudios en que no se han encontrado diferencias en la función sistólica entre individuos no entrenados y deportistas, nuestros resultados están de acuerdo con trabajos previos en los que se describen mayores niveles de función sistólica en deportistas que en sujetos control, tanto en reposo como en el ejercicio[19,20]. Por último, cabe destacar que todos los parámetros indicadores de la geometría ventricular considerados estuvieron dentro del rango de normalidad en los FP[12].

Teniendo en cuenta las características de nuestra población, la reducción en los niveles y la velocidad de torsión y destorsión obtenidos en los FP podrían considerarse como un cambio fisiológico adaptativo en respuesta al entrenamiento. Al respecto, nuestros resultados muestran que en los FP mayores fracciones de eyección y de acortamiento se asociaron con reducciones en los niveles máximos de Tv (fig. 5). En este sentido, podría postularse que el corazón de los FP requeriría menores niveles de torsión y destorsión para alcanzar un adecuado funcionamiento cardiovascular basal (en reposo físico), en comparación con los controles. Esto permitiría a los FP contar con una «reserva de torsión/destorsión», para usarla en condiciones de aumento de las demandas (p. ej., durante el ejercicio). Al respecto, recientemente Notomi et al[21] describieron que durante el ejercicio físico se incrementan los niveles de Tv. Durante el ejercicio físico, los FP aumentarían la Tv, pero los niveles alcanzados durante el ejercicio serían menores que los que alcanzarían en

idénticas condiciones los sujetos no entrenados. En otras palabras, para un incremento similar en las demandas metabólicas (como durante el ejercicio físico), el nivel de torsión/destorsión ventricular finalmente alcanzado para asegurar las demandas, si bien tanto en sujetos no entrenados como entrenados sería mayor que en el estado basal (reposo físico), en los segundos tendría un menor nivel absoluto y, consecuentemente, demandaría menor actividad mecánica torsional. Trabajos futuros en los que se estudie en sujetos no entrenados y entrenados la dinámica de la Tv en el ejercicio permitirán analizar la validez de esta hipótesis.

Limitaciones del estudio

La utilización de la EST para el estudio de la dinámica de torsión/destorsión ventricular ha sido validada recientemente, demostrándose que los datos obtenidos con esta técnica presentan elevada reproducibilidad, con reducida variabilidad intraobservador y entre observadores, tal como se confirmó en este trabajo. Asimismo, la independencia del ángulo y la menor influencia de los artefactos son las ventajas descritas para la EST en relación con los estudios realizados con Doppler tisular. Sin embargo, la EST también presenta limitaciones, como la dificultad en definir niveles anatómicos reproducibles para la evaluación de la rotación ventricular a nivel apical, la dependencia del análisis con la calidad de las imágenes bidimensionales y la necesidad de una clara delineación del borde endocárdico. Esto último hace que en algunos casos sea necesario utilizar bajas tasas de adquisición de imágenes (mayor resolución espacial), lo que puede determinar que a elevadas frecuencias cardiacas haya un submuestreo y pobre seguimiento (bajo *track score*). De todas maneras, dadas las características de los sujetos incluidos y las condiciones del estudio, estas limitaciones de la EST no dificultaron la evaluación de la torsión/destorsión ventricular en nuestro trabajo, y se pudo estudiar a todos los sujetos incluidos.

Finalmente, debe destacarse que el número de individuos incluidos en este trabajo impide alcanzar conclusiones definitivas que puedan ser extrapoladas a la población de FP. Se trata, en cambio, del primer trabajo en el que se caracteriza la dinámica de la torsión/destorsión ventricular de futbolistas en condiciones basales (reposo físico), y se evidencian diferencias con los sujetos no entrenados. Los resultados obtenidos, así como la factibilidad y la reproducibilidad de la técnica de análisis, introducen el tema en la comunidad científica e indican la posibilidad de utilizar el análisis de la Tv con EST como una nueva herramienta que permitiría evaluar la adaptación al entrenamiento y podría contribuir a diferenciar entre cambios fisiológicos y patológicos. Para ello son necesarios futuros trabajos en los que se evalúe a un mayor número de individuos, con diferentes tipos de entrenamiento y enfermedades, y en los que se analice la Tv en diferentes situaciones (p. ej., en respuesta al ejercicio).

CONCLUSIONES

Los niveles y las velocidades de torsión y destorsión ventricular fueron menores en los FP que en los C. En condiciones de reposo físico, los menores niveles de torsión y destorsión del VI existentes en los FP podrían considerarse un mecanismo de adaptación fisiológica beneficiosa para el deportista, ya que se obtuvieron con una función diastólica normal y una función sistólica aumentada respecto a la de los controles.

La reducción de la torsión y la destorsión del VI no ocurre solamente en caso de afección cardiovascular, sino que puede ocurrir en condiciones fisiológicas.

AGRADECIMIENTOS

A la compañía General Electric (Sr. Ariel Desseno y Sr. Glenn R. Lie) por su contribución con el *software* necesario para el análisis de los datos en Montevideo (Uruguay) y Buenos Aires (Argentina). A la Sra. Paula Bia Santana por su colaboración durante la confección de las figuras. A CSIC-UDELAR y PEDECIBA-BIOLOGIA (Uruguay) por su contribución económica para la formación de recursos humanos. A la Sociedad Española de Cardiología por el premio otorgado al presente trabajo en el Congreso de las Enfermedades Cardiovasculares (Madrid, España, 18-20 de octubre de 2007).

BIBLIOGRAFÍA

1. Pelliccia A, Culasso F, Di Paolo FM, Maron BJ. Physiologic left ventricular cavity dilatation in elite athletes. Ann Intern Med. 1999;130:23-31.
2. Abernethy WB, Choo JK, Hutter AM. Echocardiographic characteristics of professional football players. J Am Coll Cardiol. 2003;41:280-4.
3. Torrent-Guasp F. La estructuración macroscópica del miocardio ventricular. Rev Esp Cardiol. 1980;33:265-87.
4. Torrent-Guasp F. Estructura y función del corazón. Rev Esp Cardiol. 1998;51:91-102.
5. Buckberg G, Coghlan H, Torrent-Guasp F. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. V. Anatomic and physiologic considerations in the healthy and failing heart. Semin Thorac Cardiovasc Surg. 2001;13:358-85.
6. 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.
7. Beyar R, Dong SJ, Smith ER, Belenkie I, Tyberg JV. Ventricular interaction and septal deformation: a model compared with experimental data. Am J Physiol. 1993;265:H2044-56.
8. Taber LA, Yang M, Podszus WW. Mechanics of ventricular torsion. J Biomech. 1996;29:745-52.
9. Tibayan FA, Rodriguez F, Langer F, Zasio MK, Bailey L, Liang D, et al. Alterations in left ventricular torsion and diastolic recoil after myocardial infarction with and without chronic ischemic mitral regurgitation. Circulation. 2004;110:II109-14.

10. Notomi Y, Martin-Miklovic MG, Oryszak SJ, Shiota T, Deserranno D, Popovic ZB, et al. Enhanced ventricular untwisting during exercise: a mechanistic manifestation of elastic recoil described by Doppler tissue imaging. Circulation. 2006;113:2524-33.
11. Notomi Y, Lysyansky P, Setser RM, Shiota T, Popovic ZB, Martin-Miklovic MG, et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. J Am Coll Cardiol. 2005;45:2034-41.
12. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Chamber Quantification Writing Group; American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee; European Association of Echocardiography. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. J Am Soc Echocardiogr. 2005;18:1440-63.
13. Bohs LN, Trahey GE. A novel method for angle independent ultrasonic imaging of blood flow and tissue motion. IEEE Trans Biomed Eng. 1991;38:280-6.
14. Abd-Elmoniem KZ, Youssef AB, Kadah YM. Real-time speckle reduction and coherence enhancement in ultrasound imaging via nonlinear anisotropic diffusion. IEEE Trans Biomed Eng. 2002; 49:997-1014.
15. Chung J, Abraszewski P, Yu X, Liu W, Krainik AJ, Ashford M, et al. Paradoxical increase in ventricular torsion and systolic torsion rate in type I diabetic patients under tight glycemic control. J Am Coll Cardiol. 2006;47:384-90.
16. Coghlan C, Hoffman J. Leonardo da Vinci's flights of the mind must continue: cardiac architecture and the fundamental relation of form and function revisited. Eur J Cardiothorac Surg. 2006;29:S4-17.
17. Arts T, Prinzen FW, Snoeckx LH, Rijcken JM, Reneman RS. Adaptation of cardiac structure by mechanical feedback in the environment of the cell: a model study. Biophys J. 1994;66:953-61.
18. Pluim BM, Zwinderman AH, Van der Laarse A, Van der Wall EE. The athlete's heart. A meta-analysis of cardiac structure and function. Circulation. 2000;101:336-44.
19. Ghorayeb N, Batlouni M, Pinto IM, Dioguardi GS. Left ventricular hypertrophy of athletes: adaptative physiologic response of the heart. Arq Bras Cardiol. 2005;85:191-7.
20. Jensen-Urstad M, Bouvier F, Nejat M, Saltin B, Brodin LA. Left ventricular function in endurance runners during exercise. Acta Physiol Scand. 1998;164:167-72.
21. Notomi Y, Srinath G, Shiota T, Martin-Miklovic MG, Beachler L, Howell K, et al. Maturational and adaptive modulation of left ventricular torsional biomechanics: Doppler tissue imaging observation from infancy to adulthood. Circulation. 2006;113: 2534-41.