

Adaptaciones morfofuncionales evaluadas por ecocardiograma en deportistas masculinos de élite en triatlón

Dr. Comlan Géoffroy Agbélélé, Dr. Juan A. Prohías Martínez, Dra. Ángela M. Castro Arca, Dr. Oyantay Mérida Álvarez y Dr. Ricardo A. García Hernández✉

Servicio de Cardiología. Hospital "Hermanos Ameijeiras". La Habana, Cuba.

Full English text of this article is also available

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 20 de noviembre de 2013

Aceptado: 14 de enero de 2014

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Abreviaturas

AI: aurícula izquierda

PP: pared posterior

TIV: tabique interventricular

VI: ventrículo izquierdo

VTDMI: volumen telediastólico del VI

Versiones On-Line:

Español - Inglés

✉ RA García Hernández

San Lázaro 701,

e/ Belascoáin y Marqués González.

Centro Habana 10300.

La Habana, Cuba.

Correo electrónico:

ramador@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: Las adaptaciones cardiovasculares de los deportistas de alto rendimiento permiten pronosticar lo adecuado del entrenamiento físico al que son sometidos. Los cambios auriculares, no tan estudiados, se instauran más precozmente que los ventriculares.

Objetivo: Evaluar los cambios morfofuncionales ventriculares y auriculares izquierdos en atletas de élite de triatlón en las distintas fases de entrenamiento.

Método: Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, descriptivo, mediante la realización de ecocardiograma bidimensional y modo M, con Doppler color, pulsado y tisular, para la obtención de las variables específicas involucradas en el estudio de todos los integrantes del equipo nacional masculino de triatlón. El universo estuvo constituido por 6 atletas. El estudio se realizó bimensualmente durante un período de un año, para abarcar distintas fases de entrenamiento.

Resultados: Los atletas tenían entre 20 y 24 años de edad y una superficie corporal promedio de 1,89 m². El grosor septal y de la pared posterior, y el volumen telediastólico del ventrículo izquierdo aumentaron significativamente ($p < 0.01$) a medida que avanzó el entrenamiento; de igual forma ocurrió con el diámetro de la aurícula izquierda y las nuevas variables propuestas para medir la contractilidad miocárdica (*Strain* y *Strain Rate*).

Conclusiones: El ejercicio físico produce modificaciones en los diámetros y volúmenes diastólicos del ventrículo izquierdo, en su fracción de eyección, y en el grosor del tabique interventricular y la pared posterior. Las nuevas variables propuestas para medir la contractilidad miocárdica demostraron la eficiencia del entrenamiento en el corazón de los atletas. El diámetro, el volumen y la presión de la aurícula izquierda aumentaron proporcionalmente a la intensidad del ejercicio. Esta presión auricular tuvo una tendencia a regresar a sus valores basales al disminuir la carga de entrenamiento.

Palabras clave: Triatlón, Fracción de eyección, Diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo, Grosor septal, Pared posterior, Aurícula izquierda

Morphofunctional adjustments assessed by echocardiogram in male elite triathlon athletes

ABSTRACT

Introduction: Cardiovascular adjustments of elite athletes allow predicting the adequacy of the physical training they undergo. The atrial changes, which have not been studied much, are established earlier than the ventricular ones.

Objectives: To evaluate the left ventricular and atrial morphofunctional changes in elite triathlon athletes at different stages of training.

Method: A prospective, longitudinal and descriptive study was conducted by performing two-dimensional and M-mode echocardiography, with pulse tissue Doppler and color tissue Doppler, to obtain the specific variables involved in the study of all members of the men's national triathlon team. The universe consisted of six athletes. The study was performed bimonthly for a period of one year, to cover different training stages.

Results: Athletes were 20 to 24 years of age and had a mean body surface area of 1.89 m². The septal and posterior wall thickness, and left ventricular end-diastolic volume increased significantly ($p < 0.01$) as the training advanced, and likewise happened with the left atrium diameter and the variables proposed to measure myocardial contractility (Strain and Strain Rate).

Conclusions: Physical exercise produces changes in end diastolic diameter and volumes of left ventricle, in its ejection fraction, and in the thickness of the interventricular septum and posterior wall. The new variables proposed for measuring myocardial contractility demonstrated the training efficiency in the heart of athletes. The diameter, volume and left atrial pressure increased in proportion to the intensity of exercise. This atrial pressure had a tendency to return to baseline values by decreasing the training load.

Key words: Triathlon, Ejection fraction, End diastolic diameter of left ventricle, Septal thickness, Posterior wall, Left atrium

INTRODUCCIÓN

La actividad física y particularmente las actividades deportivas son desde antaño consideradas parte de un modo de vida sano¹. El entrenamiento o ejercicio físico continuado induce una serie de adaptaciones fisiológicas y morfofuncionales sobre el sistema cardiovascular que pueden variar según la influencia de varios factores².

Con el advenimiento de la radiografía y del electrocardiograma, se avanzó en el conocimiento de las adaptaciones cardíacas al entrenamiento; pero fue con la aparición de la ecocardiografía en la década del '70, que se produjo un importante impulso en esta área de investigación. El ecocardiograma en modo M, bidimensional y Doppler ha sido utilizado por numerosos autores para estudiar tales modificaciones, así como el índice Tei³⁻⁶. Aunque en la actualidad la evaluación de la deformación miocárdica con técnicas novedosas (*Strain* y *Strain rate*, en inglés)*, han desplazado estas modalidades y ofrecen gran confiabilidad.

Existen pocos autores que han publicado estudios sobre los cambios morfofuncionales en el corazón de atletas de alto rendimiento en una disciplina tan com-

pleja como el triatlón, que reúne tres deportes de alta resistencia (natación 3,9 km, ciclismo 180 km y carrera a pie, 42 km), donde se describen fundamentalmente los cambios relacionados con las cavidades izquierdas, por lo que nos sentimos motivados a realizar un estudio similar, enfocado preponderantemente a las adaptaciones de la aurícula izquierda (AI), lo cual no ha sido hasta el momento muy bien dilucidado.

El objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios morfofuncionales ventriculares y auriculares izquierdos en atletas de élite de triatlón, en las distintas fases o períodos de entrenamiento.

MÉTODO

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, descriptivo mediante la realización de ecocardiograma bidimensional y modo M, con Doppler color, pulsado y tisular, en los 6 atletas del equipo masculino de triatlón de Cuba durante el período de octubre de 2009 a octubre de 2010.

Fases de entrenamiento

Acorde al programa de entrenamiento se estableció

un cronograma de un año, dividido en dos macrociclos de 6 meses cada uno. El primero estuvo dividido en tres fases: a) preparatoria general o fase 1, que a su vez se dividió en dos mesociclos (básico integral y básico especial), e incluyó la aplicación de técnicas que permitieron una preparación físico-mental de los atletas para abordar el siguiente período, b) fase 2 o preparatoria especial, compuesta de dos mesociclos (preparatoria y perfeccionamiento) en la cual se comenzaron a aplicar gradualmente distintas cargas de entrenamiento que consistieron en aumentar el número la duración de las secciones y la distancia a recorrer, y c) fase 3 o competitiva, subdividida a su vez en tres mesocíclicos en los cuales se sometió al atleta a distintas competencias y se valoró el resultado de la preparación.

El macrociclo II se compuso de tres mesociclos (acumulación o fase 4, transformación o fase 5 y vacaciones relativas o fase 6), cada uno con dos meses de duración. Los mesociclos de acumulación y de transformación se caracterizaron por cinco microciclos cada uno y se diferencian entre sí por las cargas en ascenso de los ejercicios, y el último mesociclo estuvo destinado a la realización de ejercicios individuales sin muchas presiones ni exigencias.

Técnica ecocardiográfica

Al término de cada mesociclo se realizó ecocardiograma con un equipo Phillips iE33, equipado con un transductor multifrecuencia S 1-5 MHz. El paciente se colocó en decúbito lateral izquierdo, previa ubicación de electrodos para registro de señal electrocardiográfica; se tomaron las vistas ecocardiográficas estándares (eje paraesternal largo y corto, y vistas apicales de dos y cuatro cámaras), para evaluar la anatomía de las cavidades, las válvulas cardíacas y la función ventricular izquierda global y segmentaria.

Se utilizó el modo M para determinar las mediciones (en milímetros) de los diámetros telediastólico y telesistólico del ventrículo izquierdo (VI), así como del tabique interventricular (TIV) y la pared posterior (PP). La fracción de eyección del propio ventrículo fue calculada mediante el método de Teichholz, y la dimensión de la AI fue medida por el método bidimensional, en vista apical de cuatro cámaras, se determinó el diámetro transversal en milímetros y se calculó su volumen por el método de Simpson biplanar. Cada parámetro fue evaluado por promedio de tres mensuraciones.

Para realizar la evaluación de la deformación miocárdica se utilizó un software disponible en el laboratorio de cuantificación (Q-LAB) del ecocardiógrafo Phillips iE33, específicamente el complemento SQ (cuantificación de *Strain* o deformación miocárdica), el cual permitió el análisis de la tasa de deformación (*Strain rate*) y la deformación media (*Strain*) en modo M del septum interventricular longitudinalmente. Se tomó imagen con Doppler color tras ajustar los parámetros del equipo con una calidad de imagen alta (200 cuadros/seg.) y se logró una buena definición de los bordes, y el menor ángulo posible entre la pared y el haz ultrasonográfico. Posteriormente se procedió a trazar una línea "M" virtual sobre el septum, la cual se reajustó en anchura para no incluir los bordes endocárdicos ni epicárdicos. Automáticamente el software realizó el análisis de velocidades tisulares, tasa de deformación y deformación media y realizó una representación en mapas de colores y gráficos con las correspondientes ondas sistólicas (S) y diastólicas (E y A). Los valores normales se consideraron según los rangos establecidos por las Sociedades Americana y Europea de Ecocardiografía^{7,8}.

Procesamiento estadístico

Los datos se procesaron con el paquete estadístico SPSS-W 13.0 y se determinaron las medidas de resumen de estadística descriptiva. Se utilizó el promedio como medida de tendencia central y la desviación estándar como medida de dispersión. Se realizó la prueba no paramétrica de Friedman para medidas repetidas, y se consideró que existía diferencia significativa cuando la probabilidad de la prueba fue menor de 0.05. Los resultados se presentan en tablas y gráficos.

RESULTADOS

En la **tabla 1** se observa el rango etario de la población estudiada comprendido 20 y 24 años, y una superficie corporal promedio de 1,89 m².

Tabla 1. Caracterización de los atletas según edad y área de superficie corporal.

Variables	Mínimo	Máximo	Media
Edad (años)	20	24	22,7
Área de superficie corporal (m ²)	1,77	2,03	1,89

La **tabla 2** muestra el incremento progresivo del grosor septal y la PP, que sobrepasaron levemente los valores considerados como normales y alcanzaron significación estadística ($p < 0.01$).

Tabla 2. Comportamiento promedio del TIV y la PP en los diferentes periodos.

Variables	Mínimo	Máximo	Media
TIV (1)	12,0	13,2	12,76
TIV (2)	12,2	13,2	12,86
TIV (3)	12,3	13,3	12,93
TIV (4)	12,3	13,4	13,01
TIV (5)	12,4	13,4	13,06
TIV (6)	12,4	13,4	13,06
χ^2 (Prueba de Friedman) = 27,5 $p=0.000$			
PP (1)	11,0	13,0	11,78
PP (2)	11,2	13,0	11,95
PP (3)	11,2	13,1	12,00
PP (4)	11,3	13,1	12,05
PP (5)	11,4	13,2	12,16
PP (6)	11,4	13,2	12,16
χ^2 (Prueba de Friedman) = 28,8 $p=0.000$			

En la **tabla 3** se corrobora el incremento significativo y gradual del volumen telediastólico del VI (VTDVI), así como del diámetro de la AI, a medida que progresó el entrenamiento.

La **tabla 4** hace referencia a la mejoría de la fuerza contráctil de las miofibrillas detectadas por la técnica de *Strain/Strain rate*.

El **gráfico 1** revela que en los primeros meses del estudio no ocurrió incremento de la función sistólica, que sí fue demostrada a medida que se mantuvo en ascenso la carga de entrenamiento.

Como se observa en el **gráfico 2**, el índice de Tei tuvo un comportamiento decreciente durante el tiempo de estudio, que indica un cambio positivo favorecedor del funcionamiento del corazón.

En los **gráficos 3A y 3B** se observa el incremento progresivo de volumen y presión de la AI, llama la atención un descenso significativo de estas variables al término de la fase 6.

Tabla 3. Comportamiento del VTDVI y el diámetro de la AI en los diferentes periodos.

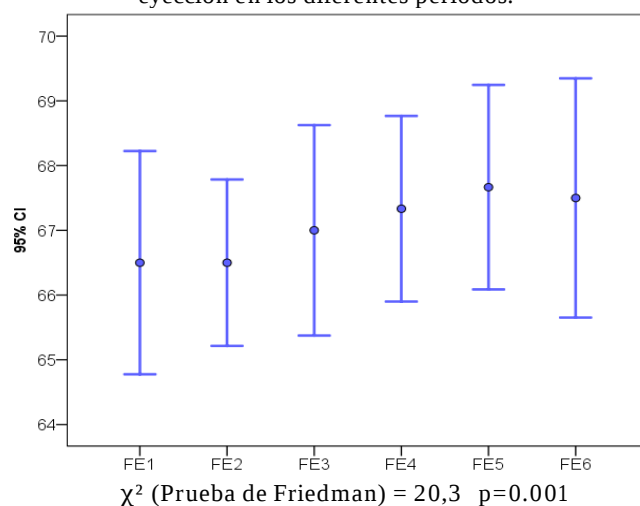
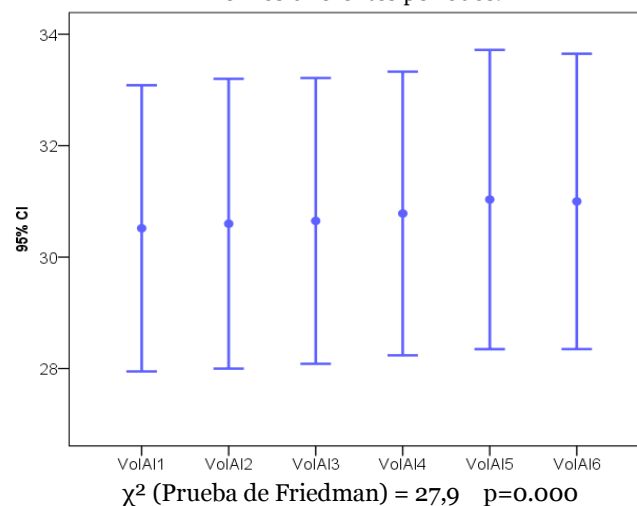
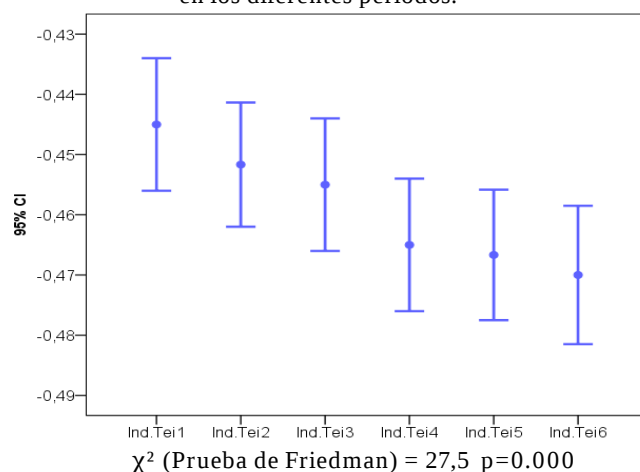
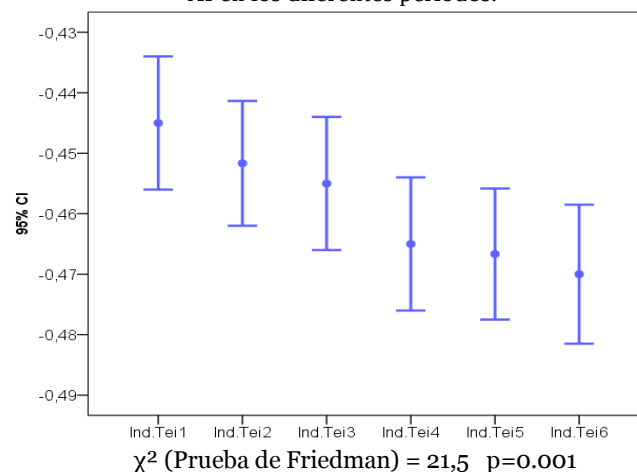
	Mínimo	Máximo	Media	DT
VTDVI (1)	120,5	155,0	136,08	14,40
VTDVI (2)	122,0	155,4	136,81	14,01
VTDVI (3)	122,0	155,4	137,15	14,11
VTDVI (4)	122,0	155,9	137,46	14,30
VTDVI (5)	122,5	156,0	137,86	14,13
VTDVI (6)	122,5	156,0	137,96	14,11
χ^2 (Prueba de Friedman) = 28,6 $p=0.000$				
Diam AI (1)	41,8	45,0	43,03	1,14
Diam AI (2)	41,9	45,4	43,11	1,28
Diam AI (3)	41,9	45,4	43,18	1,24
Diam AI (4)	42,0	45,6	43,28	1,29
Diam AI (5)	42,3	45,6	43,38	1,20
Diam AI (6)	42,3	45,6	43,40	1,21
χ^2 (Prueba de Friedman) = 27,7 $p=0.000$				

Leyenda. DT: desviación típica; Diam: diámetro

Tabla 4. Comportamiento promedio del *Strain/Strain Rate* en los diferentes periodos.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	DT
Strain (1)	-21,2	-24,0	-22,73	1,05
Strain (2)	-21,4	-24,5	-22,95	1,07
Strain (3)	-21,4	-24,5	-22,95	1,09
Strain (4)	-21,5	-24,6	-23,13	1,08
Strain (5)	-21,6	-24,8	-23,23	1,12
Strain (6)	-21,6	-24,9	-23,28	1,17
χ^2 (Prueba de Friedman) = 27,6 $p=0.000$				
Strain Rate (1)	-1,5	-2,0	-1,73	0,186
Strain Rate (2)	-1,5	-2,1	-1,78	0,204
Strain Rate (3)	-1,6	-2,2	-1,81	0,213
Strain Rate (4)	-1,6	-2,2	-1,86	0,206
Strain Rate (5)	-1,7	-2,3	-1,96	0,206
Strain Rate (6)	-1,8	-2,3	-2,00	0,200
χ^2 (Prueba de Friedman) = 27,4 $p=0.000$				

Leyenda. DT: desviación típica

Gráfico 1. Comportamiento promedio de la fracción de eyección en los diferentes periodos.**Gráfico 3A.** Comportamiento promedio del volumen AI en los diferentes periodos.**Gráfico 2.** Comportamiento promedio del Índice de Tei en los diferentes periodos.**Gráfico 3B.** Comportamiento promedio de la presión en la AI en los diferentes periodos.

DISCUSIÓN

Durante el año correspondiente al tiempo de estudio hubo un aumento estadísticamente significativo del grosor del TIV como respuesta al ejercicio intenso y continuo, que contribuyó a mejorar la función sistólica del VI. Del mismo modo lo han demostrado diferentes estudios en deportistas de resistencia⁶⁻¹¹.

Por otra parte, se ha observado un aumento por encima de los 14 mm de las dimensiones del TIV en atletas practicantes de ejercicios estáticos, como ha sido publicado en varios trabajos y que justifica la elevada presión ventricular que caracteriza el corazón de los atletas practicantes de deportes de fuerza por una parte^{9,12,13}; pero por otra, se ha observado una diferencia en el crecimiento del TIV entre corredores, en

dependencia de la longitud de la carrera¹⁴. Al igual que este tabique, la PP del VI sufrió un ascenso gradual de sus dimensiones, lo cual coincide con varias publicaciones en deportistas de resistencia^{9,15-18}, y esto se justificaría de igual manera que lo sucedido con el TIV.

El VTDVI tuvo un aumento lineal ascendente a medida que fue progresando el entrenamiento. Hassan *et al.*¹⁹, lo midieron en triatletas antes y después de una carrera de maratón y encontraron que estaba aumentando en casi todos. Poh *et al.*²⁰ encontraron resultados similares. El hecho de que el índice de contractilidad o función sistólica sean normales en los deportistas y similar en los sedentarios parece indicar que el mayor volumen sistólico del corazón entrenado en reposo (120-130 ml contra 70-80 ml) es debido a un

aumento en el VTDVI^{21,22}.

Como se demuestra en la **tabla 4**, las fibras miocárdicas de los triatletas estudiados tuvieron una contracción vigorosa que mejoró el rendimiento del corazón para responder a las necesidades metabólicas del organismo. A esa misma conclusión llegaron otros autores al comparar la región septal del corazón del atleta con esa misma área en corazones de sujetos no deportistas²³.

En los primeros meses del estudio no se encontró un aumento considerable de la función sistólica, pero a medida que se incrementó la carga de ejercicios comenzó a observarse un aumento gradual de la fracción de eyección. Tales resultados concordaron con los encontrados por Hassan *et al.*¹⁹ y Zócalo *et al.*²⁴. Este resultado pudiera explicarse por la complejidad del triatlón que involucra el sinergismo de tres deportes de resistencia.

Los valores decrecientes del índice de Tei como variable de desempeño miocárdico ratificaron los cambios positivos ocurridos, que favorecen el funcionamiento del corazón de los triatletas. Este resultado es semejante al encontrado por de la Rosa *et al.*²⁵ en su investigación.

La contribución relativa de las funciones contráctil, de reserva y contribución al llenado del VI es del 25, 40 y 35 %, respectivamente. Con el incremento de la rigidez y la falta de distensibilidad de este ventrículo, la presión en la AI aumenta para mantener un llenado adecuado. Esto genera un estiramiento del miocardio auricular y dilatación de la cavidad²⁶, lo que se corresponde con los resultados encontrados en esta investigación, al medir el diámetro transversal de la AI. Ese crecimiento del diámetro tuvo tendencia a la dilatación en el mismo período de estudio, pero después del tiempo de vacaciones el diámetro de la aurícula decreció, aunque sin llegar a igualar sus valores iniciales. Esto demuestra el aumento de la capacidad interna de la AI ante el ejercicio intenso y mantenido, para así facilitar el llenado ventricular dependiente, en parte, del volumen auricular^{23,27}; sin embargo otros autores plantean que la edad constituye un factor negativo en los cambios a nivel auricular que se producen en los deportistas de élite²⁸.

CONCLUSIONES

El ejercicio físico produce modificaciones en los diámetros y volúmenes diastólicos del VI, en su fracción de eyección, y en el grosor del TIV y la PP. Las nuevas

variables propuestas para medir la contractilidad miocárdica (*Strain* y *Strain rate* sistólicos) demostraron la eficiencia del entrenamiento en el corazón de los atletas. El diámetro, el volumen y la presión de la AI aumentaron proporcionalmente a la intensidad del ejercicio. Esta presión auricular tuvo una tendencia a regresar a sus valores basales al disminuir la carga de entrenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hoffmann A, Isler R. Appréciation de l'aptitude à la pratique sportive sous l'angle cardiaque. Forum Med Suisse. 2007;7:889-94.
2. Serratosa Fernández L. Adaptaciones Cardiovasculares del Deportista. 2do Congreso Virtual de Cardiología 2001. [Internet]. [citado 2013 Oct 31]. Disponible en: <http://pcvc.fac.org.ar/scvc/llave/PDF/serratoe.PDF>
3. Kasikcioglu HA, Kasikcioglu E, Oflaz H, Unal S, Topcu B, Tartan Z, *et al.* Discrimination between physiologic and pathologic left ventricular dilatation. Int J Cardiol. 2006;109(2):288-90.
4. Maron BJ. Enfermedad cardiovascular en atletas. En: Zipes DP, Libby P, Bonow RO, Braunwald E, eds. Tratado de Cardiología. 7ma. ed. Madrid: Elsevier, 2006; p. 1985-91.
5. Teske AJ, De Boeck BW, Melman PG, Sieswerda GT, Doevendans PA, Cramer MJM. Echocardiography quantification of myocardial function using tissue deformation imaging, a guide to image acquisition and analysis using tissue Doppler and speckle tracking. Cardiovasc Ultrasound [Internet]. 2007 [citado 2013 Oct 31];5:27. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2000459/>
6. Peidro RM. El corazón del deportista. Hallazgos clínicos, electrocardiográficos y ecocardiográficos. Rev Argent Cardiol. 2003;71(2):126-37.
7. Maron BJ, Thompson PD, Ackerman MJ, Balady G, Berger S, Cohen D, *et al.* Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes: 2007 update. A scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism: Endorsed by the American College of Cardiology Foundation. Circulation. 2007;115(12):1643-55.
8. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA. Recommendations for Cham-

- ber 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(12):1440-63.
9. Pavlik G, Olexó Z, Osváth P, Sidó Z, Frenki R. Echocardiographic characteristics of male athletes of different age. *Br J Sports Med*. 2001;35(2):95-9.
 10. Escudero EM, Tufare A, Lobrutto C, Pellegrini L, Asenjo A, Pinilla OA. Remodelamiento ventricular izquierdo en el atleta: influencia de diferentes actividades deportivas. *Rev Fed Arg Cardiol*. 2006;35(3):150-6.
 11. Barbier J, Ville N, Kervio G, Walther G, Carré F. Sports-specific features of athlete's heart and their relation to echocardiographic parameters. *Herz*. 2006;31(6):531-43.
 12. Laskowski R, Wysocki K, Multan A, Haga S. Changes in cardiac structure and function among elite judoists resulting from long-term judo practice. *J Sports Med Phys Fitness*. 2008;48(3):366-70.
 13. Venckunas T, Mazutaitiene B. The role of echocardiography in the differential diagnosis between training induced myocardial hypertrophy versus cardiomyopathy. *J Sports Sci Med*. 2007;6(2):166-71.
 14. Calderón FJ, Díaz V, Peinado AB, Benito PJ, Maffulli N. Cardiac dimensions over 5 years in highly trained long-distance runners and sprinters. *Phys Sportsmed*. 2010;38(4):112-8.
 15. MacFarlane N, Northridge DB, Wright AR, Grant S, Dargie HJ. A comparative study of left ventricular structure and function in elite athletes. *Br J Sports Med*. 1991;25(1):45-8.
 16. George K, Shave R, Oxborough D, Cable T, Dawson E, Artis N, et al. Left ventricular wall segment motion after ultra-endurance exercise in humans assessed by myocardial speckle tracking. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10(2):238-43.
 17. Chan-Dewar F, Oxborough D, Shave R, Gregson W, Whyte G, George K. Left ventricular myocardial strain and strain rates in sub-endocardial and sub-epicardial layers before and after a marathon. *Eur J Appl Physiol*. 2010;109(6):1191-6.
 18. Papadakis M, Carre F, Kervio G, Rawlins J, Panoulas VF, Chandra N, et al. The prevalence, distribution, and clinical outcomes of electrocardiographic repolarization patterns in male athletes of African/Afro-Caribbean origin. *Eur Heart J*. 2011;32(18):2304-13.
 19. Hassan MY, Noakes TD, Berlyn P, Shave R, George K. Preload maintenance protects against a depression in left ventricular systolic, but not diastolic, function immediately after ultraendurance exercise. *Br J Sports Med*. 2006;40(6):536-40.
 20. Poh KK, Ton-Nu TT, Neilan TG, Tournoux FB, Picard MH, Wood MJ. Myocardial adaptation and efficiency in response to intensive physical training in elite speedskaters. *Int J Cardiol*. 2008;126(3):346-51.
 21. Zeppilli P, Corsetti R. Adattamenti cardiocircolatori nelle diverse discipline sportive. En: Zeppilli P, ed. *Cardiologia dello sport*. 2da. ed. Roma: CESI; 1996. p. 37-78.
 22. Maron BJ. Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 1986;7(1):190-203.
 23. Nottin S, Doucende G, Schuster-Beck I, Dauzat M, Obert P. Alteration in left ventricular normal and shear strains evaluated by 2D-strain echocardiography in the athlete's heart. *J Physiol*. 2008;586(Pt 19):4721-33.
 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(7):705-13.
 25. de la Rosa Hernández A, Boraita Pérez A, Heras Gómez MA, de la Torre Combarros AI, Radabán Ruiz M, Canda Moreno A, et al. Análisis de índice de remodelado ventricular izquierdo en deportistas de alto nivel. *Rev Esp Cardiol*. 2007;60(Supl 2):20. [Resumen].
 26. Claessens PJ, Claessens CW, Claessens MM, Claessens MC, Claessens JE. Supernormal left ventricular diastolic function in triathletes. *Tex Heart Inst J*. 2001;28(2):102-10.
 27. Simsek Z, Gundogdu F, Alpaydin S, Gerek Z, Ercis S, Sen I, et al. Analysis of athletes' heart by tissue Doppler and strain/strain rate imaging. *Int J Cardiovas Imaging*. 2011;27(1):105-11.
 28. D'Andrea A, Caso P, Vriz O, Citro R, Gravino R, Cocchia R, et al. Left atrial enlargement in 515 either endurance or strength competitive athletes. *Circulation*. 2009;120(18 Suppl):S383. [Resumen].

Morphofunctional adjustments assessed by echocardiogram in male elite triathlon athletes

Comlan Géoffroy Agbélélé, MD; Juan A. Prohías Martínez, MD; Ángela M. Castro Arca, MD; Oyantay Mérida Álvarez, MD; and Ricardo A. García Hernández✉, MD

Cardiology Service. Hermanos Ameijeiras Hospital. Havana, Cuba.

Este artículo también está disponible en español

ARTICLE INFORMATION

Received: November 20, 2013

Accepted: January 14, 2014

Competing interests

The authors declare no competing interests

Acronyms

IVS: interventricular septum

LA: left atrium

LV: left ventricle

LVEDV: LV end-diastolic volume

PW: posterior wall

On-Line Versions:

[Spanish - English](#)

✉ RA García Hernández

San Lázaro 701,

e/ Belascoaín y Marqués González.

Centro Habana 10300.

La Habana, Cuba.

E-mail address:

ramador@infomed.sld.cu

ABSTRACT

Introduction: Cardiovascular adjustments of elite athletes allow predicting the adequacy of the physical training they undergo. The atrial changes, which have not been studied much, are established earlier than the ventricular ones.

Objectives: To evaluate the left ventricular and atrial morphofunctional changes in elite triathlon athletes at different stages of training.

Method: A prospective, longitudinal and descriptive study was conducted by performing two-dimensional and M-mode echocardiography, with pulse tissue Doppler and color tissue Doppler, to obtain the specific variables involved in the study of all members of the men's national triathlon team. The universe consisted of six athletes. The study was performed bimonthly for a period of one year, to cover different training stages.

Results: Athletes were 20 to 24 years of age and had a mean body surface area of 1.89 m². The septal and posterior wall thickness, and left ventricular end-diastolic volume increased significantly ($p < 0.01$) as the training advanced, and likewise happened with the left atrium diameter and the variables proposed to measure myocardial contractility (Strain and Strain Rate).

Conclusions: Physical exercise produces changes in end diastolic diameter and volumes of left ventricle, in its ejection fraction, and in the thickness of the interventricular septum and posterior wall. The new variables proposed for measuring myocardial contractility demonstrated the training efficiency in the heart of athletes. The diameter, volume and left atrial pressure increased in proportion to the intensity of exercise. This atrial pressure had a tendency to return to baseline values by decreasing the training load.

Key words: Triathlon, Ejection fraction, End diastolic diameter of left ventricle, Septal thickness, Posterior wall, Left atrium

Adaptaciones morfofuncionales evaluadas por ecocardiograma en deportistas masculinos de élite en triatlón

RESUMEN

Introducción: Las adaptaciones cardiovasculares de los deportistas de alto rendimiento permiten pronosticar lo adecuado del entrenamiento físico al que son some-

tidos. Los cambios auriculares, no tan estudiados, se instauran más precozmente que los ventriculares.

Objetivo: Evaluar los cambios morfofuncionales ventriculares y auriculares izquierdos en atletas de élite de triatlón en las distintas fases de entrenamiento.

Método: Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, descriptivo, mediante la realización de ecocardiograma bidimensional y modo M, con Doppler color, pulsado y tisular, para la obtención de las variables específicas involucradas en el estudio de todos los integrantes del equipo nacional masculino de triatlón. El universo estuvo constituido por 6 atletas. El estudio se realizó bimensualmente durante un período de un año, para abarcar distintas fases de entrenamiento.

Resultados: Los atletas tenían entre 20 y 24 años de edad y una superficie corporal promedio de 1,89 m². El grosor septal y de la pared posterior, y el volumen telediastólico del ventrículo izquierdo aumentaron significativamente ($p < 0.01$) a medida que avanzó el entrenamiento; de igual forma ocurrió con el diámetro de la aurícula izquierda y las nuevas variables propuestas para medir la contractilidad miocárdica (*Strain* y *Strain Rate*).

Conclusiones: El ejercicio físico produce modificaciones en los diámetros y volúmenes diastólicos del ventrículo izquierdo, en su fracción de eyección, y en el grosor del tabique interventricular y la pared posterior. Las nuevas variables propuestas para medir la contractilidad miocárdica demostraron la eficiencia del entrenamiento en el corazón de los atletas. El diámetro, el volumen y la presión de la aurícula izquierda aumentaron proporcionalmente a la intensidad del ejercicio. Esta presión auricular tuvo una tendencia a regresar a sus valores basales al disminuir la carga de entrenamiento.

Palabras clave: Triatlón, Fracción de eyección, Diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo, Grosor septal, Pared posterior, Aurícula izquierda

INTRODUCTION

Physical activity and particularly sports activities have always been considered part of a healthy lifestyle¹. The continued training or physical exercise induces a series of physiological and morphofunctional adjustments on the cardiovascular system that can vary according to the influence of various factors².

With the advent of radiography and the electrocardiogram, progress was made in the knowledge of cardiac adjustments to training; but it was with the advent of echocardiography in the '70s, that a major boost in this area of research took place. Two-dimensional and M-mode echocardiography and Doppler has been used by many authors to study such changes as well as the Tei index³⁻⁶. Although at present the evaluation of myocardial deformation with novel techniques (*Strain* and *Strain rate*) have displaced these modalities and offer high reliability.

There are few authors who have published studies on the morphofunctional changes in the heart of high-performance athletes in such a complex discipline like triathlon, featuring three high endurance sports (swimming 3.9 km, biking 180 km and running, 42 km),

where changes related to the left chambers are essentially described. We were therefore motivated to perform such a study, predominantly focused on adjustments of the left atrium (LA), which so far has not been very well elucidated.

The objective of this research was to evaluate the left ventricular and atrial morphofunctional changes in elite triathlon athletes at different stages of training.

METHOD

A prospective, longitudinal and descriptive study was conducted by performing two-dimensional and M-mode echocardiography, with pulse tissue Doppler and color tissue Doppler, in six athletes of the men's national triathlon team from October 2009 to October 2010.

Training Stages

According to the training program a schedule of one year, divided into two macrocycles of 6 months each was established. The first was divided into three phases: a) general preliminary phase or phase 1, which in turn was divided into two mesocycles (integral basic

and special basic), and included the application of techniques that allowed a mental-physical preparation of athletes for the next period , b) special preliminary phase or phase 2, consisting of two mesocycles (preliminary and advanced) in which the different training loads that were to increase the length of the sections and the distance traveled were gradually applied, and c) the competitive phase or phase 3, further subdivided into three mesocycles where the athlete took part in different competitions and the results of the preparation was assessed.

The macrocycle II consisted of three mesocycles (accumulation or phase 4 transformation or phase 5 and relative vacations or phase 6), each lasting two months. Accumulation and transformation mesocycles were characterized by five microcycles each and were distinguished among themselves by rising loads of exercises, and the last mesocycle was aimed at the realization of individual exercises without much pressure or demands.

Echocardiographic technique

After each mesocycle an echocardiography using a Phillips iE33 equipped with a multifrequency transducer S 1-5 MHz was performed. The patient was placed in left lateral decubitus position with previous location of electrodes to record ECG signal; standard echocardiographic views were taken (long and short parasternal axis and apical views of two-and four-chambers) to assess the anatomy of the chambers, heart valves and global and segmental left ventricular function.

M mode was used to determine the measurements (in mm) of the end-diastolic and end-systolic diameters of the left ventricle (LV) as well as that of the interventricular septum (IVS) and posterior wall (PW). The ejection fraction of the ventricle itself was calculated by the method of Teichholz, and the dimension of the LA was measured by the two-dimensional method in apical four chamber view, the transverse diameter in millimeters was determined and its volume was calculated by the Simpson biplane method. Each parameter was evaluated by an average of three measurements.

For evaluation of myocardial deformation a software available in the laboratory of quantification (Q-LAB) of the echocardiograph Phillips iE33 was used, specifically the SQ complement (Strain quantification or myocardial deformation), which allowed the ana-

lysis of the strain rate and the average strain at M mode of longitudinally interventricular septum. Color Doppler imaging was taken after adjusting the equipment parameters with high image quality (200 frames/sec.) and good edge definition was achieved, and the smallest possible angle between the wall and the ultrasound beam. Then, an "M" virtual line was drawn on the septum, which was readjusted in width not to include the endocardial and epicardial borders. The software automatically performed the analysis of tissue velocities, strain rate and average strain and made a representation in color maps and graphics with the corresponding systolic wave (S) and diastolic (E and A). Normal values were considered according to the ranges established by the American and European Societies of Ecocardiography^{7,8}.

Statistical processing

Data were processed with the statistical package SPSS-W 13.0 and summary measures of descriptive statistics were determined. The average was used as a measure of central tendency and standard deviation as a measure of dispersion. Nonparametric Friedman test for repeated measures was performed, and it was considered that there was significant difference when the probability of the test was less than 0.05. The results are presented in tables and graphs.

RESULTS

Table 1 shows the age range of the study population (20 to 24 years), and an average body surface area of 1.89 m².

Table 1. Characterization of athletes according to age and body surface area.

Variables	Minimum	Maximum	Average
Age (years)	20	24	22,7
Body surface área (m ²)	1,77	2,03	1,89

Table 2 shows the progressive increase in septal thickness and PW, which slightly exceeded values considered normal and reached statistical significance (p< 0.01).

Table 3 demonstrates the significant and gradual increase in LV end-diastolic volume (LVEDV) as well as

Table 2. IVS and PW average behavior at different periods.

Variables	Minimum	Maximum	Average
IVS (1)	12,0	13,2	12,76
IVS (2)	12,2	13,2	12,86
IVS (3)	12,3	13,3	12,93
IVS (4)	12,3	13,4	13,01
IVS (5)	12,4	13,4	13,06
IVS (6)	12,4	13,4	13,06
χ^2 (Friedman test) = 27,5 p=0.000			
PW (1)	11,0	13,0	11,78
PW (2)	11,2	13,0	11,95
PW (3)	11,2	13,1	12,00
PW (4)	11,3	13,1	12,05
PW (5)	11,4	13,2	12,16
PW (6)	11,4	13,2	12,16
χ^2 (Friedman test) = 28,8 p=0.000			

Table 3. Behavior of LVEDV and LA diameter in the different periods.

Variables	Minimum	Maximum	Average	TD
LVEDV (1)	120,5	155,0	136,08	14,40
LVEDV (2)	122,0	155,4	136,81	14,01
LVEDV (3)	122,0	155,4	137,15	14,11
LVEDV (4)	122,0	155,9	137,46	14,30
LVEDV (5)	122,5	156,0	137,86	14,13
LVEDV (6)	122,5	156,0	137,96	14,11
χ^2 (Friedman test) = 28,6 p=0.000				
Diam LA (1)	41,8	45,0	43,03	1,14
Diam LA (2)	41,9	45,4	43,11	1,28
Diam LA (3)	41,9	45,4	43,18	1,24
Diam LA (4)	42,0	45,6	43,28	1,29
Diam LA (5)	42,3	45,6	43,38	1,20
Diam LA (6)	42,3	45,6	43,40	1,21
χ^2 (Friedman test) = 27,7 p=0.000				

Caption. TD: typical deviation; Diam: diameter

that of the LA diameter, as training progressed.

Table 4 refers to the improvement of the contrac-

Table 4. Averaged Strain/Strain Rate behavior at different periods.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	DT
Strain (1)	-21,2	-24,0	-22,73	1,05
Strain (2)	-21,4	-24,5	-22,95	1,07
Strain (3)	-21,4	-24,5	-22,95	1,09
Strain (4)	-21,5	-24,6	-23,13	1,08
Strain (5)	-21,6	-24,8	-23,23	1,12
Strain (6)	-21,6	-24,9	-23,28	1,17
χ^2 (Friedman test) = 27,6 p=0.000				
Strain Rate (1)	-1,5	-2,0	-1,73	0,186
Strain Rate (2)	-1,5	-2,1	-1,78	0,204
Strain Rate (3)	-1,6	-2,2	-1,81	0,213
Strain Rate (4)	-1,6	-2,2	-1,86	0,206
Strain Rate (5)	-1,7	-2,3	-1,96	0,206
Strain Rate (6)	-1,8	-2,3	-2,00	0,200
χ^2 (Friedman test) = 27,4 p=0.000				

Caption. TD: typical deviation

tile force of the myofibrils detected by the Strain/Strain rate technique.

Figure 1 shows that in the first months of the study no increase in systolic function occurred, which was indeed demonstrated as the training load was kept rising.

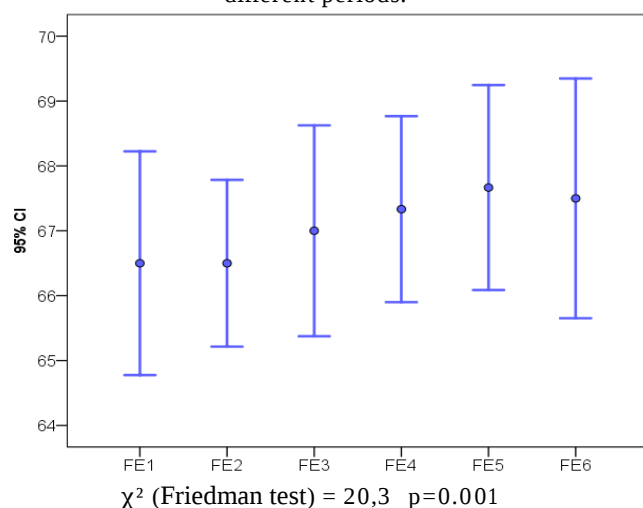
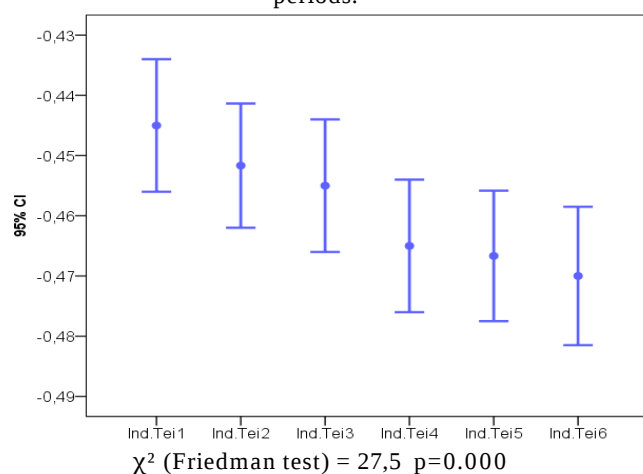
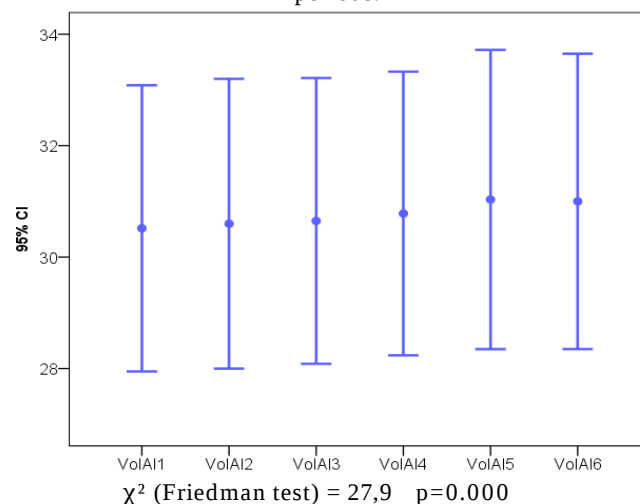
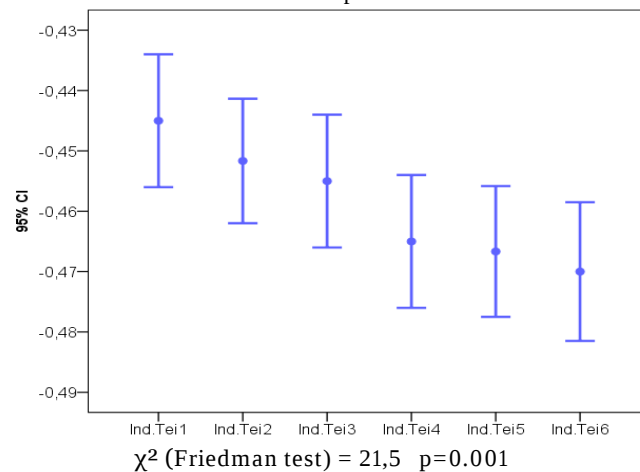
As seen in **figure 2**, the Tei index had a decreasing trend during the study period, indicating a favorable positive change of heart function.

In **figures 3A and 3B** the progressive increase in volume and pressure of the LA is observed, a significant decrease in these variables at the end of phase 6 is noteworthy.

DISCUSSION

During the year of the study time there was a statistically significant increase in the thickness of the IVS in response to the intense and continuous exercise, which helped to improve LV systolic function. Different studies have shown similar findings in athletes of endurance sports⁶⁻¹¹.

Besides, there has been an increase of over 14 mm in IVS dimensions in athletes that practice static exercises, as has been published in several papers and it

Figure 1. Average behavior of ejection fraction at different periods.**Figure 2.** Average behavior of Tei index in different periods.**Figure 3A.** Average behavior of LA volume in different periods.**Figure 3B.** Average behavior of pressure in the LA in different periods.

justifies the high ventricular pressure that characterizes the heart of athletes that practice strength sports on the one hand^{9,12,13}; but on the other, a difference in the growth of IVS among runners has been observed, depending on the length of the race¹⁴. Like this septum, the PW of the LV suffered a gradual rise of its dimensions, which is consistent with several publications on endurance athletes^{9,15-18}, and this is justified just as what happened with the IVS.

LVEDV had an upward linear increase as training progressed. Hassan et al.¹⁹ measured it in athletes before and after a marathon race, and found that it was increased in almost everyone. Poh et al.²⁰ found similar results. The fact that the index of contractility or systolic function are normal in athletes and similar in

sedentary people suggests that the increased stroke volume of the trained heart at rest (120-130 ml with 70-80 ml) is due to an increase in the LVEDV^{21,22}.

As shown in **Table 4**, the myocardial fibers of the triathletes studied had a vigorous contraction that improved the performance of the heart to meet the metabolic needs of the organism. Other authors reached the same conclusion when comparing the septal region of the athlete's heart with that same area of non-sports subjects²³.

In the early months of the study a significant increase in systolic function was not found, but as the exercise load was increased a gradually increasing ejection fraction began to appear. These results were consistent with those reported by Hassan et al.¹⁹ and

Zócalo et al.²⁴ This result could be explained by the complexity of triathlon that involves the synergism of three endurance sports.

The decreasing values of the Tei index as a variable of myocardial performance stressed the positive changes occurred that favor the functioning of the heart of triathletes. This result is similar to that found by de la Rosa et al.²⁵ in their research.

The relative contribution of contractile, reserve and contribution functions to LV filling is 25, 40 and 35 %, respectively. With the increased stiffness and lack of distensibility of the ventricle, the pressure in the LA increases to maintain a proper filling. This generates a stretch of the atrial myocardium and dilation of the cavity²⁶, which corresponds to the results found in this research, by measuring the transverse diameter of the LA. That diameter growth tended to expansion in the same period of study, but after vacation time the atrial diameter decreased, although without equaling their initial values. This shows the increase in internal capacity of the LA before intense and maintained exercise, to facilitate ventricular filling which is dependent, in part, on the atrial volume^{23,27}; however, other authors suggest that age is a negative factor in atrial level changes that occur in elite athletes²⁸.

CONCLUSIONS

Physical exercise produces changes in LV diastolic diameters and volumes, in its ejection fraction, and in the thickness of the IVS and PW. The new variables proposed for measuring myocardial contractility (systolic Strain and Strain rate) demonstrated the efficiency of training in the heart of athletes. The diameter, volume and pressure of the LA increased proportionally to the intensity of exercise. This atrial pressure had a tendency to return to baseline values when the training load decreased.

REFERENCES

1. Hoffmann A, Isler R. Appréciation de l'aptitude à la pratique sportive sous l'angle cardiaque. *Forum Med Suisse*. 2007;7:889-94.
2. Serratosa Fernández L. Adaptaciones Cardiovasculares del Deportista. 2do Congreso Virtual de Cardiología 2001. [Internet]. [citado 2013 Oct 31]. Disponible en: <http://pcvc.fac.org.ar/scvc/llave/PDF/serratoe.PDF>
3. Kasikcioglu HA, Kasikcioglu E, Oflaz H, Unal S, Topcu B, Tartan Z, et al. Discrimination between physiologic and pathologic left ventricular dilatation. *Int J Cardiol*. 2006;109(2):288-90.
4. Maron BJ. Enfermedad cardiovascular en atletas. En: Zipes DP, Libby P, Bonow RO, Braunwald E, eds. *Tratado de Cardiología*. 7ma. ed. Madrid: Elsevier, 2006; p. 1985-91.
5. Teske AJ, De Boeck BW, Melman PG, Sieswerda GT, Doevendans PA, Cramer MJM. Echocardiography quantification of myocardial function using tissue deformation imaging, a guide to image acquisition and analysis using tissue Doppler and speckle tracking. *Cardiovasc Ultrasound* [Internet]. 2007 [citado 2013 Oct 31];5:27. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2000459/>
6. Peidro RM. El corazón del deportista. Hallazgos clínicos, electrocardiográficos y ecocardiográficos. *Rev Argent Cardiol*. 2003;71(2):126-37.
7. Maron BJ, Thompson PD, Ackerman MJ, Balady G, Berger S, Cohen D, et al. Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes: 2007 update. A scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism: Endorsed by the American College of Cardiology Foundation. *Circulation*. 2007;115(12):1643-55.
8. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA. 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(12):1440-63.
9. Pavlik G, Olexó Z, Osváth P, Sidó Z, Frenki R. Echocardiographic characteristics of male athletes of different age. *Br J Sports Med*. 2001;35(2):95-9.
10. Escudero EM, Tufare A, Lobrutto C, Pellegrini L, Asenjo A, Pinilla OA. Remodelamiento ventricular izquierdo en el atleta: influencia de diferentes actividades deportivas. *Rev Fed Arg Cardiol*. 2006;35(3):150-6.
11. Barbier J, Ville N, Kervio G, Walther G, Carré F. Sports-specific features of athlete's heart and their relation to echocardiographic parameters. *Herz*. 2006;31(6):531-43.
12. Laskowski R, Wysocki K, Multan A, Haga S. Changes

- in cardiac structure and function among elite judo-ists resulting from long-term judo practice. *J Sports Med Phys Fitness*. 2008;48(3):366-70.
13. Venckunas T, Mazutaitiene B. The role of echocardiography in the differential diagnosis between training induced myocardial hypertrophy versus cardiomyopathy. *J Sports Sci Med*. 2007;6(2):166-71.
 14. Calderón FJ, Díaz V, Peinado AB, Benito PJ, Maffulli N. Cardiac dimensions over 5 years in highly trained long-distance runners and sprinters. *Phys Sportsmed*. 2010;38(4):112-8.
 15. MacFarlane N, Northridge DB, Wright AR, Grant S, Dargie HJ. A comparative study of left ventricular structure and function in elite athletes. *Br J Sports Med*. 1991;25(1):45-8.
 16. George K, Shave R, Oxborough D, Cable T, Dawson E, Artis N, et al. Left ventricular wall segment motion after ultra-endurance exercise in humans assessed by myocardial speckle tracking. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10(2):238-43.
 17. Chan-Dewar F, Oxborough D, Shave R, Gregson W, Whyte G, George K. Left ventricular myocardial strain and strain rates in sub-endocardial and sub-epicardial layers before and after a marathon. *Eur J Appl Physiol*. 2010;109(6):1191-6.
 18. Papadakis M, Carre F, Kervio G, Rawlins J, Panoulas VF, Chandra N, et al. The prevalence, distribution, and clinical outcomes of electrocardiographic repolarization patterns in male athletes of African/Afro-Caribbean origin. *Eur Heart J*. 2011;32(18):2304-13.
 19. Hassan MY, Noakes TD, Berlyn P, Shave R, George K. Preload maintenance protects against a depression in left ventricular systolic, but not diastolic, function immediately after ultraendurance exercise. *Br J Sports Med*. 2006;40(6):536-40.
 20. Poh KK, Ton-Nu TT, Neilan TG, Tournoux FB, Picard MH, Wood MJ. Myocardial adaptation and efficiency in response to intensive physical training in elite speedskaters. *Int J Cardiol*. 2008;126(3):346-51.
 21. Zeppilli P, Corsetti R. Adattamenti cardiocircolatori nelle diverse discipline sportive. En: Zeppilli P, ed. *Cardiologia dello sport*. 2da. ed. Roma: CESI; 1996. p. 37-78.
 22. Maron BJ. Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 1986;7(1):190-203.
 23. Nottin S, Doucende G, Schuster-Beck I, Dauzat M, Obert P. Alteration in left ventricular normal and shear strains evaluated by 2D-strain echocardiography in the athlete's heart. *J Physiol*. 2008;586(Pt 19):4721-33.
 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(7):705-13.
 25. de la Rosa Hernández A, Boraita Pérez A, Heras Gómez MA, de la Torre Combarros AI, Radabán Ruiz M, Canda Moreno A, et al. Análisis de índice de remodelado ventricular izquierdo en deportistas de alto nivel. *Rev Esp Cardiol*. 2007;60(Supl 2):20. [Resumen].
 26. Claessens PJ, Claessens CW, Claessens MM, Claessens MC, Claessens JE. Supernormal left ventricular diastolic function in triathletes. *Tex Heart Inst J*. 2001;28(2):102-10.
 27. Simsek Z, Gundogdu F, Alpaydin S, Gerek Z, Ercis S, Sen I, et al. Analysis of athletes' heart by tissue Doppler and strain/strain rate imaging. *Int J Cardiovas Imaging*. 2011;27(1):105-11.
 28. D'Andrea A, Caso P, Vriza O, Citro R, Gravino R, Cocchia R, et al. Left atrial enlargement in 515 either endurance or strength competitive athletes. *Circulation*. 2009;120(18 Suppl):S383. [Resumen].