

## FISIOLOGÍA DEL CORAZÓN DE ATLETA: ESTUDIO ECOCARDIOGRÁFICO EN ATLETAS DE RESISTENCIA Y FUERZA NATIVOS DE LA ALTURA

### ATHLETE'S HEART PHYSIOLOGY: ECHOCARDIOGRAPHIC STUDY IN ATHLETES OF STAMINA AND STRENGTH NATIVES OF THE ALTITUDE

Ariel Velarde Z. <sup>1</sup>  
Giovani Inchauste C. <sup>2</sup>  
Gustavo Vásquez D. <sup>1</sup>  
Paola Velasquez S. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Medicina, Universidad Mayor de San Andrés  
<sup>2</sup> Médico Cardiólogo – Instituto Nacional de Tórax

#### Palabras clave:

Aletas, ecocardiografía, fisiología, altura, Doppler

#### Keywords:

Athletes, echocardiography, physiology, altitude, Doppler.

#### Correspondencia a:

Ariel Oliver Velarde  
Zegada

#### E-mail:

arielolive-  
rio@rocketmail.com

#### Recibido:

30 de Agosto de 2014

#### Aceptado:

8 de Octubre de 2014

scientific.umsa.bo

**Resumen:** En la fisiología del ejercicio a nivel del mar se describe una hipertrofia cardiaca concéntrica en atletas de fuerza (pesistas y corredores velocistas) y una hipertrofia cardiaca excéntrica en atletas de resistencia (nadadores y corredores fondistas). **Objetivo:** Determinar las diferencias estructurales (dilatación e hipertrofia) y funcionales (sistólica y diastólica) del "corazón del atleta" en atletas de resistencia y fuerza de la ciudad de La Paz, Bolivia. **Diseño:** Prospectivo Transversal Comparativo. **Lugar:** Instituto Nacional del Tórax. **Participantes:** 1 atleta profesional de triatlón, 1 atleta profesional de levantamiento de pesas y 1 no atleta. **Intervenciones:** Se realizaron entrevistas a 15 atletas entre 25 y 30 años de edad para determinar la muestra más representativa en el caso de atletas de fuerza (6 pesistas y 2 corredores velocistas) y resistencia (4 nadadores y 3 corredores fondistas) seleccionándose a los 2 atletas mencionados. Se realizaron 3 estudios ecocardiográficos, uno a cada sujeto de estudio y otro ecocardiograma de control (no atleta) en el mes de Agosto del 2013. **Resultados:** Los espesores parietales en el ventrículo izquierdo de los atletas son normales, la masa en el ventrículo izquierdo en los atletas de fuerza (151.3 g) y resistencia (171.2 g) son normales. La fracción de eyección 66% y 65% respectivamente en el atleta de resistencia y fuerza. El área de la aurícula derecha es mucho mayor en el atleta de resistencia (18.01 cm<sup>2</sup>) que en el atleta de fuerza (15.63 cm<sup>2</sup>) al igual que los diámetros del ventrículo derecho en el atleta de resistencia (D<sub>1</sub> = 2.85 cm D<sub>2</sub>=3.63 cm D<sub>3</sub>=7.81cm) a diferencia del atleta de fuerza (D<sub>1</sub> = 2.41cm D<sub>2</sub>=3.07cm D<sub>3</sub>=76.5cm). Se encontró la vena cava inferior del atleta en el límite de lo normal e inclusive ligeramente dilatada (2.05 cm). **Conclusiones:** No se encontraron valores en los espesores parietales ni en la masa del ventrículo izquierdo que sugiera una hipertrofia fisiológica del atleta en la altura. La aurícula y ventrículo derecho del atleta de resistencia (deportista de triatlón) se encontraron ligeramente dilatados por leve sobrecarga de presión al realizar ejercicios dinámicos. La vena cava inferior del atleta de fuerza (pesista) se encuentra en el límite de lo normal provocado por la maniobra de Valsalva practicada por los pesistas.

**Abstract:** Exercise physiology at sea level describes a concentric cardiac hypertrophy in stamina athletes (weightlifters and sprinters runners) and eccentric cardiac hypertrophy in endurance athletes (swimmers and cross-country runners). **Objective:** To determine the structural differences (dilatation and hypertrophy) and function (systolic and diastolic) of the "athlete's heart" in endurance athletes, stamina athletes in the city of La Paz, Bolivia. **Design:** Prospective Transversal Comparative. **Place:** National Institute of Thorax. **Participants:** professional triathlon athlete, professional lifting weights athlete. **Interventions:** interviews with 15 athletes between 25 and 30 years old were conducted to determine the most representative sample in the case of strength athletes (6 lifters and 2 sprinters runners) and stamina athletes (4 swimmers and 3 cross-country runners). Three echocardiographic studies, one on each subject of study and another echocardiographic study to a non athlete, in the month of August 2013 were performed. **Results:** The parietal thickness in the left ventricle of athletes are normal, the mass in the left ventricle in strength athletes (151.3 g) and stamina (171.2 g) are normal. The ejection fraction 66% and 65% respectively in the strength and stamina athlete. The area of the right atrium is much higher endurance athlete (18.01 cm<sup>2</sup>) than the strength athlete (15.63 cm<sup>2</sup>) as well as the diameters of the right ventricle in endurance athlete (D<sub>1</sub> = 2.85 cm D<sub>2</sub>=3.63 cm D<sub>3</sub>=7.81cm) unlike strength athlete (D<sub>1</sub> = 2.41cm D<sub>2</sub>=3.07cm D<sub>3</sub>=76.5cm). It was found in the strength athlete inferior vena cava in the limit of normal formed (2.05 cm). **Conclusions:** No values in wall thickness or left ventricular mass suggesting a physiologic hypertrophy of the athlete in height were found. The atrium and right ventricle of stamina athlete (triathlon athlete) found slightly dilated with mild pressure overload to perform dynamic exercises. The inferior vena cava strength athlete (weightlifter) is at the limit of normal caused by the Valsalva maneuver practiced by the weightlifters.

## INTRODUCCIÓN

Un corazón con una masa moderadamente incrementada y con una alta capacidad de trabajo inducida por la sobrecarga cardíaca repetida, la cual es inducida por el ejercicio regular, y que además no presenta ninguna anomalía, es denominado corazón de atleta. En atletas de resistencia, la “cardiomegalia” comúnmente se desarrolla debido, tanto a la dilatación de sus cavidades como a la hipertrofia (aumento del espesor de sus paredes), todo en términos relativos, en contraste con el corazón del pesista, que hipertrofia aumentando los espesores parietales concéntricamente. La dilatación de los atletas de resistencia (como los corredores de distancia, los nadadores y los jugadores de hockey sobre césped) consiste en un aumento del tamaño de la cavidad ventricular izquierda (cámara de bombeo) del corazón sin que aumente el espesor de la pared ventricular. Con un retorno venoso alto sostenido, como consecuencia del gran volumen minuto impuesto, el miocardio recibe una precarga importante. En atletas de fuerza (p. ej. Luchadores y lanzadores de bala) la hipertrofia cardíaca consiste en el fenómeno exactamente opuesto: aumenta el espesor de la pared ventricular mientras que la cavidad ventricular izquierda conserva el tamaño normal como resultado de la poscarga<sup>1</sup>.

La tendencia de los estudios sugiere que el entrenamiento con resistencias conduce a una adaptación que permite al gasto cardíaco estar elevado. El menor gasto cardíaco observado en levantadores de pesas olímpicas en comparación con los fisiculturistas puede atribuirse a una más pronunciada/forzada maniobra de Valsalva (acción de aguantar la respiración) que provocan los levantadores de pesas olímpicos, lo cual resulta en un aumento en la presión interna en las cavidades del tórax y abdomen durante el programa de ejercicios con pesas, puesto que se sabe que el volumen sistólico de eyección y el gasto cardíaco tiende a disminuir proporcionalmente conforme aumente estas presiones internas<sup>2</sup>.

Una vasta cantidad de estudios han mostrado que una significativa proporción de atletas de resistencia exceden el “límite superior normal” (5.5 cm) para el diámetro interno del ventrículo

izquierdo al final de la diástole. Quizás los resultados más impactantes fueron obtenidos por aquellos autores que detectaron que más de la mitad de los corredores de 100 km que cuentan un tamaño corporal pequeño tienen un diámetro del ventrículo izquierdo que excede los 6 cm.<sup>3</sup>

En el caso del ejercicio de fuerza los valores máximos reportados del grosor del ventrículo izquierdo para atletas varones (de elite) fueron de 1.6 cm en remeros y ciclistas, y de 1.9 cm en ciclistas de ruta. Atletas pertenecientes a deportes en los que se involucran grandes masas musculares (“más isométricos”) durante el entrenamiento y la competencia, estén sujetos al diagnóstico diferencial de Miocardiopatía Hipertrofica<sup>3</sup>, encontramos aquí la importancia de conocer los cambios adaptativos en la anatomía y fisiología del corazón, involucrando otros cambios provocados por el ambiente de la altura en el organismo del deportista.

Hacia las décadas de 1970 y 1980 la ecocardiografía como nueva tecnología diagnóstica permitió realizar de forma no invasiva múltiples apreciaciones de las dimensiones cardíacas de una gran cantidad de sujetos, y de esta forma se avanzó en la diferenciación entre los corazones normales de deportistas y los corazones enfermos por alguna afección que pudiera ocasionar agrandamiento de las estructuras cardiovasculares. La ecocardiografía nos permite observar el corazón con esta perspectiva, nos otorga la imaginaria realidad de tener el corazón en una balanza y evaluar su peso, además de sus estructuras y funciones, en nuestro caso, evaluar la hipertrofia como respuesta adaptativa y fisiológica al ejercicio realizado en el ambiente de la altura, la presión barométrica de 490 mmHg provoca cambios en el hematocrito,  $53.5\% \pm 2.10$  en habitantes de sexo masculino de 21 a 30 años de edad<sup>4</sup> por ejemplo, el aumento de las resistencias periféricas significaría un elemento más que favorece la hipertrofia fisiología en deportistas residentes de la ciudad de La Paz.

## MATERIALES Y MÉTODOS O PACIENTES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la ciudad de La Paz a dos deportistas, 1 atleta de resistencia (campeón

nacional del triatlón) y 1 atleta de fuerza (record en levantamiento de pesas La Paz). Se realizaron entrevistas a 15 atletas entre 25 y 30 años de edad en el caso de atletas de fuerza (6 pesistas y 2 corredores velocistas) y resistencia (4 nadadores y 3 corredores fondistas). Es un estudio prospectivo transversal comparativo. Los estudios ecocardiográficos se realizaron en el Instituto Nacional del Torax con un equipo ecocardiográfico Toshiba Sonolayer SSH 140. Se realizaron ecocardiogramas en 2D, modo M y Doppler a ambos atletas en reposo y un ecocardiograma de control a un no atleta de 30 años, los datos del sujeto de control concordaban con los valores normales fisiológicos.

### Criterios de inclusión

- Atletas de entre 25 – 30 años de edad.
- Atletas con más de 5 años de entrenamiento.
- Atletas en actividad.
- Atletas sin enfermedades cardiacas.

### Criterios de exclusión

- Atletas con enfermedades cardiacas.
- Atletas retirados fuera de actividad.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos respecto a la estructura son:

	Atleta Resistencia	Atleta Fuerza	No Atleta	Valores Normales*
<b>Diámetro aurícula izquierda</b>	3.9 cm	3.2 cm	3.8 cm	> 4.2 cm
<b>Diámetro VI (Diastólico)</b>	4.7 cm	4.7 cm	5.2 cm	3.7 – 5.7 cm
<b>Diámetro VI (Sistólico)</b>	3 cm	3 cm	3.3 cm	2.7 – 3.7 cm
<b>Espesor del Septum Interventricular</b>	0.83 cm	0.83 cm	0.81 cm	0.6 – 1.2 cm
<b>Espesor de la pared Posterior</b>	0.9 cm	0.77 cm	1 cm	0.6 – 1.1 cm
<b>Índice de masa del VI</b>	80.6 g/m <sup>2</sup>	75 g/m <sup>2</sup>	85.8 g/m <sup>2</sup>	≥ 134 g/m <sup>2</sup>

**Cuadro 1:** Comparaciones anatómicas entre los atletas de resistencia, fuerza y no atleta.

\* Datos de Piñeiro J, Bustamante M. Ecocardiografía: para la toma de decisiones clínicas. 1ra Edición. Médica Panamericana, 2005.

Los resultados obtenidos respecto a la función son:

	Atleta Resistencia	Atleta Fuerza	No Atleta	Valores normales
<b>Fracción de eyección</b>	66%	65%	67%	66.8 %* (media)
<b>Volumen telediastólico VI</b>	104.6 mL	101.3 mL	135 mL	110 – 120 mL†
<b>Volumen telesistólico VI</b>	35.4 mL	35.4 mL	44.4 mL	40 – 50 mL†
<b>Índice sistólico</b>	40.6 mL/m <sup>2</sup>	40.7 mL/m <sup>2</sup>	43.4 mL/m <sup>2</sup>	32 – 40 mL/m <sup>2</sup> *

**Cuadro 2:** Comparaciones funcionales entre los atletas de resistencia y fuerza.

\* Datos de Piñeiro J, Bustamante M. Ecocardiografía: para la toma de decisiones clínicas. 1ra Edición. Médica Panamericana, 2005.

† Datos de Guyton A, Hall J. Tratado de Fisiología Médica, 12da ed, Barcelona España, Elsevier: 2011.

Hasta ahora se han presentado los datos respecto a los estudios de la aurícula y ventrículo izquierdo, ahora se presentan los estudios de la aurícula y ventrículo derecho (Ver Cuadro 3):

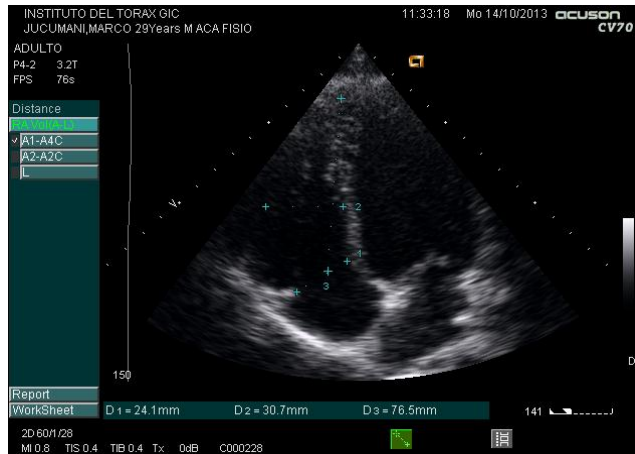
	Atleta Resistencia	Atleta Fuerza	No Atleta	Valores Normales†
<b>Área de la aurícula derecha</b>	18.01 cm <sup>2</sup>	15.63 cm <sup>2</sup>	17.77 cm <sup>2</sup>	≤ 20
<b>Diámetro Basal VD (D1)*</b>	2.8 cm	2.4 cm	2.4 cm	2.2 – 2.8 cm
<b>Diámetro Medio VD (D2)*</b>	3.6 cm	3 cm	3 cm	2.7 – 3.3 cm
<b>Base – Ápex (D3)*</b>	7.8 cm	7.5 cm	7.5 cm	7.1 – 7.9 cm

**Cuadro 3:** Comparaciones anatómicas del ventrículo derecho (VD) y aurícula derecha en los atletas de resistencia y fuerza.

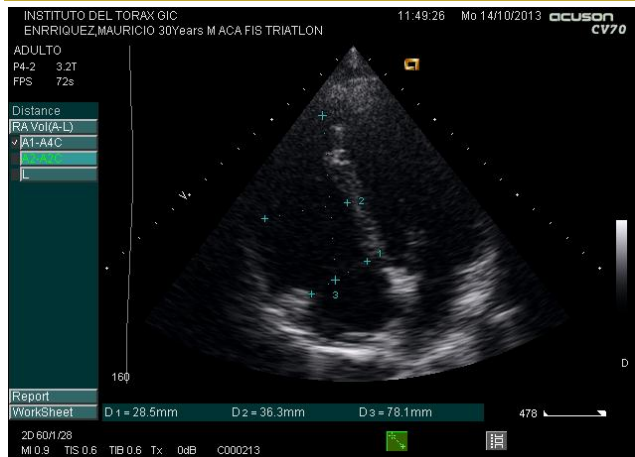
\*D1, diámetro basal del VD (en el anillo tricuspídeo); D2, diámetro medio del VD (en el segmento medio del VD); D3, base – ápex (desde el anillo tricuspídeo hasta el ápex del VD)  
†echopedia.org [Internet]. Netherlands: Cardionetworks [actualizado 17 Sep 2009]. Disponible en: [http://www.echopedia.org/wiki/Normal\\_Values](http://www.echopedia.org/wiki/Normal_Values).

Si buscamos definir las adaptaciones fisiológicas en la altura (hipertrofia y dilatación), nos referiremos también a las modificaciones en el ventrículo derecho: Se presentan los estudios ecocardiográficos del ventrículo derecho de los atletas (Diámetro basal, diámetro medio y base a ápex) (Ver figura 1 y 2):

**Figura 1: Diámetros del ventrículo derecho del atleta de fuerza.**

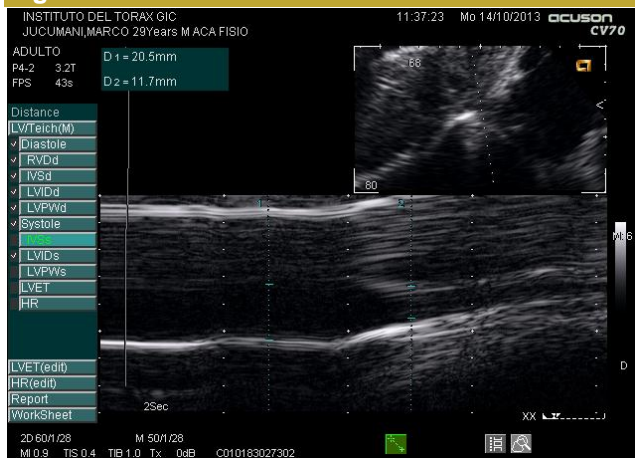


**Figura 2: Diámetros del ventrículo derecho del atleta de resistencia.**



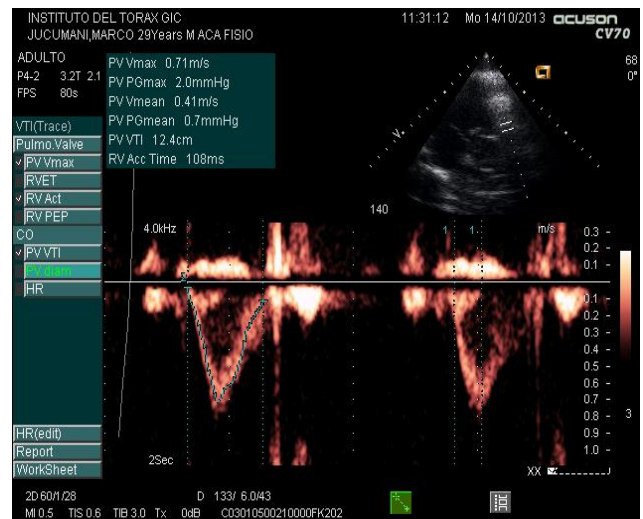
Obsérvese que mediante la valoración subjetiva del ventrículo derecho se observa una dilatación entre ligera y moderada al ventrículo izquierdo en el atleta de resistencia. Sin embargo también se encontró que la vena cava inferior del atleta de fuerza se encontraba en el límite de lo normal:

**Figura 3: Vena cava inferior del atleta de fuerza**



Diámetro de la Vena Cava Inferior: 2.05 cm

Se utilizó Ecocardiografía Doppler para evaluar el tiempo de aceleración pulmonar y determinar la existencia o no de Hipertensión pulmonar:



**Figura 4: Tiempo de aceleración pulmonar en atleta de fuerza.**

Tiempo de aceleración pulmonar (RV Acc Time): 108 ms, no hay Hipertensión pulmonar.



**Figura 5: Tiempo de aceleración pulmonar en atleta de resistencia.**

Tiempo de aceleración pulmonar (RV Acc Time): 152 ms, no hay Hipertensión pulmonar

## DISCUSIÓN

El corazón del atleta es aquel corazón con una masa moderadamente incrementada a la par de la dilatación de sus cavidades ventriculares en términos relativos, frente a las exigencias del atleta y del medio ambiente el deportista desarrolla una adaptación fisiológica, es decir, dentro de los valores normales de la fisiología cardiaca aunque fuera del rendimiento cotidiano del corazón del no deportista.

Los estudios en reposo deben reemplazarse por estudios ecocardiográficos 2D y Doppler en el atleta durante o posteriormente al ejercicio, buscar la eficacia del corazón deportista en estos estados es el nuevo horizonte de la fisiología del deporte.

Se determinó, en el caso de los sujetos estudiados, que los espesores de la pared ventricular izquierda y la masa del mismo pertenecen a los valores normales de un corazón sano, ninguno tiene hipertrofia como se esperaba. Las funciones sistólica y diastólica de ambos atletas, además de asemejarse, corresponden con valores normales fisiológicos. Se precisaron diferencias importantes en los diámetros del ventrículo derecho del atleta que practica triatlón (resistencia) en su relación con los valores normales, el  $D_1$  encontrándose en el límite superior de lo normal (2.2 – 2.8 cm)<sup>5</sup> el diámetro medio  $D_2$  excede el límite superior normal (2.7 – 3.3 cm)<sup>5</sup> con 3.6 cm. La dilatación del ventrículo derecho nos sirve para inferir una sobrecarga sistólica durante el ejercicio del triatleta y no así provocada por hipertensión pulmonar (figura 4 y 5) donde el tiempo de aceleración pulmonar está dentro de los rangos normales (137±24 ms)<sup>6</sup> descartando una posible hipertensión pulmonar, los atletas de la altura no poseen hipertensión pulmonar. En el caso del atleta que practica levantamiento de pesas, se observó que el diámetro de la vena cava inferior se encontraba en el límite superior de lo normal e inclusive ligeramente dilatada (1.4 – 2.0 cm)<sup>7</sup> (>1.7 cm)<sup>8</sup> con 2.05 cm. Al realizar la maniobra de Valsalva, los pesistas aumentan la presión intratorácica disminuyendo el retorno venoso, la fuerza sobre el retorno venoso, impulsada por la bomba muscular mueve la sangre venosa hasta encontrar la presión intratorácica antes de llegar a

la aurícula derecha, motivo por el cual se produce la dilatación relativa de la vena cava inferior. Además de estudiar modificaciones funcionales o estructurales en el corazón, será valioso cambiar nuestro rumbo al estudio de los vasos sanguíneos del nativo de la altura.

Para un mayor alcance de los resultados es necesaria la participación de muchos más deportistas de elite, en el caso de nuestro medio social es más dificultoso realizar un estudio que posea una muestra grande de atletas por el hecho de que no hay muchos dedicados al deporte hasta más de los 30 años de edad, quizá porque el deporte por sí mismo no es medio de vida sustentable en el país, son necesarias otras aptitudes que puedan capacitarlo para un trabajo y así un medio de vida, que de otra manera no hubiera conseguido consagrando su vida a la disciplina deportiva.

## CONCLUSIONES

No se han encontrado modificaciones estructurales que demuestren una hipertrofia fisiológica del atleta en el ventrículo izquierdo del nativo de la altura, en su lugar se ha observado una dilatación en el ventrículo derecho como adaptación fisiológica al ejercicio.

No se han encontrado datos que puedan sugerir hipertensión pulmonar provocada por la residencia en la altura.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos nuestros compañeros del laboratorio 711 por colaborar y formar parte de realizar investigación. A la Cátedra de Fisiología de la UMSA por imponernos el genial reto investigativo. Al Instituto Nacional del Tórax por poner en acuerdo común la oportunidad y el interés investigativo por estudiantes como nosotros. Gracias al Dr. Giovanni Inchauste, que realizó los ecocardiogramas con detallada paciencia y esmerado interés.

El conocimiento cambia nuestra concepción de la realidad, pero hay algo mucho más grande en el ser humano que lo impele en persecución de las verdades del universo y su lugar en el cosmos, todas las ciencias y las artes nos han regalado genios, grandes seres humanos que encerraron dentro de sí la grandeza de la que hablo y quiero dar un homenaje, "Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes" dijo uno de estos genios y he podido comprender su mensaje a través de otro genio, que tiene absolutamente todo el mérito en esta investigación, muestra de mi admiración. El mejor maestro es aquel que inspira a su discípulo, en el profundo significado de la inspiración, la grandeza homenajeada hoy es el espíritu de esos gigantes que nos llevan en sus hombros, este espíritu es el principio y final de una labor apasionada, en este caso, una investigación. Todos los días aprendo más de la grandeza de mi maestro y del espíritu sus enseñanzas que mucho antes de nosotros han llevado consigo grandes genios sobre los cuales hoy logramos ver más lejos. Gracias, por enseñarnos que detrás del conocimiento está el espíritu del que lo busca, eso es lo que importa. Gracias por la grandeza de su mensaje Dr. Jorge Fernández Dorado, gracias por inspirar el espíritu.

## REFERENCIAS

- <sup>1</sup> Bowers R, Fox E. Fisiología del deporte. 3ra edición. Panamericana, Buenos Aires; 1995. p.242.
- <sup>2</sup> Roberto M. Cardiología del deporte. El corazón del deportista: Hallazgos clínicos, electrocardiográficos y Ecocardiográficos. Revista argentina de cardiología. Vol 71 n° 2. Marzo-abril 2003.
- <sup>3</sup> Venckunas T, Mazutaitiene B. El Rol de la Ecocardiografía para el Diagnóstico Diferencial entre la Hipertrofia de Miocardio Inducida por el Entrenamiento y la Cardiomiopatía. PubliCE Standard. 2007
- <sup>4</sup> Ormachea P., Callisaya J., Salcedo L. Evaluación del hemocitómetro max 740 en la determinación de parámetros hematológicos. Biofarbo. 2011; 19(1): 64 - 67.
- <sup>5</sup> echopedia.org [Internet]. Netherlands: Cardionetworks [actualizado 17 Sep 2009; citado 29 ago 2014]. Disponible en: [http://www.echopedia.org/wiki/Normal\\_Values](http://www.echopedia.org/wiki/Normal_Values).
- <sup>6</sup> Otto C. Ecocardiografía Clínica. 2da Edición. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2005. p. 891.
- <sup>7</sup> ecocardio.com [Internet]. España: Asociación Española de Imagen Cardíaca [actualizado 2014; citado 29 ago 2014]. Disponible en: [http://www.ecocardio.com/valores\\_referencia/ecocardiografia\\_bidimensional.asp](http://www.ecocardio.com/valores_referencia/ecocardiografia_bidimensional.asp).
- <sup>8</sup> 123sonography.com. Vienna. 123sonography GmbH. [actualizado mayo 2014; citado 28 sep 2014]. Disponible en: <http://123sonography.com/node/873>

