

EFFECTOS DEL PESO CORPORAL EN LAS VARIABLES ECOCARDIOGRÁFICAS DE LEVANTADORES DE PESAS CUBANOS DE ÉLITE

EFFECTS OF BODY WEIGHT ON ECHOCARDIOGRAPHIC VARIABLES IN ELITE CUBAN WEIGHTLIFTERS

Recibido el 22 de noviembre de 2023 / Aceptado el 4 de abril de 2024 / DOI:10.24310/riccafd.13.1.2024.17815
Correspondencia: Dr. Raydel Pérez-Castillo, raydelp77@hotmail.com

Yar-Bolaños, Paúl Jhonatan^{1AF}; Silva-Fernández, Josefa^{2AF}; González-González, Horacio Aquiles^{3BC}; Hidrobo-Coello, Juan Fernando^{4BC}; Oyagata-Túquerrez, Danny Bryan^{5BC}; Yar-Bolaños, Hector Lizandro^{6BC}; Pérez-Castillo, Raydel^{7CD}

Centro Especializado en Medicina del Deporte "Asdrúbal de la Torre, Ecuador, paul.yar@mail.cmdat.gob.ec, <https://orcid.org/0000-0003-4014-057X>

Instituto de Medicina Deportiva, La Habana, Cuba, evaristaf80@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8543-6249>

Centro Especializado en Medicina del Deporte "Asdrúbal de la Torre, Ecuador, aquiles.gonzalez@mail.cmdat.gob.ec, <https://orcid.org/0000-0001-6917-3514>

Centro Especializado en Medicina del Deporte "Asdrúbal de la Torre, Ecuador, juan.hidrobo@mail.cmdat.gob.ec, <https://orcid.org/0000-0001-6990-3118>

Centro Especializado en Medicina del Deporte "Asdrúbal de la Torre, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-5479-2746>

Clínica de los Riñones Menydia Tulcan, Ecuador, hectoryarbol@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5474-6659>

Centro de Investigación del Deporte Cubano, La Habana, Cuba, raydelp77@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9454-5375>

Responsabilidades

^ADiseño de la investigación, ^BRecolector de datos, ^CRedactor del trabajo, ^DTratamiento estadístico, ^EApoyo económico; ^FIdea original y coordinador de toda la investigación.

RESUMEN

Se examinó el efecto del peso corporal en las variables ecocardiográficas de levantadores de pesas de élite cubanos. Mostraron variaciones significativas en el diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo, el espesor de la pared del ventrículo izquierdo en diástole y el espesor de la pared septal en diástole, entre otros, en relación con su peso. La masa del ventrículo izquierdo, el volumen sistólico y el gasto cardíaco también se vieron afectados por el peso, aunque estas diferencias se atenuaron al ajustarlas a la superficie corporal. La mayoría de los levantadores



mantuvieron un índice h/r en el rango funcional anaeróbico, y la geometría ventricular fue principalmente de remodelación concéntrica o normal. Estos hallazgos subrayan la importancia del peso corporal en las mediciones ecocardiográficas, con implicaciones clínicas y en la evaluación del control médico. La adaptación cardiovascular pareció ser saludable y adecuada para las demandas del entrenamiento de levantamiento de pesas.

■ PALABRAS CLAVE

ventrículos cardíacos, superficie corporal, ecocardiografía, atletas, peso corporal, estado de salud.

■ ABSTRACT

The effect of body weight on the echocardiographic variables of elite Cuban weightlifters was examined. They displayed significant variations in left ventricular end-diastolic diameter, left ventricular posterior wall thickness in diastole, and septal wall thickness in diastole, among others, in relation to their body weight. Left ventricular mass, stroke volume, and cardiac output were also influenced by body weight, although these differences were mitigated when adjusted for body surface area. Most weightlifters maintained an h/r index within the functional anaerobic range, and left ventricular geometry was primarily concentric remodeling or normal. These findings emphasize the significance of body weight in echocardiographic measurements, with clinical implications and implications for medical monitoring. Cardiovascular adaptation appeared to be healthy and suitable for the demands of weightlifting training.

■ KEY WORDS

heart ventricles, body surface area, echocardiography, athletes, body weight, health status.

■ INTRODUCCIÓN

El Levantamiento de Pesas o Levantamiento de Pesas es un deporte olímpico que consiste en elevar la mayor cantidad de peso, hasta lograr la extensión total de los brazos sobre la cabeza. Requiere de un alto rendimiento físico, perfección técnica y desarrollo de diversas capacidades físicas; al que se considera como el deporte de fuerza por excelencia ^{(1),(2),(3)}. La *International Weightlifting Federation* (IWF) desde el punto de vista técnico, reconoce dos ejercicios a nivel competitivo:



arranque y envión ⁽⁴⁾. En la primera modalidad se levantan las pesas sin interrupción, y en la segunda se permite una pausa del movimiento, cuando la barra se encuentra a la altura de los hombros ⁽⁵⁾.

Al momento del levantamiento, el sujeto logra desarrollar presiones arteriales, aunque muy breve, según MacDougall et al⁽⁶⁾ hasta de 480/350 mmHg ⁽⁷⁾. El ejercicio sistemático de moderada a elevada intensidad provoca adaptaciones del corazón en respuesta a la demanda sistémica y pulmonar⁽⁸⁾.

La evaluación cardiovascular del deportista incluye una adecuada historia clínica personal y familiar, examen físico exhaustivo además de estudio electrocardiográfico de 12 derivaciones. Investigadores basados en grandes muestras de deportistas de alto nivel han demostrado la utilidad de las evaluaciones ecocardiográficas, como un método reproducible, sensible y discriminante, para estimar cambios cardiovasculares estructurales y funcionales como respuesta al entrenamiento ^{(9),(10),(11)}.

Los reportes acumulados sobre ecocardiografía están más dirigidos a la evaluación de deportes con alto compromiso aerobio, pues los pesistas rara vez son considerados como un grupo independiente en sí mismos en dichos estudios. El principal desafío radica en distinguir entre la remodelación normal y anormal. La morfología y fisiología de un corazón pueden variar considerablemente entre los deportistas al estar influenciada por las características de cargas de su entrenamiento ⁽⁹⁾. Esto hace que sea necesario determinar si los cambios observados en el corazón son adaptativos o indicativos de una patología subyacente. Se ha descrito que los pesistas muestran mayores cambios en el grosor parietal respecto del diámetro del ventrículo izquierdo (VI), aunque los valores absolutos rara vez exceden los límites normales ⁽⁹⁾. El objetivo de este trabajo es identificar las diferencias entre las características ecocardiográficas de los deportistas de Levantamiento de Pesas de la selección nacional masculina cubana según categoría de peso.

■ MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio transversal, descriptivo, con la selección nacional cubana de Levantamiento de Pesas masculino. El estudio ecocardiográfico se realizó en la etapa de preparación especial (junio de 2019), del macrociclo preparatorio para los Juegos Panamericanos Lima 2019.

Fueron elegibles los deportistas de la selección nacional, involucrados en la preparación para los Juegos Panamericanos Lima 2019; que asistieron a todos los entrenamientos en las diferentes etapas de la preparación y que resultaron negativos al interrogatorio de síntoma y reconocimiento cardiovascular. La población y muestra estuvo constituido por todos los



deportistas que conforman la selección nacional de Levantamiento de Pesas masculino (n=25).

Se revisaron los registros médicos de los deportistas previa autorización y consentimiento informado; se anotaron los resultados de la evaluación cardiovascular, por lo que se utilizó la hoja de recogida de datos de la Institución para el ecocardiograma.

El ecocardiógrafo utilizado fue de la marca ALOKA Alpha 10 de procedencia japonesa. Los estudios fueron realizados en el departamento de Imagenología del Instituto de Medicina del Deporte. Los casos debían estar en reposo, después de un descanso nocturno de 8 horas o más. El examen fue realizado por el cardiólogo de la misma institución capacitado y con experiencia en la realización de ecocardiografía a deportistas de alto rendimiento.

Se trabajó en el modo bidimensional (tiempo real) y en el modo M, con vistas ecocardiográficas en el eje largo (ventanas acústicas) apexiana, supraesternal, subxifoidea y paraesternal izquierda. Se observó la imagen completa de la silueta cardíaca para tener una impresión general de cada una de las variables, las que fueron medidas y calculadas en tres ocasiones, y si no coincidía, se les calculó el promedio. Los resultados fueron comparados con los valores normales.

Se evaluó la edad cronológica (años) y la edad deportiva (años). Se midió la talla y el peso (precisión de 0,1 cm y 0,1 kg respectivamente) para el cálculo de la superficie corporal (m²) se empleó la fórmula de DuBois ⁽¹²⁾ $[0,007184 * Talla (cm)^{0,725} * Peso (kg)^{0,425}]$.

Las variables ecográficas comprendieron: Diámetro diastólico del ventrículo izquierdo (DVI_d), Diámetro sistólico del ventrículo izquierdo (DVI_s), Septum interventricular en diástole (SIV_d), Pared posterior del ventrículo izquierdo en diástole (PPVI_d), Pared posterior del ventrículo izquierdo en diástole (PPVI_s), Diámetro diastólico del ventrículo derecho (VD), Diámetro diastólico de la aurícula izquierda (AI), raíz de la aorta (Ao) y Frecuencia cardíaca en reposo (FCr). A partir de las anteriores variables se determinó:

– Masa del Ventrículo Izquierdo (Masa VI): Se calculó utilizando la fórmula de Devereux y Reichek⁽¹³⁾ donde: $MVI = 0,8 \times [1,04 \times (DVI_d + SIV_d + PPVI_d)^3 - DVI_d^3] + 0,6$

– Índice de Masa del Ventrículo Izquierdo (IMVI) = Masa del VI / SC (g/m²)

– Volumen latido: Se calculó utilizando la fórmula VVI_d - VVI_s.

– Índice de volumen latido (ISV): SV / SC (ml/m²).

– Fracción de Acortamiento (FA%) = (DTSVI / DTDVI) x 100



- Fracción de Eyección (FE%) = $(VVId - VVIS) / VVId \times 100$
- Gasto cardiaco: Se determinó por la fórmula de Gayton⁽¹⁴⁾ = $VL \times FCr$
- Índice Gasto Cardiaco (IGC) = GC / SC (ml/m²).
- Volumen telesistólico del VI (VVIs) = $[7,0 / (2,4 + LVESD)] \times LVESD^3$
- Volumen telediastólico del VI (VVId) = $[7,0 / (2,4 + LVEDD)] \times LVEDD^3$
- Los valores del DVId, SIV y PPVId para el cálculo de los volúmenes se convirtió a centímetro. El remodelado ventricular se midió a través de:
 - Índice de grosor parietal relativo (h/r). Se computó a través de la fórmula: $(SIVd + PPVId / DVId)$.
 - Geometría Ventricular: Para la evaluación global del remodelado se utilizaron los criterios para hombres ⁽¹⁵⁾:
 - Geometría normal: $h/r \leq 0,42$ cm y $IMVI = < 116$
 - Remodelación concéntrica: $h/r > 0,42$ y $IMVI = < 116$
 - Hipertrofia concéntrica: $h/r > 0,42$ y $IMVI = \geq 116$
 - Hipertrofia excéntrica: $h/r \leq 0,42$ cm y $IMVI = \geq 116$

Las variables cuantitativas se expresaron por las respectivas medias y desviación estándar. Para evaluar las diferencias entre los grupos en las variables analizadas, se empleó la Prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba no paramétrica permitió identificar si al menos un grupo de peso difiere de los otros en términos de las mediciones absolutas. Tras detectar diferencias estadísticamente significativas, se realizó un análisis post hoc utilizando el método de ajuste de p-valores de Holm para determinar qué grupos específicos presentaban diferencias significativas, al permitir un enfoque de control de errores tipo I.

Para el cálculo del tamaño del efecto se determinó el coeficiente epsilon al cuadrado (ϵ^2_R) como una alternativa tras una prueba de Kruskal-Wallis⁽¹⁶⁾. Los tamaños del efecto se informaron mediante el ϵ^2 (efecto pequeño: $\epsilon^2 = 0,01$, efecto medio: $\epsilon^2 = 0,06$; efecto grande: $\epsilon^2 = 0,14$). Se definió como estadísticamente significativo un nivel de significación bilateral de $p < 0,05$. Los análisis de datos se realizaron en el programa Jasp (versión 0.18.1).

Para la realización del estudio se contó con la aprobación del Comité de Ética de la Investigación del Instituto de Medicina del Deporte. Primó el cumplimiento de los requisitos éticos, validez científica, que se detallan en la actualización de la Declaración de Helsinki. Los datos obtenidos se recogieron en la planilla de recolección sin variación ninguna y con la total confidencialidad sobre la identidad de los deportistas



y la información obtenida. Los resultados que se obtuvieron fueron motivo de la confección y presentación del trabajo de terminación de la especialidad del autor principal.

■ RESULTADOS

Se evaluaron 25 pesistas, todos habían participado en un alto nivel de entrenamiento durante 2 a 17 ($8,5 \pm 4,1$) años. Las principales características demográficas y dimensiones corporales fueron: edad cronológica de $19,9 \pm 3,1$ años; peso corporal de $81,9 \pm 17,7$ kg, talla de $1,66 \pm 0,08$ m y superficie corporal $1,90 \pm 0,24$ m² ($p=0,000$) (Gráfico 1). En general, estas estadísticas descriptivas proporcionan una comprensión inicial de la distribución y variabilidad para los análisis ecográficos posteriores. Ver el Gráfico 2.

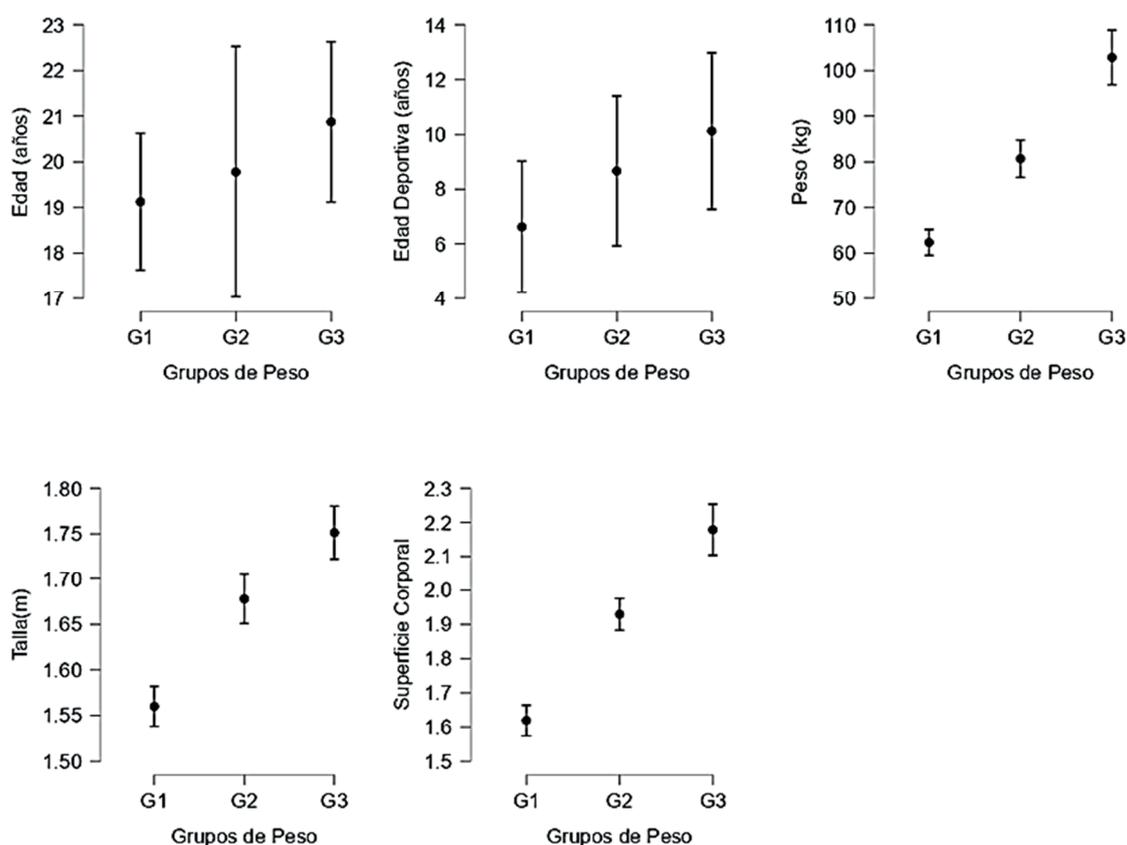


Gráfico 1. Valores descriptivos por grupo de peso.

Con el propósito de facilitar la comparación entre individuos con diferentes tamaños corporales, algunas estimaciones de las cámaras cardíacas se reportaron indexadas a la superficie corporal. Esta metodología sigue las recomendaciones de la Sociedad Americana de



Ecocardiografía y de la Asociación Europea de Imagen Cardiovascular (15).

Los valores de DVId variaron significativamente entre los grupos de peso ($H = 13,299$, $p = 0,001$). El Grupo 1 (50-69 kg) tuvo el valor promedio más bajo (42,375 mm), el Grupo 2 (70-89 kg) un valor intermedio (46,222 mm), y el Grupo 3 (90-110 kg) mostró el valor más alto (49,875 mm). El peso tuvo una influencia grande en los valores absolutos del DVId ($\epsilon^2=0,554$). En la PPVId (Pared Posterior del Ventrículo Izquierdo en Diástole) se observaron diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 6,311$, $p = 0,043$), y efecto grande ($\epsilon^2 =0,263$) de este último. El Grupo 1 (50-69 kg) tuvo el valor promedio más bajo (9,875 mm), el Grupo 2 (70-89 kg) un valor intermedio (10,556 mm), y el Grupo 3 (90-110 kg) reveló un valor similar al Grupo 2 (10,625 mm). Por su parte, el SIVd (Espesor de la Pared Septal en Diástole) reveló también diferencias significativas entre los grupos ($H = 8,742$, $p = 0,013$) con una influencia grande ($\epsilon^2=0,364$) del peso corporal. El Grupo 1 (50-69 kg) tuvo el valor absoluto promedio más bajo (10,125 mm), el Grupo 2 (70-89 kg) un valor intermedio (10,667 mm), y el Grupo 3 (90-110 kg) muestra el valor más alto (11,125 mm). Ver el Gráfico 2.

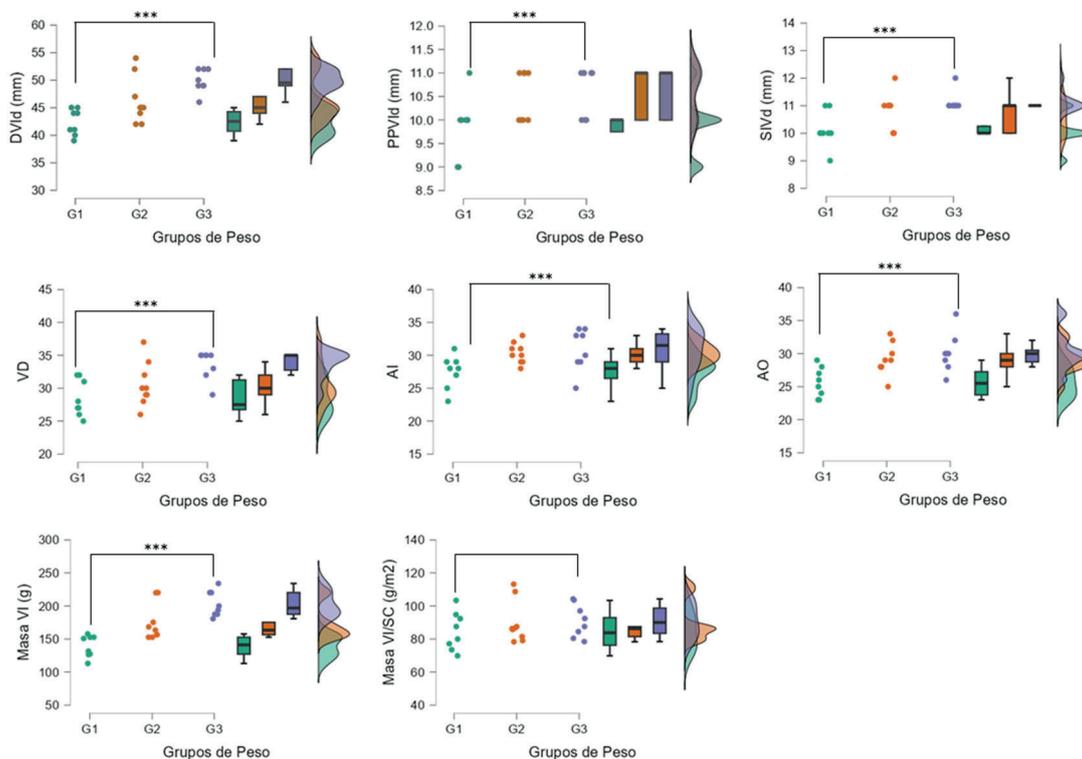


Gráfico 2. La significación se midió con Kruskal-Wallis con una prueba post-hoc de Dunn. Diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo (DVId); Pared posterior del VI (PPVId); Espesor de la pared septal en diástole (SIVd); Ventrículo derecho (VD); Aurícula izquierda (AI); Aorta (AO); Masa del ventrículo izquierdo (Masa VI); Masa del ventrículo izquierdo indexado (Masa VI/SC). Probabilidad significativa *** $p \leq 0,05$.



El Ventrículo Derecho (VD) mostró diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 9,563$; $p = 0,008$) con un tamaño menor en el Grupo 1 (50-69 kg) de 28,50 mm, un tamaño intermedio en el Grupo 2 (70-89 kg) con 30,56 mm, y un tamaño mayor en el Grupo 3 (90-110 kg) con 33,625 mm. El valor de ϵ^2 (0,398) indica que el peso tuvo un efecto grande en diámetro absoluto del VD. La Aurícula Izquierda (AI) también varió de manera significativa acorde al peso corporal, con medidas más bajas en el Grupo 1 (27,500 mm), y medidas ligeramente superiores en los Grupos 2 y 3 ($H = 7,337$; $p = 0,026$; $\epsilon^2=0,306$). Respecto a la Aorta (AO), se observaron valores más bajos en el Grupo 1 (25,625 mm), medidas intermedias en el Grupo 2 con 29,111 mm, y valores ligeramente más altos en el Grupo 3 con 30,125 mm; que marcan diferencias significativas entre los grupos, y un gran efecto del peso sobre estos valores ($H = 9,985$; $p = 0,007$; $\epsilon^2=0,416$).

En La Masa del Ventrículo Izquierdo (Masa VI) existieron diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 16,521$, $p = 0,001$). El Grupo 1 tuvo la menor masa (139,00 g), el Grupo 2 tuvo un valor intermedio (173,93 g), y el Grupo 3 mostró la masa más alta (202,95 g). El ϵ^2 es grande (0,688), al denotar una fuerte influencia del peso en la Masa VI. Al ajustar la masa del VI por Superficie Corporal, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($H = 1,417$; $p = 0,492$). Este ajuste por superficie corporal eliminó el efecto ($\epsilon^2=0,059$) del tamaño corporal en las mediciones de la masa del VI. Ver el Gráfico 2.

El índice h/r, mostró la relación entre las adaptaciones morfológicas a través de la remodelación ventricular como fenómeno adaptativo fisiológico, ante los cambios metabólicos impuestos por el ejercicio. En los pesistas se observó valores con dirección funcional predominantemente anaerobia ($h/r= 0,43-0,47$) con una tendencia al incremento según aumenta los pesos corporales (Gráfico 4). Al aplicar la prueba de K. Walis no se observó diferencias significativas $H(2) = 0,887$; $p=0,642$. En los pesos ligeros fueron de $0,45\pm 0,03$ en los pesos mediano de $0,45\pm 0,04$ y en los pesos pesados fue de $0,46\pm 0,04$. Por su parte, la mayoría de los pesistas mostraron una geometría ventricular izquierda con remodelación concéntrica ($n=19$; 76%) o normal ($n=6$; 24%); sin diferencias significativas según los grupos de peso ($X^2=1,014$; $p=0,602$). Ver Gráfico 3.

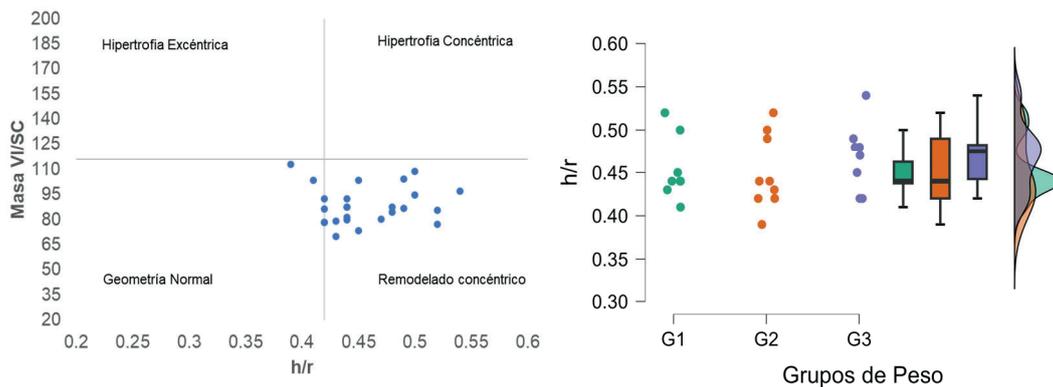


Gráfico 3. Remodelado ventricular. Probabilidad significativa * $p \leq 0,05$.**

Se produjo una disminución no significativa ($H = 0,216$; $p=0,898$; $\epsilon^2=0,009$) de los valores de la frecuencia cardiaca en reposo según los grupos de peso, con un promedio de 63 ± 8 lpm.

La primera variable ecocardiográfica que se analiza como expresión de adaptación funcional del corazón al entrenamiento deportivo es el VVId. Los valores medios obtenidos para esta variable no excedieron en ninguna categoría (VVId= 83,84 mL), a los aceptados según la Sociedad Americana de Ecocardiografía para adultos jóvenes no deportistas; en la presente serie no hubo deportistas que sobrepasaran los 170 mL. El VVId absoluto presentó diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 14,525$; $p = 0,001$). El Grupo 1 (50-69 kg) mostró el menor VVId (78,341 ml), el Grupo 2 (70-89 kg) tuvo un valor intermedio (102,889 ml), y el Grupo 3 (90-110 kg) presentó el valor absoluto más alto (126,819 ml). El ϵ^2 (0,605) fue alto como indicador de una influencia importante del peso en el VVId absoluto. Por su parte, en el VVId ajustado por Superficie Corporal, no presentó diferencias significativas ($H = 3,501$; $p=0,174$; $\epsilon^2=0,009$).

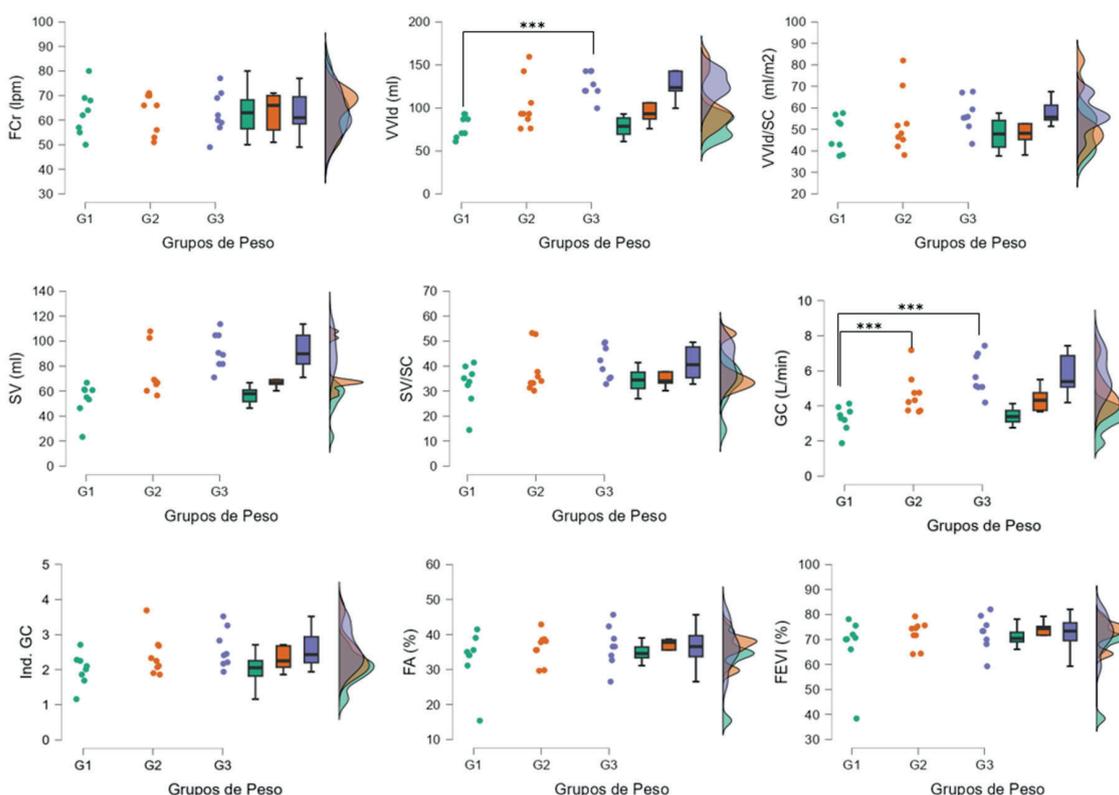


Gráfico 4. La significación se midió con Kruskal-Wallis con una prueba post-hoc de Dunn. Frecuencia cardiaca en reposo FCr; Volumen Latido (SV); Índice de volumen latido (ISV); Fracción de Acortamiento (FA%); Fracción de Eyección (FE%); Gasto cardiaco (GC); Índice Gasto Cardiaco (IGC)= GC/SC; Volumen telediastólico del VI (VVld); Volumen telediastólico del ventrículo izquierdo indexado (VVld/SC). Probabilidad significativa *** $p \leq 0,05$.

El Volumen Latido presentó diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 15,049$, $p = 0,001$). El Grupo 1 (50-69 kg) exhibe el menor SV (53,484 ml), el Grupo 2 (70-89 kg) un valor intermedio (73,693 ml), y el Grupo 3 (90-110 kg) el SV más alto (92,134 ml). La influencia relevante del peso en el SV absoluto fue grande ($\epsilon^2 = 0,627$). Por su parte, las mediciones ajustadas a la superficie corporal del SV si tuvo diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 15,049$; $p < 0,001$; $\epsilon^2 = 0,627$). Ver Gráfico 4.

Con respecto al Gasto Cardíaco (GC) se encontraron diferencias significativas entre los grupos de peso ($H = 15,365$; $p = 0,001$). El Grupo 1 (50-69 kg) tuvo el GC más bajo (3,29 L), el Grupo 2 (70-89 kg) mostró un valor intermedio (4,65 L), y el Grupo 3 (90-110 kg) tiene el GC más alto (5,79 L). El ϵ^2 es alto (0,640), lo que sugiere una influencia sustancial del peso en los valores absolutos del GC. Con respecto al



GC indexado a la Superficie Corporal, al igual que con las mediciones ajustadas anteriores, no se observan diferencias significativas entre los grupos de peso. La Fracción de Acortamiento ($H = 0,872$; $p < 0,647$; $\epsilon^2 = 0,036$) y Fracción de Eyección ($H = 0,999$; $p < 0,607$; $\epsilon^2 = 0,042$) no registraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de peso. Ver Gráfico 4.

En resumen, estos resultados indican el efecto importante del peso corporal en las mediciones absolutas del VVId, Masa VI, SV y GC, mientras que las mediciones ajustadas por superficie corporal no muestran diferencias significativas. Las variables relacionadas con la función cardíaca, como la FA% y la FE%, no se ven afectadas significativamente por el peso. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para comprender las relaciones entre la masa corporal con la estructura y función del corazón en la población de pesistas de elite estudiados.

■ DISCUSIÓN

En grandes poblaciones de deportistas de diferentes disciplinas se ha observado que los espesores de la pared ventricular se incrementan no más allá de 16 mm, mientras que los valores promedio están en el orden de los 11,5 mm. Las mayores dimensiones diastólicas ventriculares izquierdas descritas alcanzan los 70 mm en deportistas de elevada resistencia aerobia. Los incrementos en el espesor de las paredes ventriculares se acompañan de dilataciones de la cavidad. Este criterio es importante en el diagnóstico diferencial entre hipertrofia fisiológica y patológica.

En el corazón de atleta, la función diastólica del ventrículo izquierdo (VI) es a menudo supranormal, comparada con individuos no entrenados. Los pesistas estudiados por Pulido et al ⁽¹⁷⁾ con relación al DVId y la PPVId tuvieron una media de $46,5 \pm 3$ mm y $10 \pm 1,7$ mm, respectivamente. La cuantificación del SVId y de la PPVId, al superar los 12 mm se consideran como tributaria de hipertrofias miocárdicas, justificables al síndrome de corazón de atleta. Silva et al ⁽¹⁸⁾ analizaron los indicadores ecocardiográficos de un grupo de luchadores cubanos de primer nivel, donde SVId fue de $12,7 \pm 2,0$ mm y el PPVId de $13,3 \pm 1,8$ mm y DVId de $52,5 \pm 4,5$ mm. En este último estudio se aprecia indicadores morfológicos con cifras superiores, a causa de mayor trabajo de resistencia aeróbica.

La remodelación del VI en deportistas se asocia con una relajación miocárdica normal o aumentada, como una expresión del aumento del retroceso elástico, diferente al que ocurre en los pacientes con miocardiopatía hipertrófica, en los cuales la disfunción diastólica puede ser la primera expresión de la enfermedad y puede preceder al desarrollo de la hipertrofia del VI ^{(19),(20)}.



En concordancia con la teoría original propuesta por Morganroth⁽²¹⁾ es posible discernir dos modelos primarios de entrenamiento que inducen divergentes patrones de remodelación cardíaca. El primer modelo (entrenamiento de resistencia aerobia), propio de disciplinas deportivas como las carreras de fondo, ciclismo, triatlón, etc; en los que se involucran participación muscular dinámica-isotónica, caracterizada por movimientos rítmicos y sostenidos en el tiempo. En esta modalidad, el sistema cardiovascular experimenta una gradual disminución de la resistencia arterial sistémica, acompañada de un incremento en el retorno venoso al corazón. Esta adaptación fisiológica resulta en una sobrecarga de volumen predominante en el ventrículo izquierdo, lo que se traduce en un aumento del volumen telediastólico. En respuesta a esta sobrecarga de volumen, el corazón responde con una hipertrofia excéntrica, en la cual las células miocárdicas incrementan su tamaño en mayor proporción para acomodar el mayor volumen de sangre durante la diástole ⁽²⁰⁾.

El segundo modelo (entrenamiento de fuerza), contrasta con el anterior al estar vinculado a deportes que involucran movimientos de alta intensidad y corta duración, como el Levantamiento de Pesas, las disciplinas de lanzamiento, etc. Estos ejercicios se caracterizan por la participación muscular estática o dinámica-isométrica, y generalmente no demandan resistencia prolongada ⁽²²⁾. En este caso, el sistema cardiovascular puede enfrentar un incremento momentáneo en la resistencia arterial sistémica debido a la tensión muscular y la elevación temporal de la presión arterial durante los ejercicios de alta carga. Como respuesta adaptativa a esta sobrecarga de presión, el VI se enfrenta a una hipertrofia concéntrica, donde el aumento en el tamaño de las células cardíacas está más asociado con el fortalecimiento de la fuerza de contracción requerida para vencer la resistencia arterial elevada ⁽²⁰⁾. En estudios Caselli et al ^{(23),(24)} informaron que los deportistas con una presión arterial inicial y de ejercicio más alta mostraron con mayor frecuencia un patrón concéntrico de hipertrofia del VI, tal como ocurre en el Levantamiento de Pesas.

Si bien la formulación inicial de la hipótesis de Morganroth ⁽²¹⁾ ha sido objeto de críticas debido a una comprensión actual más matizada de la remodelación cardíaca ⁽²⁵⁾. Se ha evidenciado que esta remodelación no solo está influenciada por el tipo de entrenamiento, sino que también está modulada por una serie de factores adicionales que merecen una consideración profunda en la evaluación de la adaptación cardiovascular.

En primer lugar, está el origen étnico, la edad biológica, el sexo, la predisposición genética y el tamaño corporal ⁽²⁶⁾. Estos factores intrínsecos al individuo interactúan de manera compleja y pueden



desempeñar un papel sustancial en la manera en que el corazón responde al entrenamiento. Por lo tanto, atribuir exclusivamente los patrones de remodelación cardíaca a la tipología de entrenamiento puede simplificar en exceso este proceso.

Otro factor extrínseco a considerar, es que la mayoría de las disciplinas deportivas en realidad involucran una combinación en el desarrollo de las diferentes capacidades físicas de la resistencia y/o fuerza, en lugar de adherirse estrictamente a un único modelo, aun en los deportes extremos (Maratón vs Levantamiento de Pesas). En la comprensión además de este análisis es importante la valoración de la etapa preparatoria, a causa de las modificaciones cardiovasculares como indicadores del control médico de la carga física.

Por lo tanto, para una comprensión más completa y precisa de la remodelación cardíaca en respuesta al entrenamiento, es crucial incorporar estos aspectos adicionales y reconocer la interacción entre diversos factores. Abordar la adaptación cardiovascular desde una perspectiva más holística, que permita una interpretación más precisa de cómo el corazón se adapta a las múltiples facetas de las demandas fisiológicas impuestas por los deportes y los programas de entrenamiento. Es importante señalar que, en el caso de la presencia de hipertrofia ventricular izquierda en deportistas de ascendencia negra o afrodescendiente, como se evidencia en la muestra bajo estudio, resulta crucial considerar las diferencias étnicas en relación con el remodelado ventricular fisiológico ⁽²⁷⁾. Este proceso de remodelado es más pronunciado en esta población en comparación con los individuos de ascendencia caucásica. Es notable que los deportistas de ascendencia negra experimentan una mayor magnitud de hipertrofia en el ventrículo izquierdo en contraste con sus contrapartes de ascendencia caucásica, por lo que los datos de referencia muchas veces proceden de este último grupo étnico ⁽²⁶⁾.

La masa absoluta e indexada del VI en un estudio realizado por Fleck⁽²⁸⁾, entre levantadores de pesas y un grupo control, mostró una diferencia significativa ($p \leq 0,05$). Los pesistas presentaron una masa del VI mayor en comparación con los controles ($208,1 \pm 10,0$ g frente a $179,7 \pm 8,4$ g), según mediciones realizadas mediante resonancia magnética. Aun cuando la detección del engrosamiento del septum y la pared posterior del VI, a través de resonancia magnética es más sensible que el ecocardiograma ⁽⁶⁾.

En los últimos años, se ha documentado las adaptaciones estructurales y funcionales del corazón derecho, destacando la compleja interacción con el corazón izquierdo. También hay evidencia evolutiva de daño cardíaco agudo y crónico, que afecta principalmente al corazón derecho



y que puede predisponer a arritmias auriculares y ventriculares, configurando una cardiomiopatía inducida por el ejercicio.

Se realizó un metaanálisis que englobó 59 investigaciones con la participación de 1451 deportistas, al revelar notables disparidades en las adaptaciones cardiomorfológicas en respuesta a entrenamientos estáticos, dinámicos y mixtos. Estas diferencias se manifestaron en términos del diámetro de la cavidad y el espesor septal. Sin embargo, es importante destacar que, en promedio, estas dimensiones no excedieron los valores considerados como normales para la población en general. Adicionalmente, este estudio arrojó otro descubrimiento significativo: la función ventricular izquierda, tanto en su fase sistólica como diastólica, se mantuvo dentro de los parámetros de normalidad⁽⁹⁾.

La interpretación del índice h/r, se convierte en un indicador también del trabajo metabólico que ha desarrollado el deportista, como expresión de adaptaciones morfológicas del corazón a las cargas que se han aplicado durante el entrenamiento deportivo, en dependencia de la dirección funcional que se perseguía en la etapa evaluada. Los valores aceptados como ideales o balanceados, expresan las adaptaciones cardiacas que se han producido, son producto de un trabajo metabólicamente equilibrado, aerobio-anaerobio ($0,36 \pm 0,04$). Considerándose puramente aerobios cuando los valores son menores de 0,32 ó anaerobios cuando los valores son mayores de 0,40. El remodelado ventricular asociado a la práctica de ejercicio físico que se encontró en los diferentes deportistas según Pulido et al⁽¹⁷⁾ fue muy similar a publicaciones realizadas previamente por Naylor et al⁽²⁹⁾. La relación del espesor del septum/diámetro de fin de sístole del ventrículo izquierdo superior a 0,48 mm hace recaer las sospechas en una hipertrofia patológica⁽⁷⁾.

En el caso de los pesistas, aun cuando no se observan valores tan bajos de frecuencia cardiaca, las cifras grupales y por categorías de peso están en el rango normal bajo. Pulido et al⁽¹⁷⁾ observó que los maratonistas presentaron las FC en reposo más bajas con respecto a los pesistas y sedentarios sanos ($p < 0,01$) respectivamente.

La inducción de la hipertrofia y la fibrosis de las paredes cardíacas, puede alterar las propiedades electrofisiológicas, con potencial incrementos de vulnerabilidades para las arritmias malignas^{(30),(31)}. De lo anterior deriva la importancia en el análisis de los indicadores cardiológicos en el control médico al entrenamiento deportivo en pesistas⁽³²⁾.

En concordancia con Caselli et al⁽³³⁾ el aumento de la presión arterial en reposo y durante el ejercicio, junto con un mayor peso corporal y porcentaje de masa no grasa se asocian con un mayor grado



de hipertrofia de VI.

Los hallazgos del presente estudio indican que los deportistas de Levantamiento de Pesas presentan patrones de hipertrofia ventricular izquierda, lo que concuerda con la naturaleza del entrenamiento de fuerza que involucra esta disciplina. La diferencia en los índices de espesor del septo y diámetro ventricular en sístole en relación con las distintas categorías de peso podría relacionarse con las demandas específicas que enfrentan los levantadores de pesas en cada una de ellas.

En resumen, el análisis de los resultados y su contraste con la teoría revisada permite alegar que estas adaptaciones reflejan la capacidad del corazón para acomodar las demandas hemodinámicas aumentadas, promoviendo en última instancia una función cardíaca eficiente. Los hallazgos sugieren que el peso corporal influye en las mediciones ecocardiográficas en levantadores de pesas de élite. Sin embargo, las adaptaciones cardiovasculares parecen mantenerse dentro de rangos fisiológicos saludables. Estos resultados tienen además implicaciones importantes para la comprensión de las relaciones entre el peso corporal, la estructura y función cardíaca en atletas de alto rendimiento. La investigación continua en este campo contribuirá a nuestra comprensión de los cambios cardíacos inducidos por el ejercicio y ayudará a desarrollar estrategias de entrenamiento personalizadas para los deportistas de levantamiento de pesas.

■ CONCLUSIONES

Este estudio resalta el efecto del peso corporal en las variables ecocardiográficas absolutas de levantadores de pesas de élite, en la evaluación clínica y funcional al entrenamiento deportivo. La adaptación cardiovascular parece ser adecuada a las demandas del entrenamiento de levantamiento de pesas. Estos hallazgos podrían servir como base para futuras investigaciones y recomendaciones médicas en el campo del deporte de alto rendimiento.

■ LIMITACIONES Y CAMINOS FUTUROS

El hecho de que se trate de una población reducida y que el corte sea transversal constituye una limitación a esta investigación. En los resultados se propone la importancia de informar medidas de tamaño de efecto en conjunción con las pruebas de hipótesis nulas, en el escenario de las ciencias aplicadas al deporte. Estas medidas proporcionan información adicional sobre la magnitud y relevancia práctica de los resultados, más allá de simplemente determinar si una diferencia es estadísticamente



significativa.

En base a la información proporcionada, parece que el coeficiente epsilon cuadrado (ϵ^2) se puede utilizar como una medida de efecto en el contexto deportivo, donde muchas veces se trabaja con pequeñas muestras. Dado que esta medida no es tan comúnmente utilizada como otras, es importante considerar su interpretación y aplicabilidad en otros estudios.

■ REFERENCIAS

1. Martínez Martínez R, Núñez Aliaga F, Martínez Bárzaga A. Metodología para el entrenamiento de la fuerza muscular en atletas de levantamiento de pesas con discapacidad (original). *Olimp Publ Científica Fac Cult Física Univ Granma* [Internet]. 2016 [citado el 15 de abril de 2024];13(40):77-85. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6210765.pdf>
2. Núñez Othón G, Paz Fernández JA. Trayectoria de la barra en el arranque de levantadoras de pesas mexicanas y su relación con la categoría y rendimiento. *Rev Obs Deporte* [Internet]. 2018;4(4):17-42. Disponible en: <https://revistaobservatoriodeldeporte.cl/index.php/odep/article/view/209>
3. Kecmanovic V, Ulareanu M, Timnea O. Spatial-Temporal Aspects of the Influence of the Ability to Concentrate on the Execution of the Snatch Style in Performance Weightlifting. *Procedia - Soc Behav Sci* [Internet]. 2014;117:210-5. doi:10.1016/j.sbspro.2014.02.203
4. Nogales OIG. Frecuencia del salto en el levantamiento de arranque de las categorías 67 y +109 kg. *Rev Obs Deporte* [Internet]. 2023 [citado el 26 de agosto de 2023];9(2):24-37. doi:10.58210/odep301
5. Daza Bohórquez LV, Díaz Cáceres RA, Mulford Campo JA, Ocampo Poveda CJ, Gutiérrez Gómez C. Comparación de programas de entrenamiento del levantamiento de pesas. *Doc Trab Areandina* [Internet]. 2021 [citado el 7 de agosto de 2023];(1). doi:10.33132/26654644.1896
6. Wang XY, Guo G, Deng XN, Feng JL. Left ventricular function and remodeling assessed by echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging in Chinese weightlifter athletes. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi* [Internet]. 2021 [citado el 23 de agosto de 2023];49(9):900-4. doi:10.3760/cma.j.cn112148-20210601-00469
7. Peidro RM. El corazón del deportista. Hallazgos clínicos, electrocardiográficos y ecocardiográficos. *Rev Argent Cardiol* [Internet]. 2003;71:126-37. Disponible en: <http://www.old2.sac.org.ar/wp-content/uploads/2014/07/758.pdf>
8. Picco JM, Wolff S, Gonzalez Dávila E WD. Fatiga cardíaca en corredores de ultra trail, observada por parámetros de nuevas técnicas ecocar-



diográficas. Rev Argent Cardiol [Internet]. 2019 [citado el 12 de diciembre de 2020];87(6):456-61. doi:10.7775/rac.es.v87.i6.16435

9. 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 [Internet]. 2000 [citado el 7 de agosto de 2023];101(3):336-44. doi:10.1161/01.CIR.101.3.336

10. Fernández-Chamizo EM a. El reconocimiento médico en medicina deportiva. Cardiocore [Internet]. 2017 [citado el 12 de noviembre de 2020];52(2):47-50. doi:https://doi.org/10.1016/j.carcor.2017.03.004

11. Corrado D, Pelliccia A, Bjørnstad HH, Vanhees L, Biffi A, Borjesson M, et al. Cardiovascular pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: proposal for a common European protocol. Consensus Statement of the Study Group of Sport Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and the Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology. Eur Heart J. 2005;26(5):516-24. doi:10.1093/eurheartj/ehi108

12. Du Bois D. Clinical calorimetry: tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch Intern Med [Internet]. 1916 [citado el 15 de agosto de 2023];XVII(6_2):863. doi:10.1001/archinte.1916.00080130010002

13. Devereux RB, Reichek N. Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. Anatomic validation of the method. Circulation [Internet]. 1977 [citado el 15 de agosto de 2023];55(4):613-8. doi:10.1161/01.CIR.55.4.613

14. Soto RL, Varela ML. El test de tolerancia al ejercicio en neumología. Salud Mil [Internet]. 2000 [citado el 15 de agosto de 2023];22(1). doi:10.35954/SM2000.22.1.5

15. Lang RM, Badano L, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recomendaciones para la cuantificación de las cavidades cardíacas por ecocardiografía en adultos: actualización de la Sociedad Americana de Ecocardiografía y de la Asociación Europea de Imagen Cardiovascular. J Am Soc Echocardiogr [Internet]. 2015;28(1):1-39. doi:10.1016/j.echo.2014.10.003

16. López-Martín E, Ardura D. El tamaño del efecto en la publicación científica. Educ XX1 [Internet]. 2023 [citado el 30 de agosto de 2023];26(1):9-17. doi:10.5944/educxx1.36276

17. Pulido T, Donís JH, Dávila DF, Hernández C, Odreman R. Evaluación de la frecuencia cardíaca y su relación con el remodelado ventricular en respuesta al ejercicio dinámico como indicador de función autonómica en atletas, pesistas y maratonistas. Av En Biomed [Internet]. 2016 [citado el 15 de abril de 2024];5(2):57-65. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3313/331347417002/>



18. Silva-Fernández J, Almenares-Pujadas ME, Pérez-Castillo R. Asociación entre variables ecocardiográficas y antropométricas de interés para el control biomédico en luchadores de primer nivel. *Rev Med Sinerg [Internet]*. 2020 [citado el 11 de noviembre de 2020];5(8):e561. doi:10.31434/rms.v5i8.461
19. Radmilovic J, D'Andrea A, D'Amato A, Tagliamonte E, Sperlongano S, Riegler L, et al. Echocardiography in Athletes in Primary Prevention of Sudden Death. *J Cardiovasc Echography*. 2019;29(4):139-48. doi:10.4103/jcecho.jcecho_26_19
20. D'Andrea A, Bossone E, Radmilovic J, Caso P, Calabrò R, Russo MG, et al. The role of new echocardiographic techniques in athlete's heart. *F1000Research*. 2015;4:289. doi:10.12688/f1000research.6745.1
21. Morganroth J. Comparative Left Ventricular Dimensions in Trained Athletes. *Ann Intern Med [Internet]*. 1975 [citado el 24 de agosto de 2023];82(4):521. doi:10.7326/0003-4819-82-4-521
22. D'Andrea A, Carbone A, Radmilovic J, Russo V, Fabiani D, Maio MD, et al. Myocardial Work Efficiency in Physiologic Left Ventricular Hypertrophy of Power Athletes. *J Cardiovasc Echography*. 2022;32(3):154-9. doi:10.4103/jcecho.jcecho_11_22
23. Caselli S, Vaquer Sequì A, Lemme E, Quattrini F, Milan A, D'Ascenzi F, et al. Prevalence and Management of Systemic Hypertension in Athletes. *Am J Cardiol*. 2017;119(10):1616-22. doi:10.1016/j.amjcard.2017.02.011
24. Caselli S, Vaquer Segui A, Quattrini F, Di Gacinto B, Milan A, Assorgi R, et al. Upper normal values of blood pressure response to exercise in Olympic athletes. *Am Heart J [Internet]*. 2016 [citado el 10 de agosto de 2023];177:120-8. doi:10.1016/j.ahj.2016.04.020
25. Utomi V, Oxborough D, Whyte GP, Somauroo J, Sharma S, Shave R, et al. Systematic review and meta-analysis of training mode, imaging modality and body size influences on the morphology and function of the male athlete's heart. *Heart [Internet]*. 2013 [citado el 8 de agosto de 2023];99(23):1727-33. doi:10.1136/heartjnl-2012-303465
26. Basavarajaiah S, Boraita A, Whyte G, Wilson M, Carby L, Shah A, et al. Ethnic Differences in Left Ventricular Remodeling in Highly-Trained Athletes. *J Am Coll Cardiol [Internet]*. 2008 [citado el 10 de agosto de 2023];51(23):2256-62. doi:10.1016/j.jacc.2007.12.061
27. Iglesias DE. Evaluación cardiovascular para realizar actividad física y deportes. *Rev Hosp Ital B Aires [Internet]*. 2013;33(4):2013. Disponible en: https://instituto.hospitalitaliano.org.ar/multimedia/archivos/noticias_attachs/47/documentos/16198_131-136-HI-4-8Revision-Iglesias.pdf
28. Fleck SJ, Pattany PM, Stone MH, Kraemer WJ, Thrush J, Wong K. Magnetic resonance imaging determination of left ventricular mass: junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc [Internet]*. 1993 [citado el 23 de agosto de 2023];25(4):522. Disponible en: <https://journals.lww.com/>



acsm-msse/abstract/1993/04000/magnetic_resonance_imaging_determination_of_left.16.aspx

29. Naylor LH, George K, O'Driscoll G, Green DJ. The Athlete's Heart: A Contemporary Appraisal of the 'Morganroth Hypothesis'. *Sports Med* [Internet]. 2008 [citado el 10 de agosto de 2023];38(1):69-90. doi:10.2165/00007256-200838010-00006

30. Mert KU, İlgüy S, Mert GÖ, Dural M, Iskenderov K. Noninvasive predictors of cardiac arrhythmias in bodybuilders. *Rev Port Cardiol*. 2018;37(8):693-701. doi:10.1016/j.repc.2018.01.010

31. Ducardonnet A, Verdier J-C. Corazón y deporte. *EMC - Tratado Med* [Internet]. 2013 [citado el 8 de agosto de 2023];17(3):1-9. doi:10.1016/S1636-5410(13)64525-0

32. Brown B, Somauroo J, Green DJ, Wilson M, Drezner J, George K, et al. The Complex Phenotype of the Athlete's Heart: Implications for Preparticipation Screening. *Exerc Sport Sci Rev* [Internet]. 2017 [citado el 8 de agosto de 2023];45(2):96-104. doi:10.1249/JES.0000000000000102

33. Caselli S, Cicconetti M, Niederseer D, Schmied C, Attenhofer Jost C, Pelliccia A. Left ventricular hypertrophy in athletes, a case-control analysis of interindividual variability. *Int J Cardiol* [Internet]. 2022 [citado el 10 de agosto de 2023];348:157-62. doi:10.1016/j.ijcard.2021.12.009