

RESPUESTA ADAPTATIVA CARDIOVASCULAR AL ENTRENAMIENTO EN DEPORTISTAS DE ÉLITE. COMPARACIÓN ENTRE DEPORTISTAS DE RESISTENCIA Y NO RESISTENCIA

ENRIQUE O. PRADA¹, LUIS A. MORITA^{1,2}, ALDO F. LONGO¹, TOMÁS F. CIANCIULLI^{2,3},
JORGE A. LAX², ENRIQUE D. BALARDINI¹

¹Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo – CeNARD, ²División Cardiología, Ecocardiografía, Hospital General de Agudos Dr. Cosme Argerich, ³Ministerio de Salud del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Dirección postal: Tomás F. Cianciulli, División Cardiología, Hospital General de Agudos Dr. Cosme Argerich, Pi y Margall 750, 1155 Buenos Aires, Argentina

E-mail: tcianciulli@gmail.com

Recibido: 2-V-2023

Aceptado: 13-XI-2023

Resumen

Introducción: Las diferentes modificaciones estructurales que han sido descritas en el corazón del deportista de alto rendimiento dependen de factores como la edad, el género, el tipo de deporte, la intensidad y el tiempo dedicados al entrenamiento.

Objetivos: Evaluación de atletas de élite por medio de la ecocardiografía para la descripción de la estructura y la función cardíacas, y la comparación entre deportistas de resistencia cardiorrespiratoria y el resto de los deportistas.

Métodos: Realizamos el examen ecocardiográfico en 224 deportistas de élite, 96 mujeres y 128 varones con edades de 15 a 38 años (21.7±5.3 años) y se dividieron en 2 grupos: "Grupo de Resistencia" (resistencia cardiorrespiratoria) y "Grupo de no Resistencia" el cual incluyó al resto de los deportes. Se realizó la comparación univariada de 14 variables ecocardiográficas entre los dos grupos.

Resultados: En los hombres se identificaron valores estadísticamente significativos más altos en el grupo de resistencia para septum interventricular, pared posterior, grosor parietal relativo, índice de masa del ventrículo izquierdo y aurícula izquierda. En las mujeres, el grupo de resistencia tuvo valores de frecuencia cardíaca más bajos con diámetro diastólico e índice de masa del ventrículo izquierdo, significativamente mayores.

Conclusiones: La mayoría de las variables ecocardiográficas mostró valores mayores en los atletas de resistencia. En los hombres del Grupo de Resistencia, predominó la hipertrofia excéntrica con mayor incremento en el grosor parietal y del diámetro de la aurícula izquierda, mientras que en las mujeres las variables indicaron hipertrofia excéntrica a expensas de un aumento del diámetro del ventrículo izquierdo, sin incremento del grosor parietal.

Palabras clave: deportistas de élite, deportistas de resistencia, ecocardiografía, hipertrofia ventricular izquierda, deformación miocárdica.

Abstract

Cardiovascular adaptive response to training in elite athletes. Comparison between endurance and non-endurance athletes

Introduction: The different structural modifications that have been described in the heart of the high-performance athlete depend on factors such as age, gender, type of sport, and the intensity and time dedicated to training.

Objectives: Evaluation of elite athletes through echocardiography for the description of cardiac structure and function, and the comparison between athletes with cardiorespiratory endurance and the rest of the athletes.

Methods: We performed the echocardiographic examination in 224 elite athletes, 96 women and 128 men aged 15 to 38 years (21.7 ± 5.3 years) and they were divided into 2 groups: "Endurance Group" (cardiorespiratory endurance) and "Non-Endurance Group" which included the rest of the sports. Univariate comparison between the two groups was performed by measuring 14 echocardiographic variables.

Results: In men, statistically significant higher values were identified in the endurance group for interventricular septum, left ventricular posterior wall, relative wall thickness (RWT), left ventricular mass index and left atrial dimension. In women, the endurance group had significantly lower heart rate values, and significantly higher left ventricular diastolic dimension with normal RWT.

Conclusions: Most of the echocardiographic variables showed higher sample means in the endurance athletes. In the subgroup of men from the Endurance Group, eccentric hypertrophy prevailed with a greater increase in wall thickness, as well as in the diameter of the left atrium, while in women the variables indicated eccentric hypertrophy at the expense of an increase in left ventricle diameter, without increased wall thickness.

Key words: elite athletes, endurance athletes, echocardiography, left ventricular hypertrophic, myocardial strain

Las mujeres del Grupo de Resistencia mostraron valores significativamente mayores del diámetro ventricular compatible con hipertrofia excéntrica, mientras que los hombres presentaron hipertrofia excéntrica a expensas de un mayor grosor de la pared.

La práctica intensiva de deportes genera cambios clínicos, electrocardiográficos, morfológicos y metabólicos que dan lugar al corazón del deportista.

La primera referencia a lo que actualmente denominamos "corazón de atleta" data de finales del siglo XIX, cuando Henschen describe un aumento del área cardíaca por percusión torácica en esquiadores suecos. Él consideraba dos teorías posibles. O era la consecuencia de una adaptación fisiológica eficaz y sana o, en cambio, se trataba de un posible cuadro limítrofe o de enfermedad¹. Posteriormente, con la introducción de la radiografía y del electrocardiograma en la práctica cardiológica, numerosos estudios demostraron que los atletas presentaban cambios sugestivos de hipertrofia ventricular izquierda.

Durante años, y hasta el presente, se ha mantenido la incertidumbre acerca de si estos hallazgos, producto de las adaptaciones fisiológicas al ejercicio, conllevan o no una mayor probabilidad de desarrollar eventos asociados a cardiopatías en el largo plazo². Este interrogante ha motivado a muchos investigadores a evaluar más profundamente los diferentes aspectos relacionados con el remodelamiento cardíaco, la función sistólica y la función diastólica, entre otros. Los laboratorios de fisiología cardiovascular de París, Viena, Berlín e Italia en el siglo XIX y XX, y más específicamente las Escuelas de Mosso en Turín, Margaria y Cerretelli en Milán, y Cerquiglioni y Luciani en Roma^{3,4}, se destacaron por el estudio de las adaptaciones cardiovasculares al ejercicio.

La ecocardiografía es una herramienta no invasiva ampliamente usada en cardiología deportiva, para diferenciar adaptaciones fisiológicas inducidas por el ejercicio de aquellas causas patológicas como la miocardiopatía hipertrófica, la miocardiopatía dilatada, la displasia arritmogénica del ventrículo derecho, etc. Los primeros estudios ecocardiográficos en esta área se publicaron en ocasión de los Juegos de Munich en

PUNTOS CLAVE

Conocimiento actual

- La práctica intensiva de deportes genera cambios clínicos, electrocardiográficos, morfológicos y metabólicos que dan lugar al "corazón de atleta".

Contribución del artículo al conocimiento actual

- El CeNARD es un espacio institucional idóneo y ventajoso para la evaluación ecocardiográfica de una amplia población de atletas argentinos de alto rendimiento.
- Se hallaron diferencias significativas en algunas variables ecocardiográficas en cuanto al género y al tipo de deporte.

1972. Desde entonces ha sido uno de los métodos más utilizados, dada su excelente relación costo/beneficio, para evaluar estos aspectos⁵.

Morganroth y col.⁶ fueron los primeros en destacar que existe una forma de adaptación en actividades de potencia (hipertrofia concéntrica) a diferencia de la dilatación que se observaba en el deportista entrenado para deportes de resistencia (hipertrofia excéntrica). En 56 atletas estudiados observó un aumento del volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo (VI) y de la masa del VI en atletas involucrados en ejercicio isotónico, conservando un grosor parietal normal. Los atletas que realizaban un ejercicio isométrico tenían un volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo normal con incremento del grosor parietal y la masa del VI.

Existen diversas clasificaciones de deportes. Entre ellas una de las más difundidas es la que los divide de acuerdo al tipo de ejercicio; dinámico (isotónico) o estático (isométrico) y de acuerdo a su intensidad en baja moderada o alta⁷.

La mayor parte de los deportes se caracteriza por una combinación de ambos tipos de ejercicio, pero un grupo de ellos se destaca por un acentuado predominio del metabolismo aeróbico al que denominamos de resistencia cardiorrespiratoria. En la terminología anglosajona se los conoce como *endurance sports*. Ejemplos de estos últimos son las disciplinas olímpicas de carreras de fondo, maratón, remo, ciclismo, triatlón, entre otros. Estos deportistas deben entrenar para sostener un metabolismo predominantemente aeróbico por un extenso período, objetivo imposible de lograr sin el desarrollo de cambios adaptativos a nivel muscular y cardiorrespiratorio. El resto de las disciplinas comprenden una lista muy heterogénea de deportes, pero en éstos el principal objetivo a alcanzar durante el entrenamiento no es el aumento de la resistencia cardiorrespiratoria, sino la optimización de la fuerza, de la velocidad y de la respuesta muscular, como es el caso del fútbol, el tenis, la halterofilia o el judo. Estos deportistas alcanzan grandes performances, pero por períodos más cortos, durante los cuales adquieren una gran deuda de oxígeno que se salda total o parcialmente a lo largo de la práctica.

A pesar de cierta falta de uniformidad en la literatura publicada con respecto a la manera de

agrupar a los diferentes deportes, los trabajos más representativos coinciden con los resultados que demuestran que en los atletas de resistencia cardiorrespiratoria se observan cambios en la estructura y la función cardíaca, con mayor frecuencia y magnitud que en el resto de los deportistas⁸⁻¹⁵.

Recientemente publicada por Pelliccia y Caselli¹⁶ está la clasificación simplificada de las disciplinas deportivas olímpicas más comunes, acorde con los relativos componentes isométrico o isotónico y sus adaptaciones cardiovasculares¹⁷. En nuestra investigación decidimos clasificarlas en deportistas de resistencia y deportistas de no resistencia que incluye al resto de los deportistas, en función del objetivo de la investigación presentada.

El deporte de alto rendimiento en la República Argentina encuentra en el CeNARD (Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo), un espacio donde los atletas que compiten en los planos nacional e internacional pueden ser evaluados desde la medicina y la fisiología en todos los aspectos vinculados con el rendimiento físico y psicológico. Esta característica nos ha permitido acceder a una población muy seleccionada de atletas argentinos para obtener datos que hasta la fecha no habían sido estudiados en relación con los objetivos del presente trabajo.

El objetivo de este estudio fue la evaluación de atletas de élite de ambos géneros de la República Argentina por medio de la ecocardiografía para la descripción de la estructura y la función cardíaca, y la comparación entre deportistas de resistencia cardiorrespiratoria y el resto de los deportistas.

Materiales y métodos

Desde julio de 2012 hasta noviembre de 2016 fueron incluidos atletas de ambos sexos con un entrenamiento físico mayor de 3 horas diarias por un tiempo no menor de 3 años, que acreditaran representación nacional en competencias del ámbito nacional y/o internacional y dieran consentimiento para una evaluación ecocardiográfica estandarizada. De un total de 300 sujetos se excluyeron a aquellos con cardiopatía orgánica y/o funcional diagnosticada por clínica, por ECG o por ecocardiografía. En 15 sujetos se hallaron las siguientes afecciones: hipertensión arterial (n = 5), miocardiopatía no compactada (n = 1), comunicación interventricular (n = 1), insuficiencia mitral

moderada (n = 1), enfermedad de Chagas (n = 1), Wolff Parkinson White (n=1), válvula aórtica bicúspide (n = 1), comunicación interauricular (n = 1), pericarditis (n = 1), prolapso de válvula mitral (n = 1) y Ductus (n = 1) (Fig. 1)

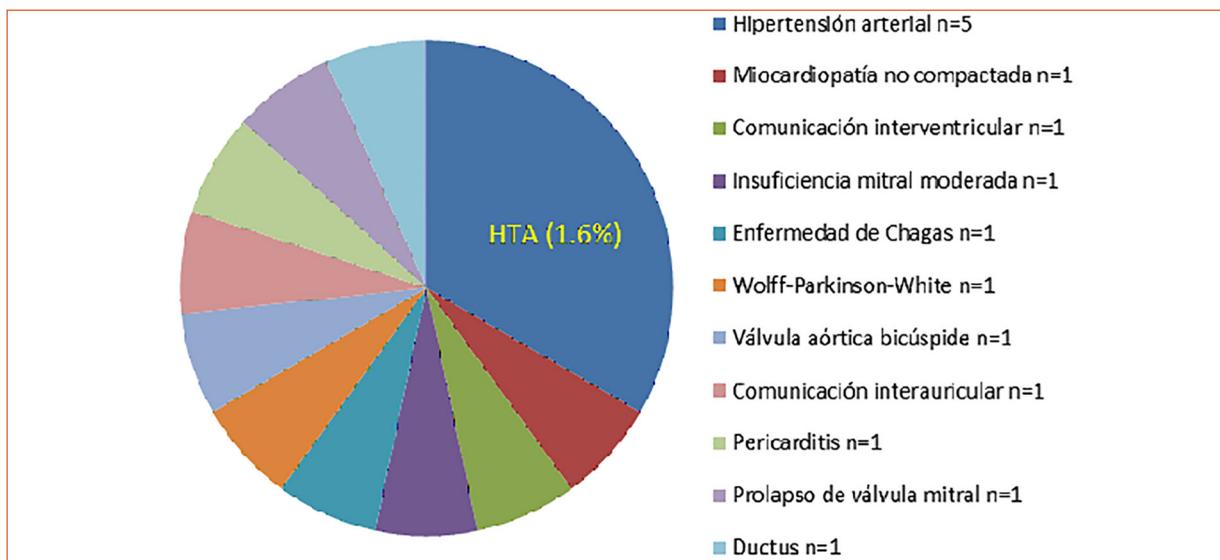
No se incluyeron los atletas paralímpicos como tampoco los sujetos menores de 15 años.

La muestra final considerada se compuso de 224, de los cuales 96 fueron mujeres y 128 varones con edades de 15 a 38 años (22 ± 5.3 años).

Inicialmente se estimó el índice de masa y la superficie corporal mediante las fórmulas de Quetelet y Du Bois,

respectivamente. Las características antropométricas por género y grupo etario se muestran en la Tabla 1. Fueron analizadas la frecuencia cardíaca (FC) y 14 variables ecocardiográficas, de acuerdo con las recomendaciones de la *American Society of Echocardiography*: diámetro diastólico ventrículo izquierdo, índice diámetro diastólico ventrículo izquierdo (IDDVI), grosor septum interventricular (SIV), grosor pared posterior ventrículo izquierdo (PPVI), grosor parietal relativo (GPR), índice masa ventrículo izquierdo (IMVI) por medio de la fórmula en modo M de Devereux, diámetro aurícula izquierda (AI), diámetro raíz aórtica,

Figura 1 | Listado de las afecciones que fueron motivo de exclusión (n:15)



La hipertensión arterial (HTA) se detectó en el 1.6% de los atletas.

Tabla 1 | Resumen antropométrico por género y por grupo etario

	Mujeres		
	Grupo etario (años)		
	15-19 (n = 43)	20-24 (n = 21)	≥25 (n = 32)
Peso (kg)	60.9 ± 11.2	64.6 ± 10.7	63.8 ± 16.1
Talla (m)	1.65 ± .,07	1.68 ± 0.09	1.66 ± 0.09
IMC (kg/m²)	22.3 ± 3.4	22.9 ± 3.5	23.0 ± 4.3
SC (m²)	1.67 ± 0.16	1.73 ± 0.17	1.70 ± 0.21
	Hombres		
	Grupo etario (años)		
	15-19 (n = 61)	20-24 (n = 46)	≥25 (n = 21)
Peso (kg)	70.7 ± 10.4	75.9 ± 12.7	75.5 ± 10.2
Talla (m)	1.76 ± 0.08	1.78 ± 0.08	1.78 ± 0.08
IMC (kg/m²)	22.7 ± 2.5	23.8 ± 3.0	23.8 ± 2.0
SC (m²)	1.86 ± 0.16	1.94 ± 0.17	1.93 ± 0.16

IMC: índice de masa corporal; SC: superficie corporal

diámetro vena cava inferior (VCI), relación E/A flujo trans-mitral, relación E/e' promedio, velocidad sistólica tisular ventrículo derecho (VDS) y deformación (strain) longitudinal pico sistólica global ventrículo izquierdo (SLVI) por el método de *speckle tracking*. Se definieron los valores normales para los siguientes parámetros: $IDDVI < 32 \text{ mm/m}^2$ (mujeres) y $< 31 \text{ mm/m}^2$ (hombres); $GPR < 0.42$; $IMVI < 95 \text{ g/m}^2$ (mujeres) y $< 115 \text{ g/m}^2$ (hombres); $VDS \geq 9.5 \text{ cm/s}$ y $SLVI \geq -17\%$. Además, fueron considerados normales un $SIV \leq 11 \text{ mm}$ y un $PPVI \leq 9 \text{ mm}$. Las evaluaciones se realizaron en condiciones de reposo. Todas las mediciones ecocardiográficas fueron realizadas por un médico cardiólogo especialista en ecocardiografía, llevándose a cabo en horario matutino. Para tal fin, fue utilizado un ecocardiógrafo GE Vivid 7 con un transductor de 3,5 MHz y los datos fueron obtenidos y registrados *online*.

La población fue dividida a su vez por género en dos grupos: el denominado “Grupo de resistencia cardiorrespiratoria” (GR) que agrupaba a todos los deportes con neto predominio del metabolismo aeróbico, y el Grupo de no resistencia (GNR), el cual incluyó al resto de los deportes.

Los individuos procedieron de 34 deportes competitivos. Su distribución según el tipo de deporte (de resistencia cardiorrespiratoria o no) se muestra en la Tabla 2.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados descriptivamente por género en función de la clasificación de deportes establecida. Además, contrastes de hipótesis de igualdad de medias entre los dos tipos de deporte fueron realizados

Tabla 2 | Clasificación de los deportes por grupo

Clasificación de los deportes			
Grupo Resistencia (GR)	n	Grupo de no resistencia (GNR)	n
Atletismo (carreras 1/2 fondo)	5	Atletismo (carreras velocidad)	4
Atletismo (carreras fondo)	1	Atletismo (lanzamientos)	9
Atletismo (maratón)	1	Automovilismo	1
Atletismo (combinadas)	1	Basquetbol	3
Canotaje	6	Hándbol playa	2
Ciclismo	4	Boxeo	14
Esquí alpino	5	Esgrima	12
Natación	24	Esquí náutico	2
Patín carreras	5	Fútbol	1
Pentatlón moderno	10	Gimnasia	6
Remo	12	Golf	2
Triatlón	7	Halterofilia	3
Total	81	Hándbol	4
		Hockey sobre césped	6
		Judo	6
		Karate	5
		Lucha	15
		Netball	3
		Pelota	2
		Rugby	1
		Softbol	5
		Squash	1
		Taekwondo	8
		Tenis	22
		Tenis de mesa	1
		Tiro	2
		Voleibol	3
		Total	143

mediante la prueba t de Student para muestras independientes. Complementariamente, fueron construidos gráficos de caja para representar comparativamente la distribución de los datos de las variables ecocardiográficas.

El nivel de significación estadística fue fijado en 0.05. Todos los análisis fueron ejecutados con el entorno y lenguaje de programación R versión 3.5.2. (R Core Team, 2018)

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Institución.

Se obtuvo el consentimiento informado de todas las personas incluidas.

Resultados

Un $\text{IDDVI} \geq 32 \text{ mm/m}^2$ fue medido en el 21.8% de las mujeres (21/96), mientras que presentó un $\text{IDDVI} \geq 31 \text{ mm/m}^2$ el 22.6% de los hombres (29/128). El $\text{SIV} \geq 12 \text{ mm}$ sólo en los hombres en un 8.6% (11/128). Un $\text{PPVI} \geq 10 \text{ mm}$ fue hallado en el 3.1% de las mujeres (3/96) y en el 28.1% de los hombres (36/128). El IMVI fue $>95 \text{ g/m}^2$ en el 30.9% (29/94) de las mujeres y $>115 \text{ g/m}^2$ en el 34.1% (43/126) de los hombres. El GPR fue < 0.42 en todos, excepto en una mujer. En el 7.7% de los atletas (16/207) fue calculada una relación $E/e' \geq 8$, con un valor máximo de 9 y ausencia de otros signos indirectos de disfunción diastólica. Solo fue posible obtener vistas confiables para medir el SLVI en el 80% de los sujetos. Un va-

lor menor (peor) de -17% fue hallado en el 12.1% de los hombres (13/107) pero en ninguna mujer. De éstos sólo 1 hombre presentó además otros parámetros de disfunción sistólica. La función sistólica del VD fue evaluada con Doppler tisular (VDS). Un 6.7% de los atletas tuvo valores apenas inferiores a 9.5 cm/s , pero todos ellos con valores de $\text{TAPSE} > 17 \text{ mm}$ (Tabla 3).

En el análisis por tipo de deporte, la muestra fue dividida en GR = 81 atletas (31 mujeres, 50 hombres) y GNR = 143 atletas (65 mujeres, 78 hombres).

En las mujeres, la FC fue significativamente menor en el GR que en el GNR ($60.1 \pm 10.4 \text{ lat/min}$ y $64.5 \pm 9.0 \text{ lat/min}$ respectivamente, $\text{IC}_{95\%} -8.77$ a -0.001 , $p < 0.05$). El IDDVI fue mayor en el GR con respecto al GNR ($31.6 \pm 2.3 \text{ mm/m}^2$ y $29.2 \pm 2.7 \text{ mm/m}^2$ respectivamente, $\text{IC}_{95\%} 1.25$ a 3.50 , $p < 0.001$). El IMVI fue mayor en el GR con respecto al GNR ($95.9 \pm 15.9 \text{ g/m}^2$ y $82.4 \pm 13.0 \text{ g/m}^2$, $\text{IC}_{95\%} 7.39$ a 19.67 , $p < 0.001$).

Como se muestra en la Tabla 4, en los hombres el SIV fue significativamente mayor en el GR que en el GNR ($10.5 \pm 1.1 \text{ mm}$ y $9.7 \pm 1.2 \text{ mm}$ respectivamente, $\text{IC}_{95\%} 0.39$ a 1.24 , $p < 0.001$). La PPVI fue mayor en el GR con respecto al GNR ($9.4 \pm 1.0 \text{ mm}$ y $8.8 \pm 1.1 \text{ mm}$ respectivamente, $\text{IC}_{95\%} 0.20$ a 0.96 , $p < 0.01$). El GPR también mos-

Tabla 3 | Variables ecocardiográficas

	Mujeres n/total (%)	Hombres n/total (%)	Total n/total (%)
$\text{IDDVI} \geq 32 \text{ mm/m}^2$	21/96 (21.8)		50/224 (22.3)
$\text{IDDVI} \geq 31 \text{ mm/m}^2$		29/128 (22.6)	
$\text{FAC} < 25\%$	1/96 (1.04)	1/128 (0.7)	2/224 (0.8)
$\text{SIV} \geq 12 \text{ mm}$	0/96 (0)	11/128 (8.6)	11/224 (4.9)
$\text{PPVI} \geq 10 \text{ mm}$	3/96 (3.1)	36/128 (28.1)	39/224 (17.4)
$\text{GPR} > 0,42$	1/96 (1.0)	0/128 (0)	1/224 (0.4)
$\text{IMVI} > 95 \text{ g/m}^2$	29/94 (30.9)		72/220 (32.7)
$\text{IMVI} > 115 \text{ g/m}^2$		43/126 (34.1)	
$E/e' \geq 8$	10/91 (10.9)	6/116 (5.1)	16/207 (7.7)
$\text{SLVI} < -17\%$	0/73 (0)	13/107 (12.1)	13/180 (7.2)
VD velocidad sistólica tisular $S < 9,5 \text{ cm/s}$	4/90 (4.4)	10/116 (8.6)	14/206 (6.7)

Número y porcentaje de atletas cuyas mediciones excedieron los valores considerados normales.

IDDVI = índice del diámetro diastólico del ventrículo izquierdo; FAC = fracción de acortamiento; SIV = espesor diastólico del septum interventricular; PPVI = espesor diastólico de la pared posterior; GPR = grosor parietal relativo; IMVI = índice masa ventricular izquierdo; E/e' = relación E/e' ; SLVI = Strain longitudinal del ventrículo izquierdo; VDS = velocidad sistólica tisular del anillo tricuspídeo

Tabla 4 | Valores medios analizados por grupo, en ambos sexos

Mujeres					Hombres					
GR (n=31)	GNR (n=65)	Diferencia		IC95%		GR (n=50)	GNR (n=78)	Diferencia		IC95%
60.1 ± 10.4	64.5 ± 9.0	-4.39	p<0.05	-8.77 a -0.001	FC (Lat/min)	56.8 ± 11.1	58.3 ± 9.1	-1.54	NS	-5.38 a 2.30
51.3 ± 2.9	49.8 ± 3.8	1.48	NS	-0.06 a 3.02	DDVI (mm)	56.3 ± 4.0	55.4 ± 4.1	0.82	NS	-0.63 a 2.28
31.6 ± 2.3	29.2 ± 2.7	2.38	p<0.001	1.25 a 3.50	IDDI (mm/m ²)	29.8 ± 2.0	29.2 ± 2.2	0.59	NS	-0.18 a 1.35
35.0 ± 4.4	33.7 ± 4.4	1.29	NS	-0.62 a 3.21	Fracción de Acortamiento (%)	32.6 ± 5.1	33.4 ± 4.4	-0.77	NS	-2.45 a 0.91
9.0 ± 1.1	8.8 ± 1.2	0.21	NS	-0.28 a 0.71	SIV (mm)	10.5 ± 1.1	9.7 ± 1.2	0.81	p<0.001	0.39 a 1.24
8.0 ± 1.0	7.8 ± 1.0	0.28	NS	-0.16 a 0.72	PPVI (mm)	9.4 ± 1.0	8.8 ± 1.1	0.58	p<0.01	0.20 a 0.96
0.31 ± 0.04	0.31 ± 0.05	0.001	NS	-0.02 a 0.02	Grosor parietal relativo	0.33 ± 0.04	0.32 ± 0.04	0.015	p<0.05	0.002 a 0.03
95.9 ± 15.9	82.4 ± 13.0	13.53	p<0.001	7.39 a 19.67	IMVI (g/m ²)	117.2 ± 22.8	104.5 ± 19.1	12.66	p<0.01	5.17 a 20.15
35.5 ± 3.4	34.4 ± 3.9	1.05	NS	-0.56 a 2.66	Diámetro AI (mm)	39.2 ± 3.7	37.5 ± 4.0	1.67	p<0.05	0.27 a 3.06
28.1 ± 3.3	27.1 ± 2.8	0.99	NS	-0.30 a 2.28	Diámetro raíz aórtica (mm)	31.3 ± 3.0	30.5 ± 3.6	0.73	NS	-0.48 a 1.95
16.9 ± 4.6	16.4 ± 4.1	0.58	NS	-1.29 a 2.45	Diámetro VCI (mm)	19.0 ± 4.1	18.4 ± 3.8	0.51	NS	-0.92 a 1.95
2.4 ± 0.7	2.3 ± 0.7	0.08	NS	-0.22 a 0.39	Relación E/A	2.6 ± 0.8	2.4 ± 0.6	0.17	NS	-0.08 a 0.41
6.3 ± 1.1	6.4 ± 1.3	-0.11	NS	-0.65 a 0.43	Relación E/e'	5.8 ± 1.1	5.9 ± 1.2	-0.07	NS	-0.50 a 0.37
12.0 ± 1.7	12.8 ± 2.0	-0.75	NS	-1.59 a 0.09	VDS (cm/s)	12.5 ± 2.1	12.4 ± 1.9	0.14	NS	-0.60 a 0.88
-20.9 ± 2.1	-21.1 ± 2.0	0.18	NS	-0.82 a 1.17	SLVI (%)	-19.4 ± 2.0	-19.4 ± 1.9	0.02	NS	-0.75 a 0.79

GR: grupo de resistencia; GNR: grupo de no resistencia, FC: frecuencia cardíaca; DDVI: diámetro diastólico del ventrículo izquierdo; IDDI: índice del diámetro diastólico del ventrículo izquierdo; SIV: septum interventricular; PPVI: pared posterior del ventrículo izquierdo; IMVI: índice masa ventricular izquierdo; AI: aurícula izquierda; VCI: vena cava inferior; E: velocidad protodiastólica del llenado mitral; e': velocidad protodiastólica del anillo mitral por Doppler tisular; VDS: velocidad sistólica tisular del anillo tricúspideo; SLVI: strain longitudinal del ventrículo izquierdo

tró diferencias (GR 0.33±0.04 y GNR 0.32±0.04, IC95% 0.002 a 0.03, p<0.05). Al igual que en las mujeres, el IMVI fue superior en el GR comparado con el GNR (117.2±22.8 g/m² y 104.5±19.1 g/m² respectivamente, IC95% 5.17 a 20.15, p<0.01). Finalmente, el diámetro de la AI fue también mayor en el GR que en el GNR (39.2±3.7 mm y 37.5±4.0 mm, IC95% 0.27 a 3.06, p<0.05, respectivamente).

Discusión

El primer desafío al encarar esta investigación fue poder reclutar un número relevante de atletas que representaran los niveles más altos del deporte competitivo en nuestro país. Objetivo nada fácil si consideramos que la convocatoria a participar de un estudio de estas características, lejos de generar una motivación especial para ellos, puede provocar cierto temor ante la posibilidad de algún resultado inesperado que condicionara la continuidad de la práctica.

Por otra parte, un aspecto que podría considerarse ventajoso, como lo es el amplio espectro de disciplinas deportivas que hemos podido reunir, tuvo como contrapartida una composición muy heterogénea en el Grupo de no resistencia. No obstante, dado que el principal objetivo del trabajo fue resaltar los aspectos diferenciales del Grupo Resistencia con respecto al resto de los deportistas, esa condición no fue considerada un obstáculo.

En el mismo sentido, nos hemos diferenciado de la mayoría de los artículos publicados en el tema al eludir la dicotomía isotónico vs. isométrico, dinámico vs. estático, o resistencia vs. fuerza. La bibliografía referida al corazón del atleta muestra claramente y de manera casi unánime que los atletas de resistencia cardiorespiratoria son quienes presentan cambios estructurales y funcionales con mayor frecuencia y magnitud cuando son comparados con deportistas de otras áreas. Es sabido que esta adapta-

ción fisiológica se fundamenta en la necesidad de incrementar el volumen minuto cardíaco a valores máximos, con el fin de poder sostener la mejor condición aeróbica posible por un tiempo prolongado. No ignoramos que existen muchos otros deportes con niveles de exigencia física comparables con este grupo, y que en algún porcentaje también desarrollan remodelamiento estructural del corazón. Pero el predominio de la actividad aeróbica cardiorrespiratoria constante permite diferenciar a los atletas de resistencia de los otros deportistas.

En nuestro trabajo, el Grupo de resistencia comprende a sujetos que, para alcanzar la máxima eficacia durante la competición, requieren un tipo de entrenamiento físico que necesita apelar a vías y recursos metabólicos de manera diferente a lo que se exige al resto de los atletas. Pensamos que la idea de desplazar el sesgo en ese sentido podría explicar mejor la presencia, frecuencia, magnitud y relevancia de los cambios estructurales del corazón del atleta.

La metodología elegida estuvo relacionada con la disponibilidad de recursos, tanto técnicos como humanos. Las limitaciones de tiempo disponible para la realización de cada estudio y su correspondiente registro forzaron a limitar las variables ecocardiográficas a tomar en cuenta.

Las mediciones antropométricas, sobre una de las cuales fueron indexados algunos valores, nos han permitido comparar confiablemente ambos grupos. Y aunque no fue objetivo del estudio, observar con mejor perspectiva las diferencias entre ambos sexos. También nos instó a excluir a los menores de 15 años, ya que por su etapa en el desarrollo pondoestatural, metabólico y hormonal hacían menos homogénea la muestra a considerar.

Los resultados globales coinciden con lo publicado por otros autores en otras latitudes.

Es de notar que el grosor parietal medido a nivel septal en nuestros registros excedió los valores normales en menos del 5%, exclusivamente en hombres, y que su valor máximo no superó los 13mm. La pared posterior, en cambio, presentó valores por encima de la normalidad en 28.1% de los hombres y en 3.1% de las mujeres, con valores máximos de 11 mm y 10 mm respectivamente.

Alrededor de 22% de los atletas mostró algún grado de dilatación de la cavidad del ventrículo izquierdo, y al aplicar el cálculo de la masa ventricular indexada por superficie corporal casi 1/3 de la totalidad evidenció hipertrofia ventricular izquierda. Pero en ningún caso se plantearon dudas acerca de la naturaleza fisiológica de la misma, teniendo en consideración el grado de aumento del grosor parietal (en el límite inferior de la "zona gris"), la morfología excéntrica de la hipertrofia, la normalidad de la función diastólica expresada por medio del Doppler tisular, así como la deformación longitudinal pico sistólica global dentro de los valores normales.

De los 224 sujetos evaluados solo 1 de ellos, un hombre de 24 años entrenado para triatlón, presentó hipertrofia excéntrica (IDDVI 33 mm/m²; GPR 0.33; IMVI 134 g/m²) con índices de función sistólica ventricular izquierda inferiores a los valores normales (FAC 23%; SLVI -13.3%). La función diastólica del ventrículo izquierdo fue normal, evaluada por Doppler transmitral, Doppler tisular y la relación E/e', y la función ventricular derecha estaba conservada. Este atleta continúa con su entrenamiento en la actualidad, pero con controles más rigurosos. El resto de los deportistas exhibió parámetros de función diastólica y sistólica normales.

Al analizar la muestra por grupo de deportes, se encontraron diferencias significativas entre ambos. Si bien el aumento del IMVI en el GR fue evidente en ambos sexos, la población masculina se destacó por haber presentado un mayor crecimiento del grosor parietal en relación con el crecimiento de la cavidad, aun manteniendo la morfología excéntrica, mientras que en las mujeres del mismo grupo el aumento del IMVI fue a expensas de una mayor dilatación del ventrículo, sin cambios en el grosor de las paredes.

Esta disparidad de cambios morfológicos entre ambos sexos es comparable con lo publicado^{18, 19}, pero no hay más que hipótesis que puedan explicar esta divergencia. Entre otras cosas, es posible que las diferencias en la masa corporal magra entre hombres y mujeres constituya un dato a considerar al elegir la manera de indexar las mediciones, como lo han propuesto Giraldeau y col.²⁰, quienes encontraron una diferencia de 8 puntos porcentuales de grasa corporal en favor de las mujeres lo cual redujo a

niveles no significativos las diferencias por sexo en la medición de la masa del VI y de los volúmenes ventriculares y auriculares cuando estas mediciones fueron indexadas por la masa corporal magra. El efecto estimulante de la testosterona en el desarrollo de hipertrofia ventricular y en la resistencia periférica contrasta con el de los estrógenos, los cuales tendrían un efecto inhibitorio de la hipertrofia y una reducción de la resistencia periférica mediada por el óxido nítrico²¹⁻²⁵.

La función diastólica ventricular izquierda fue evaluada por medio de la relación E/A y de la relación E/e' y, como demostraron otros autores²⁶, no se detectó disfunción diastólica del VI en ninguno de los deportistas, ni diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Algunos trabajos publicados hacen referencia a un aumento del diámetro de la raíz aórtica con respecto a la población no deportista, pero dentro de márgenes normales. También se ha publicado que el diámetro de la raíz aórtica es mayor en atletas de fuerza/potencia que en los de resistencia²⁷⁻²⁹. En nuestro estudio nos hemos limitado a comparar estos valores entre los dos grupos y no hallamos valores anormales ni diferencias significativas.

El diámetro de la vena cava inferior en espiración fue medido en el 96% de los atletas y no encontramos diferencias entre el GR y el GNR. Sin embargo, y como hallazgo, detectamos diámetros superiores a 20 mm en el 10.7% de las mujeres y en el 30% de los hombres. Otros trabajos dedicados a este punto en particular han obtenido resultados similares³⁰⁻³².

La función sistólica del ventrículo derecho fue normal en todos los atletas, definida principalmente por Doppler tisular del anillo tricuspídeo, sin diferencias estadísticamente significativas entre los 2 grupos analizados. Otros autores mencionan valores levemente superiores, con valores medios de entre 11.8 y 15.3 cm/s, contra los 12 a 12.8 cm/s en nuestra población^{33,34}.

El análisis de la deformación ventricular por *speckle tracking* para observar el comportamiento de la mecánica de contracción y de relajación ventricular y auricular se extendió ampliamente en la cardiología clínica³⁵. Existe un número creciente de trabajos de investigación sobre la deformación ventricular izquierda en deportistas,

que la han estudiado desde diferentes planos de corte (longitudinal, radial, circunferencial), como así también la tasa de deformación, la rotación y la torsión. En estos mismos trabajos, las características de las poblaciones seleccionadas según el tipo de deporte, el perfil de los deportistas (profesionales o *amateurs*), el género, la edad, y las circunstancias en las que se realizaron los exámenes (reposo, post-esfuerzo, tiempo de entrenamiento previo) difieren tanto entre sí que aún no podemos hablar de certezas en este campo³⁶. En este sentido, nuestros datos han reflejado lo que algunos autores han publicado con anterioridad en poblaciones de similares características. Caselli y col.³⁷ demostraron que, a pesar de presentar valores dentro del rango de la normalidad, la deformación longitudinal en los atletas es menor comparado con la de los controles. De manera similar, la totalidad de los atletas de nuestro estudio presentó valores normales de deformación longitudinal sistólica, si bien en muchos casos cerca del límite inferior generalmente aceptado.

Debemos reconocer que cuando hablamos de remodelamiento cardíaco o de cambios adaptativos eso supone haber documentado cambios en un período determinado. Nuestro estudio está diseñado metodológicamente como un corte transversal de una población, pero sin un seguimiento longitudinal. En este sentido cabe mencionar un trabajo publicado por Weiner y col.³⁸ en el que explica el remodelamiento cardíaco inducido por el ejercicio, como cambios en la estructura y función cardíaca que ocurren en respuesta al entrenamiento físico. En atletas jóvenes tendría un patrón de fases. Una primera fase aguda de adaptación caracterizada por dilatación ventricular, mejoría de la relajación y aumento de la torsión, mientras que la fase crónica de entrenamiento se distingue por el engrosamiento de las paredes ventriculares, un incremento de la complacencia al final de la diástole y una disminución de la rotación apical y de la torsión pico sistólica en reposo. Estos autores concluyen que la duración del entrenamiento representa un importante determinante de la magnitud y de la geometría del remodelamiento cardíaco inducido por el ejercicio; y que a su vez depende de una serie de factores como la edad, el género, la raza y la disciplina deportiva.

Limitaciones del estudio: El tamaño de la muestra final considerada, así como la composición heterogénea del GNR, estuvo limitada por razones operativas. No obstante, el GR estuvo compuesto por un número representativo de atletas con características similares que nos permitió diferenciarlo de manera confiable del GNR.

Si bien podría cuestionarse la falta de un grupo control, creemos que los objetivos de este trabajo no lo requieren, dado que las mediciones obtenidas en el análisis global se confrontan con valores normales definidos por consenso, y en el análisis por grupos dichas mediciones y cálculos son relativos entre sí.

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información útil y re-

fuerzan los conceptos presentados en otros trabajos publicados. Es importante destacar que la población incluida en este estudio tiene características antropométricas propias de nuestra región.

Esperamos que la base de datos ecocardiográfica resultante de este estudio se convierta en un punto de referencia para las evaluaciones de atletas que acuden anualmente tanto al CeNARD como a otros centros de medicina deportiva para mejorar su rendimiento. Además, confiamos en que esta base de datos pueda ser utilizada como punto de partida para nuevas investigaciones en el área.

Conflicto de intereses: Ninguno para declarar

Bibliografía

1. Henschen S. Skidlauf und skidwettlauf: eine medizinische sportstudie. *Mitt Med Klin Upsala* 1899; 8: 1-75.
2. Eijsvogels TMH, Fernandez AB, Thompson PD. Are there deleterious cardiac effects of acute and chronic endurance exercise? *Physiol Rev* 2016; 96: 99-125.
3. Maron BJ, Pelliccia A, Spirito P. Cardiac disease in young trained athletes. Insights into methods for distinguishing athlete's heart from structural heart disease, with particular emphasis on hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 1995; 91: 1596-601.
4. Sharma S, Maron BJ, Whyte G, Firoozi S, Elliott PM, McKenna WJ. Physiologic limits of left ventricular hypertrophy in elite junior athletes: relevance to differential diagnosis of athlete's heart and hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2002; 40: 1431-6.
5. Maron BJ, Zipes DP. Introduction: eligibility recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities-general considerations. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45: 1318-21.
6. Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Intern Med* 1975; 82: 521-4.
7. Mitchell JH, Haskell W, Snell P, Van Camp SP. Task force 8: classification of sports. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45: 1364-7.
8. Pelliccia A, Culasso F, Di Paolo FM, Maron BJ. Physiologic left ventricular cavity dilatation in elite athletes. *Ann Intern Med* 1999; 130: 23-31.
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* 2000; 101: 336-44.
10. Fagard R, Aubert A, Staessen J, Eynde EV, Vanhees L, Amery A. Cardiac structure and function in cyclists and runners: comparative echocardiographic study. *Br Heart J* 1984; 52: 124-9.
11. Pelliccia A, Maron BJ, Spataro A, Proschan MA, Spirito P. The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes. *N Engl J Med* 1991; 324: 295-301.
12. Pelliccia A, Kinoshita N, Pisicchio C, et al. Long-term clinical consequences of intense, uninterrupted endurance training in olympic athletes. *J Am Coll Cardiol* 2010; 55: 1619-25.
13. Spirito P, Pelliccia A, Proschanet MA, et al. Morphology of the athletes's heart assessed by echocardiography in 947 elite athletes representing 27 sports. *Am J Cardiol* 1994; 74: 802-6.
14. D'Andrea A, Cocchia R, Riegler L, et al. Left ventricular myocardial velocities and deformation indexes in top-level athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 1281-8.
15. Fagard RH. Impact of different sports and training on cardiac structure and function. *Cardiol Clin* 1997; 15: 397-412.
16. Pelliccia A, Caselli S, Sharma S, et al. European association of preventive cardiology (EAPC) and European association of cardiovascular imaging (EACVI) joint position statement: recommendations for the indication and interpretation of cardiovascular im-

- aging in the evaluation of the athlete's heart. *Eur Heart J* 2018; 39: 1949-69.
17. Neumann, G. Special performance capacity. En Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K (eds.), *The Olympic book of sports medicine*. Blackwell Sc Publ Oxford 1988; 97-108.
 18. Pellicia A, Maron BJ, Culasso F, Spataro A, Caselli G. Athlete's heart in women. Echocardiographic characterization of highly trained elite female athletes. *JAMA* 1996; 276: 211-5.
 19. Wilhelm M, Roten L, Tanner H, Wilhelm I, Schmid JP, Saner H. Gender differences of atrial and ventricular remodeling and autonomic tone in nonelite athletes. *Am J Cardiol* 2011; 108: 1489-95.
 20. Giraldeau G, Kobayashi Y, Finocchiaro G, et al. Gender differences in ventricular remodeling and function in college athletes, insights from lean body mass scaling and deformation imaging. *Am J Cardiol* 2015; 116: 1610-6.
 21. Marsh JD, Lehmann MH, Ritchie RH, Gwathmey JK, Green GE, Schiebinger RJ. Androgen receptors mediate hypertrophy in cardiac myocytes. *Circulation* 1998; 98: 256-61.
 22. van Eickels M, Grohé C, Cleutjens JP, Janssen BJ, Wellens HJ, Doevendans PA. 17beta-estradiol attenuates the development of pressure-overload hypertrophy. *Circulation* 2001; 104: 1419-23.
 23. Cavasin MA, Sankey SS, Yu A-L, Menon S, Yang X-P. Estrogen and testosterone have opposing effects on chronic cardiac remodeling and function in mice with myocardial infarction. *Am J Physiol Circ Physiol* 2003; 284: H1560-9.
 24. Pedram A, Razandi M, Lubahn D, Liu J, Vannan M, Levin ER. Estrogen inhibits cardiac hypertrophy: role of estrogen receptor- β to inhibit calcineurin. *Endocrinology* 2008; 149: 3361-9.
 25. Vega RB, Konhilas JP, Kelly DP, Leinwand LA. Molecular mechanisms underlying cardiac adaptation to exercise. *Cell Metab* 2017; 25: 1012-26.
 26. Caselli S, Di Paolo FM, Pisicchio C, Pandian NG. Patterns of left ventricular diastolic function in olympic athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28: 236-44.
 27. Somauroo JD, Pyatt JR, Jackson M, Perry RA, Ramsdale DR. An echocardiographic assessment of cardiac morphology and common ECG findings in teenage professional soccer players: reference ranges for use in screening. *Heart* 2001; 85: 649-54.
 28. D'Andrea A, Cocchia R, Riegler L, et al. Aortic root dimensions in elite athletes. *Am J Cardiol* 2010; 105: 1629-34.
 29. Boraita A, Heras ME, Morales F, et al. Reference values of aortic root in male and female white elite athletes according to sport. *Circ Cardiovasc Imaging* 2016; 9: e005292.
 30. Onizuka H, Sueyoshi E, Sakamoto I, Miura T. Dilation of inferior vena cava and iliac veins in elite athlete. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord* 2017; 5: 575.
 31. Goldhammer E, Mesnick N, Abinader EG, Sagiv M. Dilated inferior vena cava: a common echocardiographic finding in highly trained elite athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 988-93.
 32. Hedman K, Nylander E, Henriksson J, Bjarnegård N, Brudin L, Tamás É. Echocardiographic characterization of the inferior vena cava in trained and untrained females. *Ultrasound Med Biol* 2016; 42: 2794-802.
 33. Bohm P, Schneider G, Linneweber L, et al. Right and left ventricular function and mass in male elite master athletes: a controlled contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance study. *Circulation* 2016; 133: 1927-35.
 34. Qasem M, George K, Somauroo J, Forsythe L, Brown B, Oxborough D. Influence of different dynamic sporting disciplines on right ventricular structure and function in elite male athletes. *Int J Cardiovasc Imaging* 2018; 34: 1067-74.
 35. Geyer H, Caracciolo G, Abe H, et al. Assessment of myocardial mechanics using speckle tracking echocardiography: fundamentals and clinical applications. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 351-69.
 36. Beaumont A, Grace F, Richards J, Hough J, Oxborough D, Sculthorpe N. Left ventricular speckle tracking-derived cardiac strain and cardiac twist mechanics in athletes: a systematic review and meta-analysis of controlled studies. *Sports Med* 2017; 47: 1145-70.
 37. Caselli S, Montesanti D, Autore C, et al. Patterns of left ventricular longitudinal strain and strain rate in olympic athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28: 245-53.
 38. Weiner RB, De Luca JR, Wang F, et al. Exercise-induced left ventricular remodeling among competitive athletes: a phasic phenomenon. *Circ Cardiovasc Imaging* 2015; 8: e003651.