

## 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

### (Assessment of heart rate and its relationship with ventricular remodeled in dynamic exercise as indicator of autonomic function between endurance athletes and strength athletes)

Tibayre Pulido <sup>1,2</sup>, José H Donís <sup>2</sup>✉, Diego F Dávila <sup>2†</sup>, Carlos Hernández <sup>1</sup>, Rodolfo Odreman <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Cardiología. Instituto Venezolano de los Seguros Sociales (IVSS). Avenida Las Américas, Mérida, Venezuela. <sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Cardiovasculares. Instituto Autónomo Hospital Universitario de los Andes. Mérida, Venezuela.

Recibido: 21 de Enero de 2016

Aceptado: 1 de Mayo de 2016

Publicación online: 21 de Mayo de 2016

[TRABAJO ORIGINAL]

#### Resumen (español)

Se estudiaron 113 sujetos (atletas maratonistas, atletas pesistas y controles sedentarios sanos) a los que se les realizó una prueba de esfuerzo en banda sin fin, para evaluar la reserva vagal, definida por la aceleración de la frecuencia cardíaca (FC) a los 10 segundos de iniciado el ejercicio, como la recuperación de la FC al primer minuto y el segundo minuto después de la realización del ejercicio dinámico,  $\Delta 1$  y  $\Delta 2$  respectivamente. Se realizó ecocardiograma transtorácico para evaluar los índices de volúmenes ventriculares y la función diastólica, para determinar los patrones de llenado ventricular. La muestra se dividió en tres grupos: Grupo I: Control de Sedentarios Sanos, Grupo II: Maratonistas, Grupo III: Pesistas. Se observó que el Grupo II mostro mayor recuperación de la FC con un  $\Delta 1$  de  $m=36\pm 14$  lat/min y  $\Delta 2$  de  $m=58\pm 15$  lat/min, con mayor predominio vagal; asociado con un patrón geométrico ventricular izquierdo (VI) de mayores volúmenes indexados del VI de  $m=63\pm 82$  mm con una  $p < 0,0001$  con relación a los del Grupo I y Grupo III. El Grupo III mostró menor recuperación de la FC con respecto a los demás grupos y mayor índice de la relación  $E/e'$  ( $m=8\pm 3$ ),  $p < 0,0001$ . Por lo tanto, este estudio nos permite concluir que los atletas mostraron un tono vagal aumentado y una menor rigidez VI con respecto a atletas estáticos y plantea los posibles mecanismos que explican este fenómeno.

#### Palabras clave (español)

Maratonistas, pesistas, ejercicio dinámico, ejercicio estático, función autonómica, reserva vagal

#### Abstract (english)

This study was performed to evaluate 118 subjects (athlete's runners, weight lifters, with control group of healthy subjects sedentary) who have performed stress with treadmill test to evaluate the vagal reserve, as the grade of acceleration of the heart rate (HR) after the 10 second of starting the exercise and the  $\Delta 1$  and  $\Delta 2$  respectively,. Transtoracic echocardiography was performed to evaluate diameters and ventricular volumes and diastolic function to determine the patterns of ventricular filling. The sample was divided into three groups: Group I Sedentary, Group II Runners, and the Group III Weight Lifters. Group II was those with vagal predominance in the test with a  $\Delta 1$  de  $m=36\pm 14$  lat/min and  $\Delta 2$  de  $m=58\pm 15$  lat/min ( $p < 0.0001$  and expressed left ventricular (LV) geometric patterns given by higher LV diameter and higher volumes indexed ( $m=63\pm 82$  mm)  $p < 0.0001$  in relation to the group I and III. On the other hand, the weight lifters expressed the less HR recovery after the exercise and the higher wall thickness and higher relation  $E/e'$  ( $m=8\pm 3$ ).  $p < 0.0001$ . This study allows us to

affirm on the vagal predominance and less stiffness, was observed in endurance athletes, compared to athlete's static and also allows opening a light to the explanation of the possible reasons to elucidate this phenomenon.

### Keywords (english)

Runners, weight lifters, endurance exercise, static exercise, autonomic function, vagal reserve.

### Introducción

El corazón del atleta cursa con un espectro de modificaciones benignas en la masa cardíaca (1). En las últimas décadas, el perfil clínico del corazón de atleta se ha ampliado considerablemente como resultado de una mayor accesibilidad a las grandes poblaciones de atletas entrenados y al estudio con mayor número de técnicas de imágenes cardíacas (2-5), lo que pudiera impactar positivamente en el conocimiento del acondicionamiento del ejercicio prolongado sobre la remodelación cardíaca, y a su vez entender enfermedades que eventualmente imitan ciertas condiciones patológicas con el posible riesgo de muerte súbita o progresión hacia la enfermedad (6-13). Estos cambios morfológicos dependen principalmente de los tipos de sobrecarga hemodinámica por el entrenamiento, así como también por el tipo de ejercicio dinámico o estático, la presencia de activación neurohumoral, y otros factores asociados tal como citoquinas, endotelina, estrés oxidativo; los cuales se expresaran clínicamente de acuerdo a las modificaciones en el patrón geométrico cardíaco (14). Así, el ejercicio dinámico (aeróbico), como el correr o nadar, se caracteriza por un aumento del gasto cardíaco, sobrecarga de volumen de ambos ventrículos, lo que genera un aumento en los diámetros ventriculares junto con un incremento modesto en el espesor de la pared ventricular (13,14). En cambio el ejercicio estático (anaeróbico o isométrico) como el levantamiento de pesas, se caracteriza por una elevación de la presión arterial sistólica y diastólica provocando un aumento del espesor en la pared del ventrículo izquierdo, con solo un leve incremento de los diámetros de la cavidad ventricular (15). Sin embargo, en estado patológico, como la insuficiencia aortica con función ventricular conservada con dilatación ventricular, que por sí sola no parece estar acompañada de alteraciones autonómicas, demostrado a través de la repuesta a la maniobra de Valsalva no se encontró alterada cuando se comparó con un grupo de sujetos sedentarios sanos (16). Se ha descrito además una reserva vagal aumentada como consecuencia de práctica deportiva en ejercicio dinámico, pero se desconoce sus efectos

del entrenamiento estático sobre la regulación autonómica cardiovascular.

El corazón del atleta desarrolla una adaptación fisiológica como consecuencia del entrenamiento físico, mientras que el proceso de remodelación cardíaca en pacientes cardiopatas o en situaciones fisiológicas está condicionado principalmente por la carga hemodinámica a la que es sometido el ventrículo izquierdo y a la presencia o no de activación neurohumoral (17,18). Los cambios producidos por el ejercicio en la función autonómica de atletas han sido descritos desde hace más de tres décadas y están dados por un tono vagal aumentado en reposo y una menor actividad simpática (3,7-17). Sin embargo, existen diferencias entre los tipos de disciplinas practicadas por los atletas y es discutido si los beneficios sobre el sistema autonómico y cardiovascular en atletas de ejercicio estático son menos acentuados. Hallazgos previos sugieren que existen diferencias entre atletas dinámicos y estáticos, reflejado por los niveles de Neurohormonas como por ejemplo la noradrenalina en niveles basales son menores en atletas nadadores y corredores que en los pesistas (19-21). Asimismo, los niveles basales de noradrenalina, son significativamente mayores en los pesistas en comparación con sujetos sedentarios (22).

Un parámetro de función vagal que en las últimas décadas ha cobrado importancia es la medición de la aceleración de la frecuencia cardíaca (FC) a los 10 segundos de iniciado el ejercicio, así como la recuperación de FC post ejercicio (23). Este último parámetro se ha encontrado acentuado en atletas de tipo dinámico (23-27). La utilidad pronóstica de la recuperación de la FC al primer y segundo minuto posterior al ejercicio ha sido demostrada en pacientes con riesgo de enfermedad cardiovascular, y ha sido validada como factor de riesgo independiente en comparación con otros parámetros establecidos (28,29).

En este estudio se planteó que la modulación autonómica podría no ser homogénea en todos los tipos de atletas y que puede estar influenciada de manera importante por receptores de estiramiento en la pared ventricular que generarían predominio parasimpático en los atletas maratonista en los cuales se observa un remodelado excéntrico. La evaluación de la función autonómica vagal en atletas de ejercicio

dinámico (Maratonistas) y de tipo estático (Pesistas), medido simultáneamente a través de la aceleración de la FC al inicio del ejercicio dinámico, así como la recuperación de la FC al primer y segundo minutos post ejercicio no ha sido estudiadas previamente. Tampoco se ha establecido la relación que hay entre la modulación autonómica, y la geometría ventricular. Conocer estos aspectos nos permitiría explicar las diferencias en comportamiento autonómico que existe y poder saber el papel que está jugando la dilatación ventricular como probable responsable del predominio parasimpático en estos diferentes grupos de atletas.

## **Materiales y métodos**

### ***Tipo de estudio y selección de los pacientes.***

Se trata de un estudio observacional analítico de corte transversal y de correlación. El estudio consistió en la evaluación de la función autonómica mediante la aceleración de la FC a los 10 segundos de iniciado el ejercicio dinámico y en la recuperación de la FC post ejercicio. Se evaluó la estructura y anatomía ventricular mediante ecocardiografía bidimensional-Doppler color y Doppler tisular. Estas pruebas se hicieron en forma concurrente (semanas consecutivas) para evitar modificaciones asociadas al tiempo. Los atletas no podían estar sometidos a regímenes especiales de dietas y no presentar sobreentrenamiento, para evitar que estos atletas no tengan un rendimiento físico bajo de manera continua o prolongada por entrenamiento excesivo. De encontrarse en período de inactividad, éste no podía ser mayor a 3 meses para evitar el descondicionamiento físico. Los sujetos del estudio se familiarizaron con los ambientes en las cuales se realizaron las pruebas mencionadas y se explicó detalladamente en qué consistió, además firmaron el consentimiento de la prueba realizada. Se incluyeron 3 grupos conformados por: **Grupo I** sujetos sedentarios sanos, **Grupo II** Atletas de Competencia Maratonistas o Corredores de fondo, con al menos una competencia de 42 Km y con más de 2 años de desempeño en la disciplina de Atletismo y **Grupo III** Atletas de Levantamiento de Pesas (Pesa olímpica o de Potencia exclusivos) con más de 2 años de desempeño ininterrumpido. Todos los grupos incluyeron ambos sexos y edades comprendidas entre 20 y 45 años, pareados por edad y sexo. Tenían que aceptar el Consentimiento informado para participar en el protocolo de estudio. Se excluyeron Atletas culturistas, amateurs, el descondicionamiento físico mayor a 3 meses e individuos con cualquier desorden sistémico o

metabólico o enfermedades cardiovasculares, así como también el uso de drogas que alteren la respuesta cronotrópica al ejercicio, arritmias o alteraciones del ritmo cardíaco basal.

Los datos demográficos de los sujetos se recolectaron en hoja especial especificando tipo y antigüedad en la disciplina deportiva, frecuencia de entrenamiento semanal, uso de medicamentos o suplementos, así como declarar empleo de esteroides anabolizantes u otra droga que pudiera afectar los resultados.

**Evaluación funcional.** Todos los sujetos se estudiaron entre 2:00 pm y 6:00 pm. Los grupos no debían ingerir ningún alimento por lo menos 2 horas antes del estudio y ni consumir bebidas alcohólicas o que contengan cafeína 24 horas previas al estudio. Se le realizó evaluación inicial por medio de ecocardiografía transtorácica en el Laboratorio del Instituto de Investigaciones Cardiovasculares del Instituto Autónomo Hospital Universitario de los Andes (IAHULA) en equipo VIVID 7 (General Electric) con transductor sectorial 2,5/1,9 MHz. La adquisición de las imágenes con la técnica habitual con el paciente en decúbito lateral izquierdo, obteniéndose imágenes en eje paraesternal largo y corto, como también las vistas apicales 4 cámaras, 2 cámaras. Las imágenes fueron transferidas a disco óptico para su análisis off line por dos ecocardiografistas experimentados que desconocen los grupos en estudio.

La finalidad del estudio fue evaluar el patrón geométrico o remodelado VI, por la determinación de las dimensiones e índices ventriculares, la función sistólica VI y la función diastólica a través de las velocidades del flujo transmitral y Doppler tisular para determinar la relación de la velocidad de la onda del flujo de la E mitral con la velocidad de flujo de la onda e' tisular (Relación E/e'). Se realizó Test de esfuerzo en equipo de registro electrocardiográfico (12 derivaciones) computarizado en formato digital y monitorizado en tiempo real, conectado a banda de ejercicio dinámico con protocolo de Bruce estándar con periodo de enfriamiento de 2 minutos. Los atletas maratonistas completaron las 7 etapas del protocolo de Bruce (21 min) para confirmar su aptitud física, mientras que los atletas pesistas, y los sujetos sedentarios controles se le realizó una prueba submáxima limitada por síntomas. La Reserva Vagal de determinó como la aceleración de la FC que se obtuvo con la diferencia entre la FC alcanzada a los 10" de iniciado el ejercicio menos la FC basal obtenida durante el reposo. La recuperación de la FC post ejercicio se determinó como la diferencia entre la frecuencia cardíaca al máximo esfuerzo (frecuencia

cardíaca máxima) y la FC en la recuperación, a los 60 segundos ( $\Delta 1$ ) y 120 segundos ( $\Delta 2$ ) después de haber terminado el ejercicio. Se consideró valor normal de la recuperación de frecuencia cardíaca post ejercicio de  $\Delta 1$  Mayor de 12 latidos y  $\Delta 2$  Mayor de 22 latidos (27).

**Indicaciones para la realización de las pruebas funcionales.** Se tomaron en cuenta las siguientes indicaciones antes de realizar la prueba: **a.-** No consumir bebidas estimulante 24 horas antes de la realización de la prueba. **b.-** Permanecer en reposo 30 min antes de iniciar la prueba, realizándose registró electrocardiográfico basal y registro de la FC basal en reposo. **c.-** Inicio de la prueba (sin fase de precalentamiento previa) haciendo las mediciones durante los primero 10 segundos de iniciado la prueba y al primer minuto y segundo minuto después de terminar el prueba en la fase de recuperación y luego se esperó a que a FC regrese a la basal registrada en reposo, **d.-** Durante la prueba se registró datos de referencia como síntomas, frecuencia cardíaca, ritmo cardíaco, presión arterial, carga de trabajo, cambios del segmento ST. **e.-** La prueba se finalizó si el paciente así lo solicita o si presento disnea, angina limitante, fatiga, depresión del segmento ST mayor de 2 mm, disminución de la TA >10 mmHg durante ejercicio dinámico o hipertensión (PAS > 220 mmHg o PAD > 115 mmHg) ataxia, lipotimia, cianosis y/o taquicardia ventricular sostenida.

**Análisis Estadístico.** Los datos obtenidos fueron reportados como valores medios  $\pm$  DE para las variables continuas. La normalidad de la distribución para las variables continuas fue probada por el método del test Kolmogorv- Smirnov. Los datos nominales o variables categóricas se tabularon en forma de valores absolutos y porcentuales. Las características basales entre los cuatros grupos de pacientes fueron comparadas con análisis de varianza para variables basales continuas; se empleó el test de  $\chi^2$  para las variables no continuas o categóricas y el test no paramétrico de Kruskal- Wallis para las variables que se distribuyeran en forma no normales. Se relacionó las diferentes variables independientes con la aceleración a los 10" y la recuperación de la frecuencia cardíaca post ejercicio, a través del análisis de regresión lineal univariable y Multivariable con el análisis de stepwise. Todas las variables con valor de  $p < 0,10$  serán incluidas en el modelo multivariable. Después de encontrar las variables independientes que más se correlacionen con la aceleración de la FC en 10" y recuperación de la frecuencia cardíaca postejercicio como variable dependiente, se aplicó el análisis de regresión lineal multivariante con la finalidad de saber cuál fue la variable independiente

que más se correlacione con la aceleración a los 10" de iniciado el ejercicio dinámico y recuperación de frecuencia cardíaca al 1<sup>er</sup> y 2<sup>do</sup> minuto post ejercicio en los diferentes grupos. Se usará un valor de  $p < 0,05$  como valor significativo. El análisis estadístico será desarrollado con el programa SPSS (versión 15, SPSS Inc., Chicago, Illinois). El tamaño de la muestra se calculó mediante el programa Calculo de la muestra con el programa del Cálculo de la muestra, de Álvaro Ruiz (30) el cual asumimos un error alfa de 0,05, un error beta de 0,20 y un poder del test de 90%, con un nivel de confianza del 95% para una diferencia entre el atleta de potencia en relación al atleta dinámico de 8 latidos/minuto en la recuperación de frecuencia cardíaca post ejercicio dando un tamaño de la muestra de 39 pacientes para cada grupo.

## Resultados

La muestra comprendió un número total de 113 sujetos, dividida en tres grupos: un grupo I de 36 personas sedentarias (grupo Control), Grupo II 39 atletas maratonistas de alta competencia, Grupo III 38 atletas pesistas de alta competencia (de potencia exclusivos y levantadores de pesas olímpicas). Las características demográficas de los grupos estudiados se muestran en la tabla 1. La población general fue predominantemente del sexo masculino en todos los grupos estudiados. En la misma tabla 1 se observa que el grupo de atletas pesistas tuvieron una edad menor con relación a los atletas maratonistas, siendo estadísticamente significativo con una  $p < 0,01$ . Sin embargo, no hubo diferencias con el resto de los grupos. En relación al índice de masa corporal (IMC), los maratonistas tuvieron los valores más bajos, aunque no fue estadísticamente significativo.

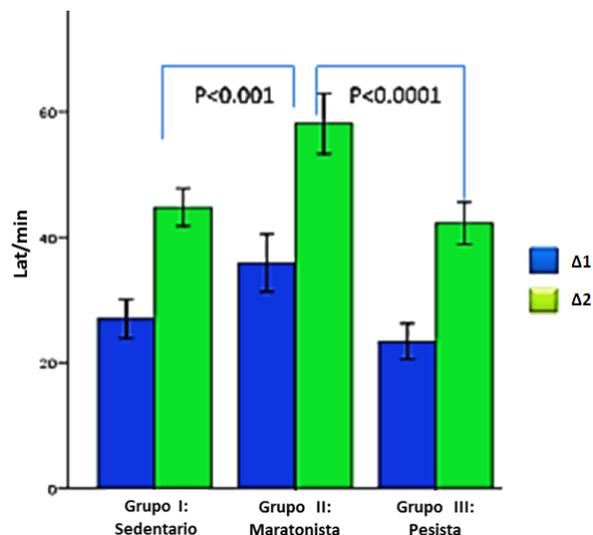
**Tabla 1.** Características demográficas de la población

	Grupo I: Sedentarios (n 36)	Grupo II: Maratonistas (n 39)	Grupo III: Pesistas (n 38)
Edad en años (M $\pm$ SD)	26 $\pm$ 5,5	29 $\pm$ 7,5	25 $\pm$ 6*
Sexo Masculino (%)	91,6	84,61	73,7
IMC (M $\pm$ SD)	26 $\pm$ 8,4	21 $\pm$ 2	27 $\pm$ 4
Edad Deportiva en años	---	10,7	7,7

Valores expresados en: M+ SD: media + desviación estándar  
IMC: índice de masa corporal. \* $p < 0,01$  frente a Maratonistas.

Se puede apreciar en la tabla 2 el comportamiento de la FC basal previo a la prueba de esfuerzo, que los atletas maratonistas presentaron las FC basales más bajas con respecto a los pesistas y sedentarios sanos ( $p < 0,01$ ). Al evaluar la reserva vagal medida a través de la aceleración de la FC a los 10'' de iniciado el ejercicio dinámico se encontró que no había diferencias significativas entre los atletas maratonistas, sedentarios, sin embargo, los atletas pesistas experimentaron una mayor aceleración de la frecuencia cardiaca con respecto al grupo sedentario ( $p < 0,01$ ). Cuando se evaluó la recuperación de la frecuencia cardiaca con el delta ( $\Delta$ ) al primer minuto en los tres grupos estudiados, se evidenció que los maratonistas mostraron el mayor cambio de esta respuesta siendo estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) con respecto a los pesistas y sedentarios (ver tabla 2). De forma similar el  $\Delta$  a los dos minutos tuvo un comportamiento similar como el  $\Delta$  del primer minuto, pero más acentuado  $p < 0,0001$  también mostrado en la figura 1

En relación a las variables ecocardiográfica por modo bidimensional para determinar el remodelado VI, se evidencia que la función sistólica VI a través de la fracción de eyección (FE) fue similar en todos los grupos estudiados. Con relación al grosor del septum interventricular diastólico se observó que el grupo de atletas pesistas tuvieron una media del septum significativamente mayor con respecto a los maratonistas ( $p < 0,007$ ) (ver tabla 3). De la misma manera se aprecia que los diámetros diastólicos ventriculares en los atletas maratonistas tuvieron una media mayor que los sedentarios siendo estadísticamente significativa  $p < 0,01$ . La pared posterior de los pesistas mostró una media de mayor grosor cuando se comparó con los sedentarios, siendo estadísticamente significativa ( $p < 0,01$ ), sin embargo,



**Figura 1. Valores de recuperacion de la frecuencia cardiaca porterior al ejercicio dinamico en los tres grupos.  $\Delta$  al primer minuto ( $\Delta 1$ ) y  $\Delta$  al segundo minuto ( $\Delta 2$ ). Se observa que el  $\Delta$  al segundo minuto es mayor en el grupo II de maratonistas con relacion a los tres grupos .**

no se observó diferencias en el resto de los grupos. En cuanto a los índices de volúmenes del VI, tanto sistólicos como diastólicos se encontró que la media de los atletas maratonistas estaban aumentados de forma significativa  $p < 0,0001$ , con relación a los sedentarios y pesistas (ver tabla 3)

Al evaluar el patrón de llenado VI en los diferentes grupos, se evidenció que la onda E no mostro diferencias significantes en los diferentes grupos, la onda A mostró una media significativamente mayor en los sedentarios en relación a los maratonistas  $p < 0,001$ , y a los atletas pesista con una  $p < 0,0001$ . En el Doppler tisular se mostró onda s' de los pesistas con valores significativamente más bajos que el resto del grupo,  $p < 0,03$ . El componente de la onda e' del Doppler tisular presentó valores estadísticamente significativa mayores en los maratonistas y sedentarios, en relación a los pesistas con una  $p < 0,01$ . Por último, la relación E/e' de los pesistas mostraron valores más altos que los maratonistas y sedentarios con una  $p < 0,0001$ , (ver tabla 4).

Cuando se determinó la correlación simple de las variables ecocardiográficas con los datos obtenidos durante la prueba de esfuerzo se encontró que la reserva vagal a los 10'' de iniciado el ejercicio dinámico se correlaciono con la E/e' en forma directa y positiva  $R = 0,24$  ( $p < 0,007$ ). En cambio el  $\Delta$  del primer minuto así como también con el  $\Delta$  al segundo minuto se correlaciono en forma directa y positiva con el hecho

**Tabla 2. Características durante el ejercicio dinámico**

Variables	Grupo I:	Grupo II:	Grupo III:
	Sedentarios	Maratonistas	Pesistas
FC Basal (M $\pm$ SD)	78 $\pm$ 11	62 $\pm$ 9*	73 $\pm$ 10
Reserva Vagal 10'' (M $\pm$ SD)	19 $\pm$ 7	22 $\pm$ 7	24 $\pm$ 11**
$\Delta$ al primer min. (M $\pm$ SD)	27 $\pm$ 9	36 $\pm$ 14 $\epsilon$	22 $\pm$ 8
$\Delta$ al segundo min. (M $\pm$ SD)	45 $\pm$ 9	58 $\pm$ 15 $\epsilon$	42 $\pm$ 10

Valores expresados como M+ SD: media + desviación estándar. Min: minuto. \* $p < 0,01$  frente a Sedentarios y pesistas. \*\* $p < 0,01$  frente a los sedentarios.  $p < 0,001$  frente a pesista y sedentarios.  $\epsilon p < 0,0001$  frente a los pesistas y sedentarios.

**Tabla 3.** Características ecocardiográficas en bidimensional.

Variables	Grupo I: Sedentarios	Grupo II: Maratonistas	Grupo III: Pesistas
FEVI (%)	62 + 4	63 + 5	63 + 5
SIVd (mm) (M + SD)	7,5 + 1,2	7,3 + 1	8 + 1,3*
DIVd (mm) (M + SD)	44,5 + 4,5	47,9 + 3,5**	46,5 + 3
PPIVd (mm) (M + SD)	8,9 + 1,4	9,5 + 1,9	10 + 1,7*
ER	0,39 + 0,09	0,40 + 0,09	0,43 + 0,07
IVDF VI (ml) (M + SD)	42 + 8	63 + 82§	49 + 9
IVVI SF (ml) (M + SD)	16 + 3	22 + 5§	17 + 4

M+SD: Media + desviación estándar. SIVd: diámetro diastólico del septum interventricular. DIVd: diámetro diastólico ventricular izquierdo. PPIVd: diámetro diastólico de pared posterior ventricular izquierdo. ER: espesor relativo ventricular izquierdo. IVDF VI: índice volumen diastólico final del ventrículo izquierdo. IVSF VI: índice de volumen sistólico final del ventrículo izquierdo. \*p<0,01 frente a los maratonistas. \*\*p<0,01 frente a sedentarios. §p< 0,0001 frente a los sedentarios y pesistas.

de ser maratonistas observándose una  $R=0,41$  ( $p < 0,0001$ ); y una  $R= 0,50$  ( $p < 0,0001$ ) respectivamente. En cambio, cuando se correlaciono el índice de  $E/e'$  con el  $\Delta$  del primer minuto y el  $\Delta$  del segundo minuto se encontró que la relación fue negativa y directa con una  $R= -0,33$  ( $p < 0,0001$ ) y de  $R= - 0,36$  ( $p < 0,0001$ ), respectivamente

Por último, se realizó el análisis de regresión multivariable, en la tabla 5 se observa que la única variable que se comportó como predictor independiente en relación a la reserva vagal a los 10 segundos del ejercicio dinámico fue la relación  $E/e'$  con un Beta de 0,945 y  $p < 0,0007$ . En cambio, el  $\Delta$  al primer minuto mostró como el predictor independiente, el hecho de ser maratonista con una beta 8,83 ( $p < 0,007$ ), así como también el  $\Delta$  al segundo minuto con una beta de 12,63 con una  $p < 0,003$ , sin embargo, el  $\Delta$  al 1 minuto y segundo minuto mostraron que la relación  $E/e'$  como predictor independiente, pero este caso fue negativa y directa con una beta de -1,38 con una  $p < 0,003$ .

## Discusión

En vista de que no existían estudios sobre la evaluación de la reserva vagal del VI al ejercicio dinámico como un indicador de la función autonómica

en atletas maratonistas y pesistas y su relación con el remodelado VI, la finalidad de este estudio fue determinar la respuesta de la FC en los primeros 10 segundos del inicio del ejercicio dinámico, así como la recuperación de la FC post ejercicio en un grupo de atletas que estuvieran sometidos a dos diferentes disciplinas (maratonistas y pesistas), de esta manera definir su respuesta y tratar de encontrar los posibles responsables del incremento del tono vagal en los maratonistas.

Se demostró en la evaluación de la FC, un predominio vagal en los atletas maratonistas con respecto a los atletas pesistas y sedentarios sanos, similar a los resultados reportados por Andrea y col con diferente metodología (25). En vista de que en publicaciones previas se había demostrado la importancia que tiene la determinación de la recuperación de la FC en el primer y segundo minuto, para identificar un adecuado balance autonómico en sujetos asintomáticos, en pacientes cardiopatas, y su implicación pronóstica en el aumento del riesgo cardiovascular (8,13,18,26-28), este parámetro fue utilizado en este estudio, encontrándose que en la evaluación de la FC del grupo de individuos maratonistas tenía FC basales significativamente más bajas que el grupo I (control) y el grupo III (pesistas) y además de ello, expresaron una recuperación de la

**Tabla 4.** Complicaciones inherentes al procedimiento ecocardiográfico.

Variables	Grupo I: Sedentarios	Grupo II: Maratonistas	Grupo III: Pesistas
Onda E	79 + 15	82 + 14	80 + 16
Onda A	55 + 10 <sup>**</sup>	47 + 6	51 + 10
Relación E/A	1,4 + 0,38	1,7 + 0,34	1,6 + 0,4
TDE	197 + 59	216 + 44	201 + 51
s'	10 + 2	9 + 2	9 + 1 <sup>§</sup>
e'	14 + 3 <sup>§§</sup>	14 + 2 <sup>§§</sup>	11 + 4
E/e'	5,9 + 1,3	5,7 + 1,4	8 + 3 <sup>£</sup>

TDE: tiempo de desaceleración de la onda E. \*p<0,001 frente a los maratonistas/ \*\*p<0,0001 frente a los pesistas. § p < 0,03 frente a los pesistas. §§p < 0.01 frente a los pesistas. £ p < 0,0001 frente a los sedentarios y maratonistas.

**Tabla 5.** Resultados del análisis por regresión lineal multivariable.

Análisis multivariante					
	Predictor	Beta	EE	Valor de p	R <sup>2</sup>
Respuesta de la reserva vagal a los 10 segundos	E/e'	0,945	0,343	0,0007	0,06
Δ al 1 <sup>er</sup> minuto	Maratonista	8,83	2,175	0,007	0,22
	E/e'	- 1,2	0,435		
Δ al 2 <sup>do</sup> minuto	Maratonista	12,63	2,28	0,003	0,32
	E/e'	- 1,38	0,45		

frecuencia cardiaca al primer y segundo minuto adecuada, con magnitudes superiores a estos dos últimos grupos; lo que nos permite sugerir que su tono vagal esta aumentado, asociado a un aumento de los diámetros ventriculares. Estos hallazgos fueron similares a los encontrados en otro estudio realizado en nuestra institución, donde se pudo apreciar un tono vagal no atenuado cuando se realizó la maniobra de Valsalva en 9 pacientes con insuficiencia aortica aislada, con diámetros aumentados similares a los maratonistas (16). Además, se encontró al evaluar la respuesta de la FC como expresión de reserva vagal en los primeros 10 segundos del ejercicio dinámico, los atletas pesistas presentaron una mayor elevación de la frecuencia cardiaca en esta fase, lo que permite inferir una adecuada expresión de retirada parasimpática al inicio del ejercicio que podría corresponder a un fenómeno de compensación, asociado a una recuperación de la frecuencia cardiaca al primer minuto y segundo minuto del ejercicio dinámico menores a los maratonistas y muy similares a los sedentarios. El papel que jugaría esta fase en la modulación y balance autonómico, aun se encuentra en etapa de investigación.

El remodelado ventricular asociado a la práctica de ejercicio físico que se encontró en los diferentes atletas fue muy similar a publicaciones realizadas previamente por Naylor y col. (18). De acuerdo a estos resultados y los nuestros podríamos decir que hay dos formas de adaptación cardiovascular extremas: una en la que se aprecia un predominio en el aumento del grosor de las paredes ventriculares en los atletas pesistas y otra en la que predomina el aumento de la cavidad y volúmenes ventriculares, correspondiente a los atletas maratonistas frente a los sujetos sedentarios sanos controles (6, 10, 14 ,18). Aunque Utomi cuestiona ésta hipótesis de Morganroth, la cual afirma que las característica morfológica en el corazón de atleta son similares para ambos tipos de ejercicio tanto dinámico como de resistencia, sin haber ninguna hipertrofia concéntrica

(31). Nuestros hallazgos indican que la evaluación de la función diastólica a través del Doppler de flujo transmitral y Doppler tisular en los maratonistas tenía una relación E/A menor y un onda e' en el tisular mayor, lo que indica una fase de llenado rápido sobre la contribución auricular, lo cual podría significar una mayor relajación ventricular izquierda y una muy eficiente función diastólica, esto concuerda con los resultados obtenidos en los maratonistas que tuvieron índices menores de la relación E/e', y coeficiente negativo de esta relación, lo que podría significar que tenía menor rigidez miocárdica que los pesistas que tuvieron los valores más alto la relación E/e' por una mayor rigidez miocárdica. Cabe resaltar el papel importante que tiene la remodelación ventricular en fases tempranas sobre la función diastólica, cuya asociación se ha señalado en el remodelado patológico con alteración de la función diastólica en pacientes isquémicos y que a permitido darle un valor pronóstico en el riesgo de eventos cardiovasculares (28,32,33). Este hallazgo, nos llamó mucho la atención, debido a que cuando se realizó el análisis de correlación, con el índice E/e' se encontró el índice estaba relacionado en forma inversa y directa con la recuperación de la frecuencia cardiaca al primero y segundo minuto; debido a este hecho deberíamos decir que el tono vagal aumentado expresado a través de la recuperación de la frecuencia cardiaca post ejercicio no solo está relacionado con el remodelado encontrado en los maratonistas, sino también, que es dependiente de una adecuada función diastólica.

El comportamiento en los maratonistas de la recuperación de la FC al primer y segundo minuto incrementada, se puede explicar cómo una mayor actividad de las aferencias nerviosas, ocasionado por estimulación de los mecanorreceptores de las paredes ventriculares de los maratonistas por su mayor estiramiento por los diámetros aumentados siendo este uno de los mecanismos responsables del mayor tono parasimpático (16). En el análisis multivariante, mostró como la variable predictora fue el ser

maratonista per se, como la variable independiente, y responsable de la recuperación de la frecuencia cardíaca al primer y segundo minuto. Podríamos explicar esto por la remodelación en la geometría ventricular, que conduce a diámetros ventriculares cardíacos aumentados en los maratonistas.

En este mismo análisis multivariante también se observó, que la relación E/e' fue un predictor de recuperación de la frecuencia cardíaca al primer y segundo minuto post ejercicio dinámico, pero en una forma negativa y directa como lo expreso el coeficiente beta de esta relación, sugiriendo que hay una restricción al llenado ventricular izquierdo que implica presiones de llenado mayores expresadas en una relación E/e' mayor, la cual podría ser la responsable de una disminución en la recuperación de la frecuencia cardíaca a través de la disminución del flujo de aferentes nerviosas hacia el centro vasomotor y provocar un aumento en el tono simpático como se observó en el grupo de pesistas, que mostraron una

relación directa y positiva con respecto a esta relación E/e (34-38).

En este estudio se puede concluir que la evaluación del tono vagal se encontró aumentado en atletas maratonistas, con respecto a atletas pesistas y además nos permite abrir nuevas perspectivas en cuanto a los posibles mecanismos que explican las causas de este fenómeno, sugiriendo que el tono vagal aumentado en atletas dinámicos podría deberse a un mejor llenado ventricular por sus mayores diámetros ventriculares y menor rigidez miocárdica y ser en parte responsable de una mayor afluencia de señales aferentes provenientes de los mecanorreceptores ventriculares a nivel central lo que permite el predominio parasimpático eferente.

### Conflicto de Interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

### Referencias

- Shapiro LM. The morphologic consequences of systemic training. *Cardiol Clin.* 1997; 15: 373-9. [\[PubMed\]](#)
- Charlton GA, Crawford MH. Physiologic consequences of training. *Cardiol Clin.* 1997; 15: 345-54. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Rosenwinkel ET, Bloomfield DM, Arwady MA, Goldsmith RL. Exercise and autonomic function in health and cardiovascular disease. *Cardiol Clin.* 2001; 19: 369-87 [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Fagard RH. Impact of different sports and training on cardiac structure and function. *Cardiol Clin.* 1997; 15: 397-412. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Lahiri MK, Kannankeril PJ, Goldberger JJ. Assessment of Assessment of autonomic function in cardiovascular disease: physiological basis and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol.* 2008; 51: 1725-33. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Pluim BM, Zwiderman 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. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Sztajzel J, Jung M, Sievert K, Bayes De Luna A. Cardiac autonomic profile in different sports disciplines during all-day activity. *J Sports Med Phys Fitness.* 2008; 48: 495-501. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Jouven X, Empana JP, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetière P. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med.* 2005; 352:1951-8. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Maron BJ. Sudden death in young athletes. *N Engl J Med.* 2003; 349: 1064-75. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Maron BJ, Pelliccia A. The heart of trained athletes: cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death. *Circulation* 2006; 114: 1633-44. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Teske AJ, Prakken NH, De Boeck BW, Velthuis BK, Doevendans PA, Cramer MJ. Effect of long term and intensive endurance training in athletes on the age related decline in left and right ventricular diastolic function as assessed by Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 2009; 104: 1145-51. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Baynard T, Carhart RL Jr, Ploutz-Snyder LL, Weinstock RS, Kanaley JA. Short-term training effects on diastolic function in obese persons with the metabolic syndrome. *Obesity* 2008; 16: 1277-83. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Negrão CE, Middlekauff HR. Adaptations in autonomic function during exercise training in heart failure. *Heart Fail Rev* 2008; 13: 51-60. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Mihl C, Dassen WR, Kuipers H. Cardiac remodelling: concentric versus eccentric hypertrophy in strength and endurance athletes. *Neth Heart J.* 2008; 16: 129-33. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Pluim BM, Swenne CA, Zwiderman AH, Maan AC, van der Laarse A, Doornbos J, Van der Wall EE. Correlation of heart rate variability with cardiac functional and metabolic variables in cyclists with training induced left ventricular hypertrophy. *Heart.* 1999; 81: 612-7. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Navarro AE, Dávila DF, Torres A, Bellabarba G, Donis JH, Casado J. Heart rate changes during the Valsalva maneuver in patients with isolated aortic insufficiency *Braz J Med Biol Res.* 1997; 30: 1075-80. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Cooke WH, Carter JR. Strength training does not affect vagal-cardiac control or cardiovagal baroreflex sensitivity in young healthy subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2005; 93: 719-25. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Naylor LH, George K, O'Driscoll G, Green DJ. The athlete's heart: a contemporary appraisal of the 'Morganroth hypothesis'. *Sports Med* 2008; 38: 69-90. [\[PubMed\]](#)
- Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, Ludvik B, Metz-Schimmerl S, Pacini G, Wagner O, Georg P, Prager R, Kostner K, Dunky A, Haber P. The Relative Benefits of Endurance and Strength Training on the Metabolic Factors and Muscle Function of People With Type 2 Diabetes Mellitus. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86: 1527-33 [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
- Watanabe J, Thamilarasan M, Blackstone E, Thomas J, Lauer M. Heart rate recovery immediately after treadmill exercise and left ventricular systolic dysfunction as

- predictors of mortality: the case of stress echocardiography. *Circulation*. 2001; 104: 1911-6. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
21. Jost J, Weiss M, Weicker H. Comparison of sympatho-adrenergic regulation at rest and of the adrenoceptor system in swimmers, long-distance runners, weight lifters, wrestlers and untrained men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1989; 58: 596-604. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  22. Homero L, Dávila D, Donís J. Tesis de grado para especialista en Cardiología. Perfil neurohormonal basal de atletas pesistas y maratonistas. Diciembre 2000.
  23. Lazoglu AH, Glace B, Gleim GW, Coplan NL. Exercise and heart rate variability. *Am Heart J*. 1996; 131: 825-6. [\[PubMed\]](#)
  24. Kouidi E, Haritonidis K, Koutlianos N, Deligiannis A. Effects of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002; 22: 279-84. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  25. D'Andrea A, Limongelli G, Caso P, Sarubbi B, Della Pietra A, Brancaccio P, Cice G, Scherillo M, Limongelli F, Calabrò R. Association between left ventricular structure and cardiac performance during effort in two morphological forms of athletes's heart. *Int J Cardiol*. 2002; 86: 177-84. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  26. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, Takeda H, Inoue M, Kamada T. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 1994; 24: 1529-35. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  27. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*. 1999; 341: 1351-7. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  28. Vivekananthan DP, Blackstone EH, Pothier CE, Lauer MS. Heart rate recovery after exercise is a predictor of mortality, independent of the angiographic severity of coronary disease. *J Am Coll Cardiol*. 2003; 42: 831-8. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  29. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996; 93: 1043-65. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  30. Álvaro RLM. CD Cálculo del Tamaño de la muestra. *Epidemiología Clínica Editorial Panamericana* 2004.
  31. Utomi V, Oxborough D, Whyte GP, Somauroo J, Sharma S, Shave R, Atkinson G, George K. 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* 2013; 99: 1727-33 [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  32. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Med* 2003; 33: 889-919. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  33. Almáida MB. Araujo Gil C. Effects of aerobic training on heart rate. *Rev Bras Med Esporte*. 2003, 9: 113-120. [\[Google Scholar\]](#)
  34. Oishi K, Maeshima T. Autonomic nervous system activities during motor imagery in elite athletes. *J Clin Neurophysiol*. 2004; 21: 170-9 [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  35. Mourou L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriot MT, Wolf JP, Rouillon JD, Regnard J. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin Physiol Funct Imaging Clin Physiol Funct Imaging*. 2004; 24:10-8. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  36. Fagard R. Athlete's heart. *Heart* 2003; 89: 1455-61. [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  37. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart Rate variability in athletes. *Sports Med* 2003; 33: 889-919 [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
  38. Madariaga Galvis W, Dávila Spinetti DF, Donis Hernández JH, Bellabarba G, Lemorvan C, Torres A, Casado J. Estimation of cardiac vagal reserve by dynamic exercise in patients with recent myocardial infarction. *Arch Inst Cardiol Mex. Arch Inst Cardiol Mex*. 1998; 68: 37-43. [\[PubMed\]](#)

**Como citar este artículo:** 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. *Avan Biomed* 2016; 5: 57-65.