

Monograph

Efectos del Entrenamiento Intervalado de Alta Intensidad sobre la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca Durante el Ejercicio

Lenise Fronchetti^{1, 2}, Fábio Y Nakamura², Fernando R De-Oliveira^{1, 3}, Adriano E Lima-Silva^{1, 5} y Jorge R P de Lima⁴

¹Laboratory of Morphological and Functional Research - University of Santa Catarina State, Florianópolis, Brasil.

²Group of Studies on Physiological Adaptations to the Training - Londrina State University, Londrina, Brasil.

³Nucleus of Studies of Human Movement - Federal University of Lavras, Lavras, Brasil.

⁴Laboratory of Motor Assessment, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil.

⁵Laboratory of Multidisciplinary Measurement - Bom Jesus/IELUSC, Brasil.

RESUMEN

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), como lo indica el SD1, disminuye gradualmente durante el ejercicio incremental progresivo, y presenta un punto de saturación aproximadamente en 3 ms (umbral de HRV). El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del entrenamiento intervalado de alta intensidad sobre el umbral de HRV y sobre la curva de la HR graficada en función de la tasa de trabajo durante el ejercicio incremental progresivo. Veinte sujetos fueron distribuidos al azar en dos grupos: Grupo que realizó el entrenamiento (T) y grupo control (C). Ellos realizaron un test de ejercicio incremental progresivo hasta el agotamiento, antes y después de los períodos de entrenamiento. El grupo T realizó nueve sesiones de entrenamiento intervalado de alta intensidad en una bicicleta ergométrica durante 3 semanas (1 min al 130% de la tasa de trabajo aeróbica máxima con intervalos de 1 min de descanso hasta el agotamiento voluntario). La HRV fue determinada utilizando el método gráfico de Poincaré. El entrenamiento de alta intensidad provocó un incremento en el umbral de HRV en el grupo T (de $95,30 \pm 21,9$ a $130,0 \pm 31,7$ W, $p \leq 0,05$), pero no tuvo efectos en el grupo C. La HR submáxima disminuyó significativamente en el grupo T, pero no disminuyó en el grupo C. Nuestra conclusión es que el entrenamiento de alta intensidad realizado durante 3 semanas provocó un aumento en el umbral de HRV y una disminución en la HR submáxima. Estas alteraciones podrían deberse a una demora en la inhibición parasimática durante el ejercicio incremental.

Palabras Clave: modulación cardíaca autonómica, umbral de variabilidad de frecuencia cardíaca, entrenamiento

INTRODUCCION

Está ampliamente reconocido que el entrenamiento provoca adaptaciones agudas y crónicas sobre la frecuencia cardíaca (HR), pero no está claro cuales son los mecanismos exactos que provocan estos cambios (1, 2, 3, 4). Se ha planteado la hipótesis que indica que el entrenamiento podría afectar la regulación autonómica, causando una reducción en la actividad

del sistema nervioso simpático y un aumento en el flujo parasimpático (5, 6). Estudios previos han demostrado que la modulación autonómica de la HR puede ser estudiada a través de métodos no invasivos que utilizan la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) (7, 8, 9, 10, 11, 12). La HRV está asociada con el equilibrio simpato-vagal y puede ser un método práctico y preciso para evaluar los efectos del ejercicio agudo y del entrenamiento sobre la modulación autonómica de la HR (6, 13). La HRV se obtiene del análisis de las oscilaciones consecutivas "latido a latido" del ritmo sinusal en el dominio del tiempo o la frecuencia, las cuales están reguladas principalmente por las actividades de las ramificaciones del sistema nervioso autónomo. Sin embargo, otros factores nerviosos, humorales, y metabólicos también podrían inducir cambios en los parámetros de HR y de HRV.

Tulppo et al. (14) informaron que la HRV disminuye exponencialmente durante el ejercicio progresivo y que se produce una inhibición casi completa de la modulación parasimpática aprox. en el 50-60% del VO_2 máx. En nuestro laboratorio, los estudios demostraron que la curva HRV en función de la tasa de trabajo presenta un punto de saturación que ocurre aprox. a los 3 ms. Nosotros llamamos a este punto el "umbral de la HRV". No es significativamente diferente del umbral de lactato y estos índices están altamente correlacionados (15, 16). Podría especularse que el umbral de HRV representa la transición de la modulación de la HR desde el dominio parasimpático al simpático durante los protocolos progresivos.

Otro estudio investigó los efectos de entrenamiento aeróbico sobre la respuesta de la HRV durante una prueba progresiva en bicicleta ergométrica (17). El entrenamiento consistió en pedalear durante 30 min al 50% de la diferencia entre la tasa de trabajo máxima durante el test incremental y el umbral de HRV. Las sesiones fueron realizadas tres veces por semana a lo largo de tres semanas. Los resultados demostraron que el entrenamiento de intensidad moderada causó un aumento en la tasa de trabajo en el umbral de HRV, mientras que no se observaron diferencias significativas en el grupo control. Sin embargo, durante las pruebas de ejercicio incremental, todavía no se han establecido los efectos del entrenamiento intervalado de alta intensidad sobre la respuesta de la HRV.

Por consiguiente, el propósito de este estudio fue investigar los efectos del entrenamiento intervalado de alta intensidad sobre el umbral de HRV y sobre la curva de HRV graficada en función de la tasa de trabajo durante el ejercicio progresivo. Planteamos la hipótesis sostiene que se producirían cambios significativos en el control cardíaco autonómico en respuesta a esta forma de entrenamiento y por consiguiente, la curva de HRV en función de la tasa de trabajo durante el ejercicio progresivo se desplazaría hacia arriba y hacia la derecha, con la concomitante reducción en la frecuencia cardíaca en las etapas submáximas.

MÉTODOS

Veinte sujetos sedentarios saludables de ambos géneros (11 varones y 9 mujeres) formaron parte de esta investigación. Todos los sujetos firmaron una declaración de consentimiento informado y no habían participado en programas de entrenamiento durante los seis meses previos al estudio. Se aconsejó a los participantes que evitaran consumir alcohol o cafeína y que no realizaran ejercicio activo 24 horas antes de las evaluaciones. Todos los procedimientos fueron revisados y aprobados por el Comité de Ética Local.

Luego los sujetos fueron distribuidos al azar en dos grupos: Grupo que realizó el entrenamiento (T) y Grupo Control (C). En la Tabla 1 se presentan las características físicas de ambos grupos.

Grupo	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)
T (n=13)	20,4±1,2	173,8±7,7	68,5±10,1
C (n=7)	22,7±3,1	165,6±10,8	63,5±14,6

Tabla 1. Características físicas de los participantes distribuidos en dos grupos: Grupo que realizó el entrenamiento (T) y grupo control (C).

Procedimientos

Test de Ejercicio Incremental

Antes de comenzar con el programa de entrenamiento y dos a cinco días después de la última sesión de entrenamiento,

ambos grupos realizaron un test incremental en una bicicleta ergométrica mecánica (Monark®, Suecia). Durante la determinación de la HR y HRV en reposo los sujetos permanecieron sentados durante 3 min en la bicicleta ergométrica.

Los sujetos comenzaron el test pedaleando sin resistencia durante 1 min, con incrementos de 90 kpm.min⁻¹ (~ 14,6 W) cada minuto hasta alcanzar el agotamiento voluntario. Se solicitó a los sujetos mantener la cadencia de pedaleo a ~ 60 rpm, y a todos se los animó de forma consistente a lo largo de la sesión.

Entrenamiento Intervalado de Alta Intensidad

Los sujetos de grupo T realizaron nueve sesiones de entrenamiento intervalado de alta intensidad durante un período de tres semanas. Las sesiones se realizaron tres veces por semana, separadas por lo menos por un día de descanso. La tasa de trabajo de la bicicleta ergométrica durante los ejercicios de entrenamiento fue fijada en 130% de la tasa de trabajo máxima individual obtenida durante el test progresivo. Los sujetos pedalearon durante 1 min con períodos de descanso intercalados de 1 min hasta el agotamiento voluntario. El entrenamiento fue diseñado para provocar el agotamiento en un lapso de 5 a 10 series de ejercicio. A lo largo de las tres semanas de entrenamiento fue necesario realizar ajustes de la carga de trabajo para mantener el número establecido de series de ejercicio. Todas las sesiones de entrenamiento se realizaron en la misma bicicleta ergométrica y la cadencia de pedaleo fue mantenida en aprox. 60 rpm. Durante el período de entrenamiento del grupo T, el grupo C no realizó entrenamiento sistemático y los integrantes de este grupo debían mantener sus hábitos normales.

Análisis los Datos

Durante todos los tests, la HR y la HRV fueron medidas utilizando un monitor de frecuencia cardíaca (Polar Electro Oy, S810i). Los datos fueron transmitidos a una computadora y la HRV de cada etapa fue calculada a través del análisis de los gráficos de Poincaré (con el software Polar Precision Performance). La variabilidad instantánea de los datos, latido por latido, se obtuvo a partir del índice SD1. Los detalles del análisis SD1 fueron descriptos previamente (14, 18). El índice SD1 fue graficado en función de la tasa de trabajo y la primera intensidad en la que el índice SD1 alcanzó valores iguales o menores que 3 ms fue definida como el umbral de HRV (15, 16). También se calculó la HR media de cada etapa y se la graficó en función de la tasa de trabajo para estimar la HR en el umbral de HRV. La tasa de trabajo máxima y HR máxima determinadas durante los tests incrementales también fueron comparadas antes (Pre) y después (Post) del entrenamiento.

Análisis Estadísticos

Los resultados se presentan como valores medios±DS. Los valores obtenidos pre- y post-entrenamiento y los provenientes de los grupos T y C fueron comparados mediante un ANOVA de dos vías seguido por un test post hoc de Scheffé para identificar cuales datos originaban las diferencias. La significancia estadística fue fijada en un nivel de 5%.

RESULTADOS

La tasa de trabajo utilizada durante las sesiones de entrenamiento aumentó progresivamente desde la primera a la tercera semana con el objetivo de mantener la carga de trabajo total relativa inicial, pero las diferencias no fueron significativas (ver la sección métodos). En la Tabla 2 se presentan los datos correspondientes a la tasa de trabajo promedio utilizada durante cada semana de entrenamiento.

Semana	Media ± SD	Mínimo	Máximo
Primera	251,5±52,3	189,5	335,2
Segunda	257,1±50,0	189,5	335,2
Tercera	263,1±51,65	189,5	349,8

Tabla 2. Tasa de trabajo utilizada durante las tres semanas del programa de entrenamiento (los valores se expresan como valores medios±DS, valores máximos y valores mínimos).

En la Tabla 3 se presentan los datos correspondientes al umbral de HRV promedio, la tasa de trabajo máxima, y la frecuencia cardíaca máxima obtenidas en los tests incrementales, antes (pre) y después (Post) del entrenamiento. La tasa

de trabajo en el umbral de HRV luego del entrenamiento (post) fue significativamente mayor que la encontrada antes del entrenamiento (pre) sólo en el grupo T ($95,3 \pm 21,9$ W vs. $130,1 \pm 31,7$ W, $p \leq 0,05$), mientras que no se observaron diferencias significativas en el grupo C.

Los valores post en el grupo T fueron significativamente mayores que los valores pre y post en el grupo C. Una tendencia similar fue observada cuando el umbral de HRV se expresó en forma de porcentaje de la tasa de trabajo máxima. De manera contraria, la tasa de trabajo máxima obtenida en el test incremental no varió en ningún grupo. Por otro lado, el grupo de T comenzó el programa con una tasa de trabajo máxima mayor que el grupo C, y la diferencia se mantuvo hasta el fin del programa ($p \leq 0,05$).

	Grupo que realizó entrenamiento (T) (n=13)		Grupo Control (C) (n=7)	
	Pre	Post	Pre	Post
Umbral de HRV (W)	$95,3 \pm 21,9$	$130,1 \pm 31,7$ ^{a b, c}	$85,4 \pm 41,6$	$95,8 \pm 43,6$
Umbral de HRV (%)	$47,7 \pm 9,5$	$61,6 \pm 13,4$ ^{a b}	$46,1 \pm 17,1$	$59,2 \pm 22,2$
Umbral de HRV (bpm)	134 ± 9	139 ± 14	130 ± 18	136 ± 14
Tasa de Trabajo Máxima (W)	$201,8 \pm 41,6$ ^c	$210,8 \pm 32,4$ ^{a c}	$179,1 \pm 33,4$	$158,2 \pm 24,4$
Frecuencia Cardíaca Máxima (bpm)	189 ± 7	182 ± 13	182 ± 13	179 ± 17

Tabla 3. Umbral HRV y variables máximas obtenidas durante la realización del test incremental antes (pre) y después (post) del entrenamiento en ambos grupos. Los datos se expresan como valores medios \pm DS. Umbral de HRV (%) es el umbral de la HRV expresado en forma de porcentaje de la tasa de trabajo máxima. a Presenta diferencias significativas con respecto al valor obtenido en el grupo T antes del entrenamiento (pre) ($p \leq 0,05$); b Presenta diferencias significativas con respecto al valor obtenido en el grupo C antes del entrenamiento (pre) ($p \leq 0,05$); c Presenta diferencias significativas con respecto al valor obtenido en el grupo C después del entrenamiento (post) ($p \leq 0,05$).

La Figura 1 muestra que el punto en dónde el índice de SD1 alcanzó un valor ≤ 3 ms (umbral de HRV) se desplazó hacia la derecha en el grupo T, pero en el grupo C no se observó ningún cambio. Además, la HR en las etapas submáximas fue significativamente menor en el grupo de T, mientras que en el grupo C no se observaron diferencias (Figura 2). Sin embargo, el entrenamiento no tuvo ningún efecto sobre la HR en el umbral de HRV o en la HR máxima durante el test incremental (Tabla 3).

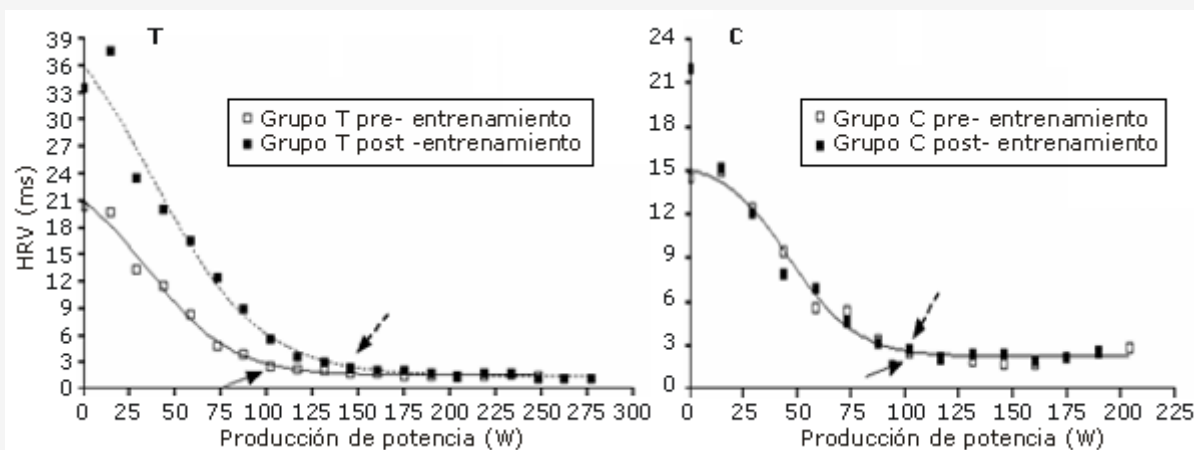


Figura 1. Curva de la variabilidad de la frecuencia cardíaca media (HRV) durante el test incremental, antes (pre) y después (post) del entrenamiento. El gráfico situado a la derecha corresponde a los datos obtenidos en el grupo control (C) mientras que el gráfico de la izquierda corresponde a los datos obtenidos en el grupo que realizó el entrenamiento (T). La flecha indica el punto donde el índice SD1 alcanzó un valor de 3 ms (umbral HRV).

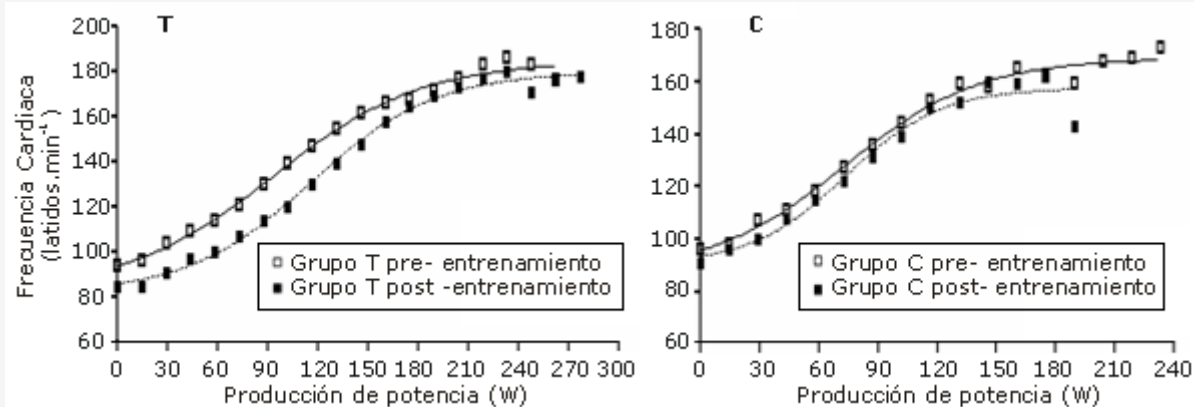


Figura 2. Curva de la frecuencia cardiaca media (HR) durante el test incremental, antes (pre) y después (post) del período de entrenamiento. El gráfico situado a la derecha corresponde a los datos obtenidos en el grupo control (C), mientras que el gráfico de la izquierda corresponde a los datos obtenidos en el grupo que realizó el entrenamiento (T).

DISCUSION

En éste estudio se demostró que el entrenamiento intervalado de alta intensidad alteró la modulación autonómica. Además, la carga de trabajo en el umbral de HRV, que podría indicar la transición desde el dominio parasimpático al simpático fue significativamente mayor después del período de entrenamiento. Estos resultados no pueden ser atribuidos a la familiarización con los tests, porque en el grupo control no se registraron cambios significativos.

Los efectos del entrenamiento han sido demostrados en la literatura disponible. Numerosos estudios han demostrado que el entrenamiento aeróbico afecta la HR durante el reposo y el ejercicio, al menos en parte, debido a los cambios en la modulación simpática y parasimpática (6, 19, 20, 21). Puede afirmarse que la HRV aumenta cuando la HR es controlada principalmente por la actividad parasimpática. De manera contraria, cuando la HR es controlada por la actividad simpática, la HRV disminuye (22, 23, 24, 25). Podría pensarse que la inhibición parasimpática provocó la reducción progresiva observada en la HRV hasta que el índice SD1 alcanzara aproximadamente 3 ms. Así, el umbral de HRV podría indicar la inhibición de la regulación parasimpática; y a partir de este punto la HR sería controlada principalmente por la actividad simpática.

En el presente estudio, los valores de la HRV para las etapas submáximas fueron mayores luego del entrenamiento (post-entrenamiento) que antes del entrenamiento (pre-entrenamiento) en el grupo T lo que sugiere que el entrenamiento intervalado de alta intensidad afecta la regulación autonómica y retrasa la activación simpática.

Algunos estudios también demostraron que el entrenamiento aeróbico aumenta la carga de trabajo del umbral de lactato y del umbral ventilatorio. Por ejemplo, Lucía et al. (26), en un estudio realizado con ciclistas bien entrenados, observaron que la carga de trabajo correspondiente a los umbrales de lactato y ventilatorio se incrementó significativamente durante períodos de entrenamiento prolongados. Laursen et al. (27) también observaron que el entrenamiento intervalado de alta intensidad de 4 semanas tenía efecto sobre el umbral ventilatorio. Sobre la base de los cambios observados en el umbral de lactato y ventilatorio, es razonable pensar que también pueden ocurrir cambios similares en el umbral de HRV. Se supone que en ejercicios realizados por encima del umbral de HRV hay un aumento desproporcionado en las concentraciones de catecolaminas plasmáticas, lo que se asociaría con un aumento en la degradación de glucógeno muscular y en la concentración de lactato en sangre (28, 29).

La curva de HRV post-entrenamiento demostró que el umbral de HRV se desplazó hacia la derecha y hacia arriba (grupo T: $95,3 \pm 21,9$ W vs. $130,1 \pm 31,7$ W, $p=0,05$), es posible que el entrenamiento intervalado de alta intensidad retarde la liberación de catecolaminas lo que produciría una demora en la acumulación de lactato en sangre. Sin embargo, esta

hipótesis debe ser evaluada en el futuro.

En los trabajos de investigación disponibles en la bibliografía, se sugiere que el entrenamiento aumenta significativamente la HRV en las etapas submáximas (5, 6, 11). Por ejemplo, Carter et al. (5) investigaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento aeróbico sobre la regulación de autonómica. Los autores observaron que la HRV aumentó durante el reposo y el ejercicio de intensidad submáxima, mientras que la HR máxima disminuyó. Hautala (11) demostró que el entrenamiento aeróbico realizado a una intensidad equivalente al 70-80% de la HR máxima durante 8-semanas provocó un aumento significativo en la modulación parasimpática durante la realización de ejercicios de intensidad submáxima. Tulppo et al (6) obtuvieron evidencia indirecta del efecto del nivel de entrenamiento sobre la HRV durante la realización de ejercicios de intensidad submáxima, ya que observaron una disminución en la modulación parasimpática (disminución en el índice SD1) en individuos con aptitud física aeróbica deficiente, (es decir, VO_2 máx. $<37 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), en comparación con grupos que poseían una potencia aeróbica más alta. Estos resultados apoyan la teoría que indica que el HRV en las etapas submáximas aumenta potencialmente con el entrenamiento y puede desplazar hacia la derecha al punto donde el índice SD1 se hace ≤ 3 ms. Por consiguiente, este estudio demuestra que la modulación cardiovascular autonómica presentó adaptaciones positivas en respuesta a un período de entrenamiento de corto plazo con sesiones de alta intensidad.

Las adaptaciones de la frecuencia cardíaca inducidas por el entrenamiento fueron probablemente afectadas por cambios nerviosos y funcionales (30, 31, 32, 33).

Es necesario destacar que el entrenamiento no alteró la HR máxima durante el test incremental. Estos resultados no concuerdan con los resultados obtenidos por Tulppo et al. (6), quienes observaron reducciones significativas en la HR máxima luego de 8 semanas de entrenamiento al 70-80% de la HR máxima. Los autores atribuyeron estas modificaciones al aumento en el componente de alta frecuencia (actividad vagal) y a la disminución en el componente de baja frecuencia (tono simpático y parasimpático) de los índices del análisis espectral.

Sin embargo, en el presente estudio, la respuesta de la HR submáxima luego del entrenamiento (post-entrenamiento) fue más baja que la observada antes del entrenamiento (pre-entrenamiento) y podría estar asociada con un aumento en la actividad parasimpática y/o una disminución de la actividad simpática. Es posible que las 3 semanas de entrenamiento no hayan sido suficientes para disminuir la HR máxima.

Aunque la HR submáxima disminuyó debido al entrenamiento intervalado de alta intensidad, no se observó ningún efecto en la HR en el umbral de HRV. Este resultado concuerda con los resultados obtenidos por Lucía et al. (26), quienes no observaron ninguna alteración en la HR ni en el umbral del lactato y ni umbral ventilatorio a lo largo de los períodos de entrenamiento, a pesar de la mayor carga de trabajo en las intensidades de los umbrales.

Por lo tanto, se sugiere que la HR en el umbral de HRV podría ser considerada un parámetro del entrenamiento que no es posible modificar.

No se descarta que también se produjeran cambios morfológicos y funcionales que contribuyeran con la disminución de la HR. Está ampliamente aceptado que el entrenamiento induce adaptaciones en el volumen plasmático (30, 31), volumen sistólico (32), y el diámetro ventricular izquierdo al finalizar la diástole (33, 34). Yamamoto et al. (33) observaron una reducción significativa en la HR en reposo hasta el día 28 del entrenamiento. Esto estaba asociado con un aumento significativo en la regulación parasimpático, mientras que los cambios en el diámetro ventricular izquierdo al finalizar la diástole sólo se observaron entre los días 28 y 42 del entrenamiento. Laursen et al. (27) tampoco observaron cambios en el volumen plasmático con 4 semanas de entrenamiento intervalado de alta intensidad. Estos resultados sugerirían que el entrenamiento intervalado de alta intensidad proporciona un efecto significativo sobre la regulación autonómica de la HR en las etapas iniciales del entrenamiento, mientras que los cambios morfológicos y funcionales provocan un efecto más marcado en las últimas etapas.

No se observaron diferencias en la carga de trabajo máxima durante el test incremental entre ninguna de las pruebas, lo que sugiere que el entrenamiento intervalado de alta intensidad de 3 semanas no tiene efectos sobre ésta variable. Es importante recalcar que el umbral de HRV, en el presente estudio, aumentó significativamente sólo en el grupo T cuando fue expresado en términos absolutos y relativos. Estos resultados sugieren que el entrenamiento intervalado de alta intensidad realizado durante 3 semanas puede ejercer efectos principalmente sobre las variables submáximas, es decir, el

umbral de HRV. Por lo tanto, el cambio en la carga de trabajo máxima probablemente sólo sería detectable durante un tiempo de entrenamiento más prolongado.

Conclusiones

En conclusión, el presente estudio demuestra que el entrenamiento intervalado de alta intensidad de 3 semanas provoca un aumento significativo en la carga de trabajo en el umbral de HRV. Debido a que la curva de HRV en función de la tasa de trabajo se desplazó hacia la derecha y arriba, se sugiere que el entrenamiento intervalado de alta intensidad de 3 semanas provoca una demora en la inhibición parasimpática durante el ejercicio incremental. Se ha propuesto que un aumento en la actividad parasimpática podría tener un efecto cardioprotector (6, 35), y que el ejercicio por encima del nivel de inhibición parasimpática podría conducir a una mayor vulnerabilidad cardíaca (14). Este estudio apoya la teoría que el entrenamiento intervalado de alta intensidad podría ser utilizado para aumentar la modulación parasimpática de la HR y podría demorar la transición desde el dominio parasimpático al simpático. Así, el umbral de HRV es probablemente un parámetro que puede ser aplicado para evaluar la capacidad aeróbica, específicamente para intervenciones de entrenamiento.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Cesar Adornato de Aguiar y Andreo Fernando Aguiar por sus aportes en el desarrollo de esta investigación y también al Dr. Gleber Pereira por su ayuda.

REFERENCIAS

1. Wahlund J (1948). Determination of physical working capacity. *Acta Med Scand Suppl.*; 215:1-78
2. Ekblom B, Astrand P. O., Saltin B., Stenberg J., Wallstrom B (1968). Effect of training on circulatory response to exercise. *J Appl Physiol*; 24: 518-528
3. Linnarsson D (1974). Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol Scand.*; 415: 1-68
4. Carter J. B., Banister E. W., Blader A. P (2003). The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Med Sci Sport Exer*; 35 (8):1333 -1340
5. Malliani A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S (1991). Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*; 84: 482-492
6. Bootsma M., Swenne C. A., Van Bolhuis H. H., Chang P. C., Cats V. M., Brusckhe A. V (1994). Heart rate and heart rate variability as indexes of sympathovagal balance. *Am J Physiol (Heart Circ. Physiol.)*; 266: H1565-H1571
7. 9. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*; 93: 1043 □ 1065
8. Stauss H. M (2003). Heart rate variability. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*; 285: R927□R931
9. Hautala A (2004). Effect of physical exercise on autonomic regulation of heart rate. *Academic Dissertation (Faculty of Medicine) - University of Oulu, Finland, 76p*
10. Fronchetti L., Nakamura F. Y., Aguiar C. A., De-Oliveira F. R (2006). Indicadores de regulação autonômica cardíaca em repouso e durante exercício progressivo - Aplicação do limiar de variabilidade de frequência cardíaca. *Rev Port Cien Desporto*; 6 (1): 21 □ 28
11. Mourot L., Bouhaddi M., Perrey S., Rouillon J. D., Regnard J (2004). Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol*; 91: 79□87
12. Lima J. R. P (1997). Heart rate in graded exercise: sigmoidal fit, inflection point and heart rate variability threshold. *Doctoral Thesis, University of São Paulo, São Paulo. 1-129. (In Portuguese: English abstract)*
13. Lima J. R. P., Kiss M. A. P. D (1998). Heart variability threshold. *Med Sci Sport Exer (Suppl.)* 1998; 30: S250
14. Nakamura F. Y., Aguiar C. A., Fronchetti L., Aguiar A. F., Perroux de Lima J. R (2005). Alteração do limiar de variabilidade da frequência cardíaca após treinamento aeróbico de curto prazo. *Motriz (UNESP)*; 11 (1):1-10
15. Maciel B. C., Gallo L., Marin Neto J. A., Lima Filho E. C., Martins L. E. B (1986). Autonomic nervous control of the heart rate during dynamic exercise in normal man. *Clin Sci*; 71: 457- 460
16. Lee C. M., Wood R. H., Welsch M. A (2003). Influence of short-term endurance exercise training on heart rate variability. *Med Sci Sport Exer*; 35 (6): 961-969
17. Nakamura Y., Yamamoto Y., Muraoka I (1993). Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. *J Appl Physiol*; 74 (2): 875 □ 881
18. Laursen P. B., Shing C. M., Peake J. M., Coombes J. S., Jenkins D. G (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Research*; 19 (3): 527-533
19. Mazzeo R. S., Marshal P (1989). Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol*; 67: 1319 -1322

20. Urhausen A., Weiler B., Coen B., Kindermann W (1994). Plasma catecholamines during endurance exercise of different intensities as related to the individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol*; 69: 16-20
21. Roy B. D., Green H. J., Grant S. M., Tarnopolsky M. A (2000). Acute plasma volume expansion alters cardiovascular but not thermal function during moderate intensity prolonged exercise. *Can J Physiol Pharmacol*; 78: 244-250
22. Sawka M. N., Convertino V. A., Eichner E. R., Schnieder S. M., Young A. J (2000). Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and traumas/sickness. *Med Sci Sport Exer*; 32 (2): 332-348
23. Mier C. M., Turner M. J., Ehsani A. A., Spina R. J (1997). Cardiovascular adaptations to 10 days of cycle exercise. *J Appl Physiol*; 83 (6): 1900 - 1906
24. Yamamoto K., Miyachi M., Saitoh T., Yoshioka A., Onodera S (2001). Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Med Sci Sport Exer*; 33 (9):1496 - 1502
25. Goodman J. M., Peter P. L., Howard J. G (2005). Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *J Appl Physiol*; 98: 454-460
26. Hull S. S. Jr., Vanoli E., Adamson P. B., Verrier R. L., Foreman R. D., Schwartz P. J (1994). Exercise training confers anticipatory protection from sudden death during acute myocardial ischemia. *Circulation*; 89: 548-552

Cita Original

Fronchetti L, Nakamura FY, De-Oliveira FR, Lima-Silva AE, Lima JRP. Effects of high-intensity interval training on heart rate variability during exercise. *JEPonline*; 10 (4): 1-9, 2007.