



Original

## Respuesta del balance simpático-parasimpático de la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante una semana de entrenamiento aeróbico en ciclistas de ruta



G. Rosales-Soto<sup>a,\*</sup>, R. Corsini-Pino<sup>b</sup>, M. Monsálves-Álvarez<sup>c</sup> y R. Yáñez-Sepúlveda<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias de la Actividad Física, Universidad San Sebastián, Lota, Santiago, Chile

<sup>b</sup> Área Médica, Asociación Chilena de Seguridad - ACHS, Valparaíso, Chile

<sup>c</sup> Escuela de Salud, Instituto Profesional Duoc UC, Santiago, Chile

<sup>d</sup> Facultad de Filosofía y Educación, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 13 de octubre de 2014

Aceptado el 7 de julio de 2015

On-line el 6 de septiembre de 2016

#### Palabras clave:

Variabilidad del ritmo cardíaco

Balance autonómico

Entrenamiento

Recuperación

### R E S U M E N

**Objetivo:** Describir la respuesta del balance simpático-parasimpático después una semana de entrenamiento de volumen aeróbico en ciclistas de ruta.

**Métodos:** El estudio fue basado en un diseño transversal no experimental. Una muestra no aleatoria de cinco ciclistas hombres. Todos participan en la categoría «Todo Competidor» del circuito nacional ( $27.0 \pm 1.9$  años,  $170.0 \pm 6.6$  cm,  $66.0 \pm 4.3$  kg). Los sujetos fueron evaluados durante seis días con un entrenamiento aeróbico ( $108.4 \pm 49.5$  km por día). Cada día se les midió el balance autonómico a través del cociente baja frecuencia/alta frecuencia, en reposo e inmediatamente posterior al entrenamiento.

**Resultados:** Los valores del intervalo RR ( $1205.9 \pm 35.2$ – $993.7 \pm 61.2$  basal y postentrenamiento respectivamente) muestran diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). Los valores del cociente baja frecuencia/alta frecuencia ( $0.861 \pm 0.090$ – $3.067 \pm 0.590$  basal y postentrenamiento respectivamente) reflejan que existe una activación del balance autonómico inmediatamente terminado el entrenamiento ( $p < 0.05$ ). La potencia de la HF del balance autonómico ( $2567 \pm 697$ – $926 \pm 367$  basal y postentrenamiento respectivamente) refleja una disminución significativa apenas termina el entrenamiento y comienza la recuperación ( $p < 0.05$ ).

**Conclusiones:** Los resultados de este estudio muestran un aumento significativo en la respuesta del balance autonómico del cociente baja frecuencia/alta frecuencia posterior al entrenamiento. Además, una disminución significativa de la potencia de la banda de alta frecuencia durante la recuperación que puede implicar aumento de la actividad de la respuesta parasimpática. Estos cambios podrían ayudar al control y diseño de programas de entrenamiento de forma individualizada para el ciclismo en ruta, además de ser una herramienta barata y no invasiva.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Response of the sympathetic-parasympathetic balance of the Heart Rate Variability during a week of aerobic training in road cyclists

#### A B S T R A C T

**Objective:** To describe the response of the sympathetic-parasympathetic balance after a week of aerobic training volume in road cyclists.

**Methods:** The study was based on a non experimental transectional design. A non-random sample of five cyclists men. All participates in category “All competitors” of the national circuit ( $27.0 \pm 1.9$  years,  $170.0 \pm 6.6$  cm,  $66.0 \pm 4.3$  kg). Subjects were evaluated for six days with aerobic training ( $108.4 \pm 49.5$  km per day). Each day the autonomic balance through the ratio LF/HF was measured, at rest and immediately after training.

#### Keywords:

Heart rate variability

Autonomic balance

Training

Recovery

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [grsales@ug.uchile.cl](mailto:grsales@ug.uchile.cl) (G. Rosales-Soto).

**Results:** Mean values of RR ( $1205.9 \pm 35.2$  to  $993.7 \pm 61.2$  at baseline and post-training respectively) interval show significant difference ( $p < 0.05$ ). The values of the ratio Low Frequency/High Frequency ( $0.861 \pm 0.090$  to  $3.067 \pm 0.59$  at baseline and post-training respectively) show that there is an activation of the autonomic balance immediately completed the training ( $p < 0.05$ ). The High Frequency power of autonomic balance ( $2567 \pm 697$  to  $926 \pm 367$  at baseline and post-training respectively), shows a significant decline straight after training and start recovery ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions:** The results of this study show a significant increase in the response of the autonomic balance of the ratio Low Frequency/High Frequency after training. Furthermore, a significant decrease in power of the High Frequency band during recovery may involve and increased activity of the parasympathetic response. These changes can help to the control and design of individual training programs for road cycling as well as being an inexpensive and non-invasive tool.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Resposta do balanço simpático-parassimpático da variabilidade de frequência cardíaca durante uma semana de treino aeróbico em ciclistas de estrada

### R E S U M O

#### Palavras-chave:

Variabilidade de frequência cardíaca  
Balanço autonómico  
Treino  
Recuperação

**Objetivo:** Descrever a resposta do balanço simpático-parassimpático após uma semana de treino de volume aeróbico em ciclistas de estrada.

**Métodos:** O estudo foi baseado num design não experimental. Amostra não-aleatória de cinco homens ciclistas. Todos participam na categoria «Todos os competidores» do circuito nacional ( $27 \pm 1.9$  anos,  $170 \pm 6.6$  cm,  $66 \pm 4.3$  kg). Os indivíduos foram avaliados por seis dias com o treino de resistência ( $108.4 \pm 49.5$  km por dia). Cada dia era medido o balanço autonómico através da razão baixa frequência/alta frequência, em repouso e imediatamente após o treino.

**Resultados:** Os valores do intervalo RR ( $1205.9 \pm 35.2$  para  $993.7 \pm 61.2$  para o início do estudo e o pós-treino, respetivamente) mostram diferença significativa ( $p < 0.05$ ). Os valores da razão baixa frequência/alta frequência ( $0.861 \pm 0.09 - 3.067 \pm 0.59$  para o início do estudo e 0 pós-treino, respetivamente) mostram que existe uma ativação do balanço autonómico imediatamente após o treino ( $p < 0.05$ ). A potência alta frequência do balanço autonómico ( $2.567 \pm 697 - 926 \pm 367$  no início do estudo e pós-treino, respetivamente), reflete uma diminuição significativa logo após o treinamento e o início da recuperação ( $p < 0.05$ ).

**Conclusões:** Os resultados deste estudo mostraram um aumento significativo na resposta do balanço autonómico da relação baixa frequência/alta frequência após o treino. Por outro lado, uma diminuição significativa na potência banda de alta frequência durante a recuperação pode envolver o aumento da atividade da resposta parassimpática. Essas mudanças poderiam ajudar a controlar e desenhar os programas de treino individualmente para ciclismo de estrada, além de ser uma ferramenta barata e não invasiva.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

Hoy en día, la variabilidad del ritmo cardiaco (HRV) ha sido una herramienta para poder evaluar el papel del sistema nervioso autónomo (SNA) en temas relacionados con la salud<sup>1</sup> y el entrenamiento<sup>2</sup>. El estado del SNA en relación con el entrenamiento físico también depende de la fatiga física acumulada debido al aumento en las cargas de entrenamiento<sup>3</sup>, y por esta razón el análisis de la HRV parece ser una herramienta apropiada para la mejora del rendimiento, evitando estados de fatiga excesiva o sobreentrenamiento<sup>4,5</sup> y puede ayudar a orientarnos en estrategias de planificación de programas para los atletas de una manera más precisa<sup>6</sup>.

Además del volumen y la carga de entrenamiento, se ha demostrado que el esfuerzo físico acumulado y la intensidad del mismo en ciclistas de ruta, provoca un aumento significativo en la HRV durante el ejercicio, y a su vez en la modulación vagal cardiaca en reposo, lo que refleja una disminución en el balance autonómico en posición decúbico supino<sup>7-9</sup>. Es por esto que algunos autores utilizan la HRV para determinar las variaciones en la intensidad de trabajo<sup>8,10,11</sup>.

Los cambios en la actividad cardíaca que utilizan la HRV como medida no invasiva del control autonómico, pueden determinar un aumento de la actividad del sistema nervioso parasimpático (SNP) y una disminución de la actividad del sistema nervioso simpático (SNS)<sup>12</sup>, además usan especialmente componentes de frecuencia: baja frecuencia (LF) 0.041-0.150 Hz, que refleja modulaciones en el SNS y SNP, y alta frecuencia (HF) 0.15-0.40 Hz, que refleja exclusivamente al SNP<sup>13</sup>.

Los componentes de frecuencia HF han sido considerados como el principal responsable de la actividad eferente parasimpática<sup>2</sup> y muestran que, durante la recuperación, la actividad parasimpática disminuye progresivamente hasta alcanzar los niveles del umbral ventilatorio<sup>14</sup>.

El presente estudio pretende describir el balance simpático-parasimpático con un entrenamiento aeróbico en ciclistas de ruta, medidos a través del cociente LF/HF durante una semana con volúmenes de entrenamiento de unos 100 km por día. Nuestra hipótesis es que volúmenes de entrenamiento aeróbico muestran un aumento en el balance simpático-parasimpático y a su vez un aumento en la actividad parasimpática al momento de la recuperación.

## Método

El estudio fue basado en una metodología cuantitativa con un diseño no experimental, descriptivo transversal. La unidad de análisis fue una muestra no aleatoria que consistió en un equipo de ciclismo de ruta, que ha participado con éxito en vueltas como: el Tour de San Luis, la Vuelta a Bolivia y la Vuelta a Chile.

## Sujetos

Fueron reclutados cinco sujetos hombres, edad  $27.0 \pm 1.9$  años, estatura  $170.0 \pm 6.6$  cm, y un peso de  $66.0 \pm 4.3$  kg, pertenecientes a un equipo de ciclismo de ruta y participantes de la categoría «Todo Competidor» del Circuito Nacional.

Todos los sujetos realizaron al menos  $\sim 600$  km semanales y no tomaban ningún tipo de medicamento ni ayuda ergogénica durante la semana que duró el estudio. Los sujetos firmaron un consentimiento informado y el estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad San Sebastián, además de estar en conformidad a los principios de la Declaración de Helsinki.

## Procedimientos

Los sujetos fueron evaluados durante seis días consecutivos en los que tenían un entrenamiento aeróbico que consistía en recorrer  $108.4 \pm 49.5$  km por día. Durante cada día se les midió el balance autonómico a través del cociente LF/HF de las bandas espectrales, en reposo e inmediatamente posterior al entrenamiento y fueron enlistados los días del uno al seis.

La HRV fue obtenida desde el análisis espectral del intervalo RR a través de un monitor cardíaco Polar S810i (Kempele, Finlandia). Los datos basales fueron tomados durante los seis días en la mañana apenas se despertaban. Los sujetos fueron evaluados en posición supina durante diez minutos<sup>15,16</sup> en un ambiente tranquilo y con el estómago vacío, también se evaluaron inmediatamente al terminar cada sesión de entrenamiento, en las mismas condiciones que en la determinación basal. El intervalo RR se grabó con una frecuencia de 1 kHz. Una vez que los datos fueron obtenidos, se filtraron a través del programa Polar Training (Kempele, Finlandia), considerándose 500 latidos posterior a los primeros 60 segundos tomados con el monitor cardíaco Polar S810i.

Los datos fueron registrados, filtrados y visualizados a través del programa Kubios HRV program - Software for Advanced Heart Rate Variability Analysis (University of Eastern, Finlandia)<sup>17</sup> y se determinó el cociente LF/HF del balance autonómico, considerando las variaciones de las distintas bandas espectrales y de acuerdo con las de la Task Force identificando las bandas LF (0.04-0.15 Hz) y HF (0.15-0.4 Hz)<sup>13,18</sup>.

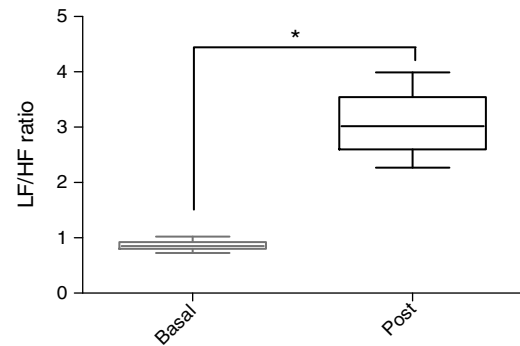
## Análisis estadístico

Los datos son presentados como medias  $\pm$  SD. Se aplicó test Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos en todas las variables. Se utilizó test de Wilcoxon para comparar los valores basales con los posteriores al entrenamiento entre cada sesión. Y se usó test de Friedman para comparar los valores de medias repetidas entre valores basales y posteriores al entrenamiento durante la semana de entrenamiento.

El nivel de significación fue  $p < 0.05$  y el análisis estadístico fue realizado usando el software Graphpad Prism version 6 (La Jolla, California, EE. UU.).

## Resultados

La media de los valores del intervalo RR ( $1205.9 \pm 35.2$ – $993.7 \pm 61.2$  basal y postentrenamiento respectivamente)



**Figura 1.** Media de los valores del cociente LF/HF tomados de forma basal e inmediatamente postentrenamiento durante una semana de alto volumen de entrenamiento  $\sim 600$  km. Nota: \*Diferencia significativa  $p < 0.05$ .

muestran una disminución significativa posterior al entrenamiento ( $p < 0.05$ ).

Mientras que la media de los valores del cociente LF/HF ( $0.861 \pm 0.090$ – $3.067 \pm 0.590$  basal y postentrenamiento respectivamente) reflejan que existe una activación del balance autonómico inmediatamente terminado el entrenamiento ( $p < 0.05$ ) (fig. 1), Perini et al. han encontrado que durante la recuperación el cociente LF/HF tiende a volver a los valores basales, excepto cuando se realizan ejercicios de alta intensidad cercanos al 80% del  $VO_2\text{máx}$ <sup>19</sup>.

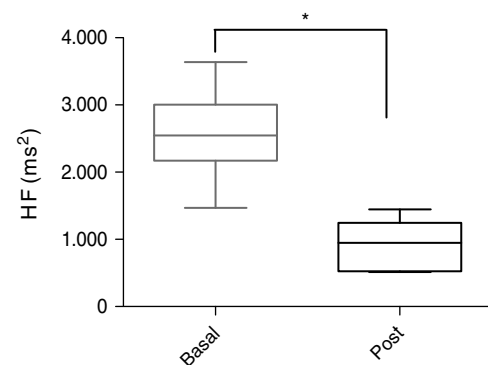
La potencia de la HF del balance autonómico ( $2567 \pm 697$ – $926 \pm 367$  basal y postentrenamiento respectivamente) refleja una disminución significativa apenas termina el entrenamiento y comienza la recuperación ( $p < 0.05$ ) (fig. 2). Esta disminución fue un 64% más baja que los valores basales.

La figura 3 muestra los valores individuales del cociente LF/HF, donde no se aprecia un patrón común entre sujetos. Esto nos podría dar una idea del carácter de individualidad que requiere el entrenamiento.

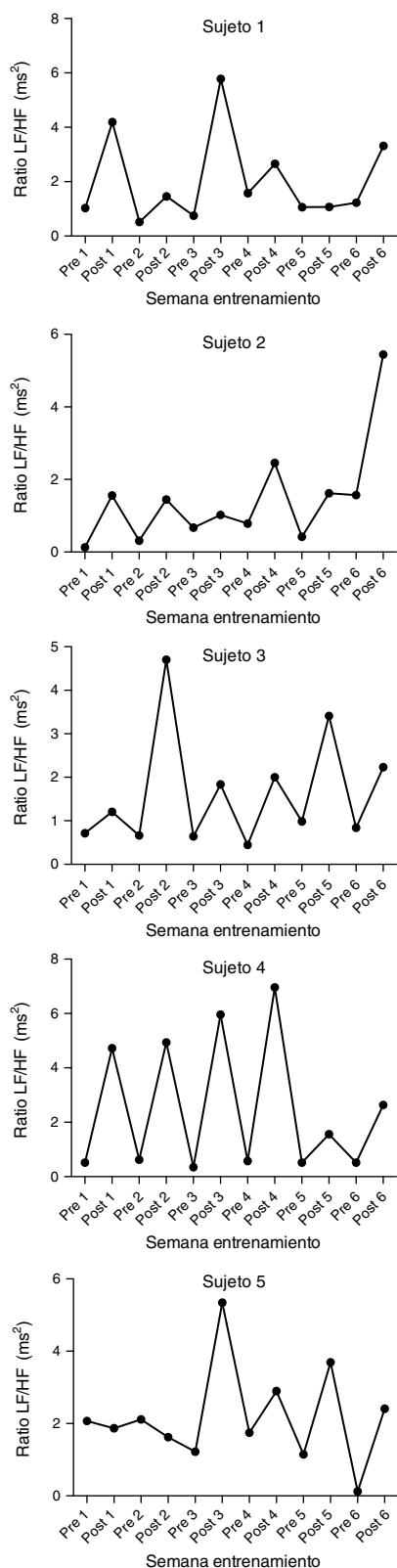
## Discusión

Dentro de los principales hallazgos encontrados en el estudio se muestra una activación del balance autonómico posterior al ejercicio y una diferencia significativa de la banda HF inmediatamente terminado el entrenamiento.

Catai et al. observaron que las mayores alteraciones en HRV debido al trabajo de predominio aeróbico tienen relación directa con sus respuestas en función de la magnitud de los estímulos de entrenamiento<sup>20</sup>. Sucesivamente Kiviniemi et al. propusieron el



**Figura 2.** Media de los valores de la banda espectral HF tomados de forma basal e inmediatamente postentrenamiento durante una semana de alto volumen de entrenamiento  $\sim 600$  km. Nota: \*Diferencia significativa  $p < 0.05$  (HF: banda espectral de alta frecuencia).



**Figura 3.** Valores individuales del ratio LF/HF: si bien puede apreciarse que el estímulo genera respuestas individuales en los sujetos, coinciden en una tendencia al aumento de la actividad del ratio LF/HF durante el día 3 posterior al entrenamiento.

uso de marcadores de la HRV diarias para mejorar el entrenamiento de resistencia<sup>21</sup>.

Algunos estudios indican que existe una relación dosis-respuesta entre la carga de entrenamiento individualizado y los parámetros funcionales de la HRV, lo que sugiere que las

adaptaciones podrían predecirse de forma individual en la práctica de ejercicio máximo y podrían dar cabida a programas para los atletas de resistencia de mejora del rendimiento<sup>22,23</sup>. Esto concuerda con lo observado en nuestros resultados, donde se aprecia que inmediatamente posterior al entrenamiento hay un aumento significativo del cociente LF/HF.

Chalecon et al. proponen una alta correspondencia entre los niveles de rendimiento y los índices de la actividad parasimpática en respuesta al entrenamiento. Este ajuste del modelo es muy individual y proporciona un medio para describir con precisión el desplazamiento a lo largo de estas curvas individuales en respuesta a los antagonistas de los períodos de entrenamiento y recuperación<sup>11</sup>. Que además, concuerda con lo propuesto por Earnest et al. respecto a los valores de carga intraindividual<sup>8</sup>.

Resultados publicados por Anosov et al., donde se centran sólo en el componente HF de la HRV, mostraron que la frecuencia instantánea del componente HF puede estar estrechamente vinculada a un trabajo más bien anaerobio y se reduce claramente ante el cese de la alta carga de trabajo<sup>24</sup>. Perini et al. coinciden con que la potencia de HF puede disminuir en un 5-10% durante la recuperación posterior al entrenamiento, también encontró que la media de los valores centrales de la frecuencia HF muestra una función relacionada con la intensidad del ejercicio, siendo un 40% más bajo que los valores basales cuando la intensidad del ejercicio es cercana al 80% del  $VO_2$ máx<sup>19</sup> o al 85% de la frecuencia cardíaca máxima<sup>20</sup>. Lo que coincide con nuestros resultados, que muestran una reducción significativa ( $p < 0.05$ ) de los valores de la potencia HF inmediatamente terminado el ejercicio, esta disminución alcanza un 64% más bajo que los niveles de reposo. Además, en reposo, la potencia de HF es mayor en ciclistas en comparación con sujetos sedentarios, de modo que sugieren una actividad parasimpática mejorada<sup>25</sup>.

Pichon et al.<sup>26</sup>, por su parte, indican que los mecanismos no autonómicos pueden influir en el cambio del pico HF durante el ejercicio intenso. La HRV y los índices habituales de la actividad simpática no reflejan con precisión los cambios en la modulación autonómica durante ejercicio exhaustivo.

Una de las principales dificultades en el uso de la HRV es examinar los cambios asociados con respuestas crónicas a grandes esfuerzos físicos y las respuestas individuales respecto al estímulo de entrenamiento que dependen de una variedad de mecanismos intraindividuales<sup>8</sup>. Esto concuerda con los resultados que pudimos observar de los valores individuales, donde no existe un patrón común respecto a los cocientes LF/HF de la HRV.

Nuestro estudio tiene varias limitaciones debido a la naturaleza de ser un estudio de campo. En primer lugar no hemos podido controlar la tasa de ventilación debido a las condiciones bajo las que entrena el grupo. En segundo lugar no teníamos grupo control con el que comparar los resultados. Mientras que los estudios muestran que hay cambios entre el control y la frecuencia respiratoria<sup>24,26,27</sup>, el grupo fue controlado a través de sus propios valores basales de la HRV, proporcionando una estimación indirecta del balance autonómico.

En conclusión, los resultados de este estudio muestran un aumento significativo en la respuesta del balance simpático-parasimpático, medidos a través del cociente LF/HF posterior al entrenamiento. Además, una disminución significativa de la potencia de la banda HF durante la recuperación puede implicar aumento de la actividad de la respuesta parasimpática. Estos cambios podrían ayudar al control y diseño de programas de entrenamiento de forma individualizada para el ciclismo de ruta, además de ser una herramienta barata y no invasiva. Investigaciones futuras podrían considerar las características individuales de los equipos de ciclismo de ruta (escalador, velocista, fondista) para la generación de programas y control de la carga de entrenamiento según las características de los ciclistas (ver [tabla 1](#)).

**Tabla 1**

Resultados de los parámetros estadísticos considerados de la variabilidad de la frecuencia cardíaca

Variable	Unidad	Valor		SD ±	
Edad	años	27.0		1.9	
Peso	kg	66.0		4.3	
Estatura	cm	170.0		6.6	
		Basal		Postentrenamiento	
Resultados dominios de tiempo		Valor	SD ±	Valor	SD ±
Mean RR	ms	1205.9	35.2	993.7*	61.2
SDNN	ms	107.6	11.8	75.7	19.3
RMSSD	ms	87.0	9.5	52.5	12.7
pNN50	%	50.4	5.6	27.2	10.0
Resultados dominios de frecuencia					
LF	ms <sup>2</sup>	2173	819	1292	109
HF	ms <sup>2</sup>	2567	697	926*	367
LF/HF	ms <sup>2</sup>	0.861	0.090	3.067*	0.590
Resultados nonlinear					
SD1	ms	61.7	6.8	37.2	9.0

\* Diferencias significativas basal-post entrenamiento;  $p < 0.05$ 

HF: banda de alta frecuencia; LF: banda de baja frecuencia; LF/HF: ratio LF/HF; Mean RR: promedio intervalo RR; pNN50: número de intervalos adyacentes que varían por más de 50 ms; RMSSD: cuadrado de la raíz media de la unión de los intervalos R-R; SD1: variabilidad de corto plazo; SDNN: desviación estándar de NN intervalos.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Agradecemos al equipo de ciclismo Full Runners por su participación desinteresada en este estudio.

## Bibliografía

- O'Brien IA, O'Hare P, Corral RJ. Heart rate variability in healthy subjects: Effect of age and the derivation of normal ranges for tests of autonomic function. *Br Heart J*. 1986;55:348–54.
- Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med*. 2003;33:889–919.
- Pichot V, Busso T, Roche F, Garet M, Costes F, Duverney D, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: A laboratory study. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:1660–6.
- Hynynen E, Uusitalo A, Kontinen N, Rusko H. Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:313–7.
- Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, et al. Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clin J Sport Med*. 2006;16:412–7.
- Pichot V, Roche F, Gaspoz JM, Enjolras F, Antoniadis A, Minini P, et al. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:1729–36.
- Leicht AS, Allen GD, Hoey AJ. Influence of intensive cycling training on heart rate variability during rest and exercise. *Can J Appl Physiol*. 2003;28:898–909.
- Earnest CP, Jurca R, Church TS, Chicharro JL, Hoyos J, Lucia A. Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *Br J Sports Med*. 2004;38:568–75.
- Barak OF, Jakovljevic DG, Popadic Gaceta JZ, Ovcin ZB, Brodie DA, Grujic NG. Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. *J Sports Sci Med*. 2010;9:176–82.
- Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:435–42.
- Chalencan S, Busso T, Lacour JR, Garet M, Pichot V, Connes P, et al. A model for the training effects in swimming demonstrates a strong relationship between parasympathetic activity, performance and index of fatigue. *PLoS One*. 2012;7:e52636.
- Pober DM, Braun B, Freedson PS. Effects of a single bout of exercise on resting heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36:1140–8.
- Malik M, Bigger T, Camm AJ, Kleiger RE, Malliani A, Moss AJ, et al. 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. *Eur Heart J*. 1996;17:354–81.
- Tulppo MP, Mäkkikallio TH, Takala TE, Seppänen T, Huikuri HV. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol*. 1996;271(1 Pt2):244–52.
- Buchheit M, Al Haddad H, Laursen PB, Ahmadi S. Effect of body posture on post-exercise parasympathetic reactivation in men. *Exp Physiol*. 2009;94:795–804.
- Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:887–93.
- Tarvainen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. Kubios HRV - A software for advanced heart rate variability analysis. 4<sup>th</sup> European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering. 2008. Springer Berlin Heidelberg: Antwerp; 2009. p. 1022–5.
- Malik M, Bigger T, Camm AJ, Kleiger RE, Malliani A, Moss AJ, et al. 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. *Eur Heart J*. 1996;17:354–81.
- Perini R, Orizio C, Baselli G, Cerutti S, Veicsteinas A. The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;61:143–8.
- Catai AM, Chacon-Mikahil MP, Martinelli FS, Forti VA, Silva E, Golfetti R, et al. Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men. *Braz J Med Biol Res*. 2002;35:741–52.
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Tulppo MP. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101:743–51.
- Hautala AJ, Mäkkikallio TH, Kiviniemi A, Laukkanen RT, Nissilä S, Huikuri HV, et al. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2003;285:1747–52.
- Manzi V, Castagna C, Padua E, Lombardo M, D'Ottavio S, Massaro M, et al. Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2009;296:1733–40.
- Anosov O, Patzak A, Kononovich Y, Persson PB. High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol*. 2000;83:388–94.
- Macor F, Fagard R, Amery A. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: Comparison between cyclists and controls. *Int J Sports Med*. 1996;17:175–81.
- Pichon AP, de Bisschop C, Roulaud M, Denjean A, Papelier Y. Spectral analysis of heart rate variability during exercise in trained subjects. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36:1702–8.
- Saboul D, Pialoux V, Hautier C. The impact of breathing on HRV measurements: Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *Eur J Sport Sci*. 2013;13:534–42.