



Variabilidad de la frecuencia cardiaca: evaluación del entrenamiento deportivo. Revisión de tema

Heart rate variability: sports training evaluation. Theme review

Javier Porras-Alvarez¹, María Olinda Bernal-Calderón²

Tipología: Artículo de revisión

Para citar este artículo: Porras-Alvarez J, Bernal-Calderón MO. Variabilidad de la frecuencia cardiaca: evaluación del entrenamiento deportivo. Revisión de tema. Duazary. 2019 mayo; 16(2): 259-269. Doi: <https://doi.org/10.21676/2389783X.2750>

Recibido en enero 30 de 2018

Aceptado en diciembre 19 de 2018

Publicado en línea en febrero 15 de 2019

RESUMEN

La variabilidad de la frecuencia cardiaca es un método no invasivo para evaluar la respuesta del sistema nervioso autónomo sobre el sistema cardiovascular; evalúa la capacidad de recuperación del sistema cardiovascular como respuesta al ejercicio físico. El análisis de los índices de la variabilidad de la frecuencia cardiaca refleja la respuesta autonómica cardiovascular a las diferentes cargas de entrenamiento. Esta revisión temática muestra las conclusiones y los protocolos de evaluación utilizados para controlar y evaluar el entrenamiento en atletas. La variabilidad de la frecuencia cardiaca fue analizada por los métodos de dominio tiempo y frecuencia. La búsqueda se realizó en las bases de datos de SCOPUS, PubMed y el motor de búsqueda Google Académico, utilizando las palabras clave “heart rate variability”, “athletes” y “cardiac autonomic modulations”. Los artículos seleccionados tuvieron como población objeto de estudio atletas de nivel competitivo de diferentes deportes. En conclusión, La evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca permite determinar la adaptación o inadaptación a las cargas de entrenamiento, programar el volumen y la intensidad adecuada de la carga de entrenamiento, supervisar el rendimiento a lo largo de los periodos de entrenamiento y monitorear el estado de forma deportiva durante los campeonatos en todos los deportes.

Palabras clave: atleta; ejercicio; sistema nervioso autónomo; sistema cardiovascular.

1. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. Correo: porrasalvarez@gmail.com; javier.porras@uptc.edu.co - <http://orcid.org/0000-0001-5817-7982>

2. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. Correo: mariaolinda.bernal@gmail.com; mariaolinda.bernal@uptc.edu.co - <http://orcid.org/0000-00001-8929-7530>

ABSTRACT

The heart rate variability is a non-invasive method to evaluate the response of the autonomic nervous system on the cardiovascular system; it assesses the recovery capacity of the cardiovascular system in response to physical exercise. The analysis of heart rate variability indices reflects the autonomic response to the different training loads. This thematic review shows the conclusions and evaluation protocols used to control and evaluate athletic training. The heart rate variability was analyzed by the time and frequency domain methods. The search was made in the databases of SCOPUS, PubMed and the Google Scholar search engine, using the keywords “heart rate variability”, “athletes” and “cardiac autonomic modulations”. The selected articles had as their target population athletes of competitive level of different sports. In conclusion, the evaluation of heart rate variability allows to determine the adaptation or non-adaptation to the training loads, to programme the appropriate volume and intensity of the training load, to supervise the performance throughout the training periods and monitor the performance sports during the championships.

Keywords: Athlete; Autonomic Nervous System; Exercise; Cardiovascular System.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es la variación en tiempo (milisegundos) entre latido y latido cardiaco; refleja la respuesta del sistema nervioso autónomo (SNA) sobre el sistema cardiovascular. Por ejemplo, cuando se hace ejercicio aumentan los latidos cardiacos por minuto, esto es debido a la acción de la noradrenalina liberada por la estimulación de los nervios simpáticos que inervan de forma abundante el corazón y los vasos sanguíneos. Así mismo, cuando termina el ejercicio, los latidos cardiacos por minuto disminuyen, esto es debido a la acción de la acetilcolina liberada por los nervios parasimpáticos que inervan sobre todo las aurículas del corazón. Esta es la forma como interactúan los nervios simpáticos y parasimpáticos del SNA para controlar y regular el sistema cardiovascular, interacción que ocurre durante todo el día, haciendo que el tiempo transcurrido entre latido y latido cardiaco varíe constantemente, variación que se conoce como VFC. Por tanto, la VFC refleja las respuestas y adaptaciones del SNA¹⁻⁵.

La VFC se puede medir antes, durante y después del entrenamiento, o durante competiciones

deportivas, gracias a la facilidad de los monitores cardiacos para ser ajustados al cuerpo de los atletas. Uno de estos monitores es Polar RS800cx⁶ (o posteriores versiones), el cual mide el tiempo entre latidos cardiacos; estos tiempos (milisegundos) se analizan mediante el *software* “Kubios HRV” (entre otros). Este *software* muestra los resultados por los métodos de dominio tiempo y frecuencia utilizando los modelos matemáticos de la transformada rápida de Fourier (TRF) y modelo autorregresivo (AR).

Los métodos más conocidos y difundidos hasta ahora para analizar la VFC son los métodos de dominio tiempo y dominio frecuencia, cuyos parámetros e índices y unidades de medida tanto para uso clínico como para interpretación fisiológica fueron establecidos en 1996 por la Task Force^{5,7}.

Los índices asociados con actividad parasimpática en el método de dominio tiempo son: Raíz cuadrada del valor medio de las sumas de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR (RMSSD), porcentaje del total de los intervalos RR consecutivos que discrepan en más de 50 milisegundos entre sí (pNN50) y desviación estándar de todos los intervalos R-R norma es

(STD RR), este último refleja la variabilidad total³ (Tabla 1).

El índice que evalúa la actividad parasimpática en el método de dominio frecuencia son las altas frecuencias expresada en hercios (HF por sus siglas en inglés)³. La actividad parasimpática es un indicador de la recuperación o intensidad del entrenamiento, asociado a un buen rendimiento atlético⁸ (Tabla 2).

Los índices que evalúan actividad simpática en el método de dominio frecuencia son las bajas frecuencias (LF por sus siglas en inglés), aunque este índice refleja tanto la actividad simpática como parasimpática.

La relación de bajas y altas frecuencias (LF/HF por sus siglas en inglés) es un indicativo de mala adaptación a las cargas de entrenamiento si su valor es elevado, cuando se evalúa en reposo y recuperación, reflejando el equilibrio autonómico⁹.

Las muy bajas frecuencias (VLF por sus siglas en inglés) no están asociadas a la respuesta autonómica cardiovascular¹⁰. Los índices o parámetros de dominio frecuencia se muestran en la Tabla 2.

Los resultados de la VFC pueden variar de acuerdo con el protocolo utilizado para la evaluación, por consiguiente se debe considerar rea-

liar la evaluación en similares condiciones, ya sea antes, durante o en la recuperación del entrenamiento, las horas del día, si es en posición sentado, decúbito supino o de pie. La duración mínima de registro de los datos debe ser 5 minutos.

Los estudios realizados sobre la VFC respecto al entrenamiento en atletas han permitido responder positivamente las dos preguntas planteadas en el 2003 por Aubert³, las cuales eran dos: primera, ¿puede la variabilidad de la frecuencia cardiaca ser usada para prescribir un óptimo entrenamiento? y segunda ¿pueden los parámetros de la VFC ser usados como factor predictivo de altos logros deportivos?. Así pues, la VFC se está convirtiendo en una herramienta cada vez más utilizada en todos los deportes para evaluación, control y predicción de logros deportivos.

Los 17 estudios descritos en la Tabla 3 brindan información relevante a los atletas, entrenadores y en general a la comunidad de ciencias del deporte, respecto al protocolo de análisis de la VFC, al periodo de entrenamiento, la duración, el volumen e intensidad del entrenamiento en que se realizó la evaluación, a la posición del cuerpo en el momento de la evaluación de la VFC y la conclusión a la que llegaron los autores en cada deporte específico, indicando los cambios en los índices de la VFC.

Tabla 1. Índices y unidades de medida dominio tiempo de la VFC

Índices Dominio tiempo	Definición	Indicador
STD RR (ms)	Desviación estándar de todos los intervalos R-R normales	Variabilidad total
RMSSD (ms)	Raíz cuadrada del valor medio de las sumas de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR	Actividad parasimpática
pNN50 (%)	Porcentaje del total de los intervalos RR consecutivos que discrepan en más de 50 milisegundos entre sí	Actividad parasimpática

*ms=milisegundos. *R-R= intervalo entre R y R del complejo QRS de un electrocardiograma

Tabla 2. Índices y unidades de medida dominio frecuencia de la VFC

Índice Dominio frecuencia	Definición	Indicador
VLF (0.0-0.04 Hz):Peak (Hz); Power (ms ²); Power (%); Power (n.u.)	Muy bajas frecuencias	No indicador del SNA
LF (0.04–0.15 Hz):Peak (Hz); Power (ms ²); Power (%); Power (n.u.)	Bajas frecuencias	Actividad simpática y parasimpática
HF (0.15–0.4 Hz):Peak (Hz); Power (ms ²); Power (%); Power (n.u.)	Altas frecuencias	Actividad parasimpática
LF/HF: Power (ms ²)	Relación bajas-altas frecuencias	Balance Autonómico y actividad simpática

*Peak: Pico. *Power: potencia. *ms²: milisegundos al cuadrado. *%: porcentaje. *Hz: Hercios. *n.u: Unidades normalizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios de esta revisión temática sobre la VFC asociada a la evaluación en el entrenamiento deportivo se realizaron en las bases de datos de SCOPUS y PubMed, además se utilizó el motor de búsqueda Google Académico, utilizando las palabras clave “heart rate variability”, “athletes” y “cardiac autonomic modulations”. Se realizó la lectura del título a 730 estudios rela-

cionados con las palabras clave, de los cuales se descartaron 487 una vez leído el título. Se realizó la lectura del resumen a 243 estudios y se seleccionaron 51 estudios. Los criterios de inclusión fueron: Uno, que la población objeto de estudio fueran atletas de nivel competitivo. Dos, que los protocolos de evaluación estuvieran asociados a la evaluación del entrenamiento deportivo. Tres, que el análisis de la VFC fuera realizado por los métodos de dominio tiempo y frecuencia.

Tabla 3. Estudios relacionados VFC y evaluación del entrenamiento deportivo

Estudio	Deporte	Momento de evaluación	Conclusión
Martinelli <i>et al</i> ¹¹	10. Ciclismo	Decúbito supino e inclinación	La VFC ↑ en los ciclistas vs sedentarios, evaluado en la posición decúbito supino.
Christoforidi <i>et al</i> ¹²	13. Buceo	ECG 24 horas	La actividad parasimpática ↑ en los buceadores vs los sedentarios.
Iellamo <i>et al</i> ¹³	18. Remo	Incremento 100% del entrenamiento. Juegos Olímpicos Atenas 2004	El entrenamiento intensivo cambia el balance autonómico cardíaco hacia un predominio simpático. No hubo diferencias entre los que ganaron medalla y los que no lo hicieron, sugiriendo buen estado de rendimiento.
Daniłowicz-Szymanowicz <i>et al</i> ¹⁴	12. Atletismo	24 y 48 horas después de una maratón	La actividad simpática ↑ puede persistir por hasta 24 horas después de resistencia extrema como una maratón.

Tabla 3. Continuación.

Estudio	Deporte	Momento de evaluación	Conclusión
Morales <i>et al</i> ¹⁵	7. Judo	4 semanas de entrenamiento	LF/HF ↑ después del entrenamiento. Los atletas en el programa de alta intensidad mostraron un desequilibrio autonómico
Blasco-Lafarga <i>et al</i> ¹⁶	22. Judo	Prueba de Judo supramáxima	RMSSD ↓ a los 15 minutos de recuperación. El equilibrio simpático-vagal se inclinó a dominancia simpática.
Baumert <i>et al</i> ¹⁷	10. Triatlón	ECG 30 minutos de recuperación	RMSSD ↑ mostro cambios significativos durante el entrenamiento.
Baumert <i>et al</i> ¹⁸	10. Triatlón	Antes-después entrenamiento	RMSSD ↓ durante el entrenamiento y retorno a los valores normales después de 3 a 4 días de recuperación.
Plews <i>et al</i> ¹⁹	2. Triatlón	Durante 77 días	RMSSD ↓ en un Atleta 7 días antes del campeonato y fue diagnosticado como sobre-entrenado.
Botek <i>et al</i> ²⁰	10. Atletismo	Prueba Ortoclinostatica	HF y RMSSD está relacionada ↑ en el rendimiento, evaluación realizada en posición decúbito supino.
Da Silva <i>et al</i> ²¹	6. Atletismo	7 semanas de entrenamiento	Correlación entre rendimiento 5 km y el % de cambio de RMSSD. Correlación LF/HF y rendimiento de 5 km.
DeSaa <i>et al</i> ²²	13. Lucha	10 minutos de recuperación	La VFC es una herramienta para detectar patrones de comportamiento cardiaco vinculados al rendimiento.
Rodas <i>et al</i> ⁹	4. Hockey hierba	Campeonato mundial	RMSSD y pNN50 ↓ a lo largo del campeonato. LF y LF/HF ↑ progresivamente durante los 7 partidos y HF ↓ progresivamente.
Earnest <i>et al</i> ²³	8. Ciclismo	Vuelta España 2001	Los índices vagales de dominio tiempo y frecuencia fueron más altos de la etapa 1 a 9, respecto a la etapa 10 a 15.
Sartor <i>et al</i> ²⁴	6. Gimnasia	10 semanas de entrenamiento	Correlación entre HF(%) y LF/HF en la mañana y la carga de entrenamiento del día anterior. Diferencia HF% de pasar decúbito supino a posición sentado.
Botero <i>et al</i> ²⁵	9. Ciclismo	Test máximo incremental	El análisis de la respuesta autonómica podría ser una herramienta para seleccionar posibles talentos deportivos
Kaikkonen <i>et al</i> ²⁶	8. Atletismo	Recuperación 5 y 30 minutos	LF y HF ↓ en ejercicio por intervalos al 93% vs 85%. Ejercicio intervalos ↓ 85% vs continuo al 80% y ejercicio por intervalos ↓ al 85% vs continuo al 85%.
Buchheit <i>et al</i> ²⁷	8. Atletismo	3 intensidades de ejercicio.	RMSSD ↑ en la intensidad media, RMSSD ↓ en la intensidad alta e intermitente. RMSSD fue similar en las 3 intensidades en la recuperación.

*En la columna deporte, el número que aparece hace referencia a la cantidad de atletas que hicieron parte del estudio.

*ECG: Electrocardiograma. *vs: versus. *Km: kilómetros. *↑: indica mayor o incremento. *↓: indica menor, disminuyó o disminución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los índices de dominio tiempo con mayor aplicabilidad en la evaluación del entrenamiento deportivo son: STD RR, RMSSD y pNN50. El índice STD RR o SDNN es un indicador de la variabilidad total y sus valores se incrementan producto de los programas de entrenamiento²⁸; estos valores varían de acuerdo con la intensidad, duración y protocolo de evaluación realizada. Los atletas, por tanto, presentan una mayor VFC que los sedentarios, este incremento en la VFC se observa en los atletas principalmente al evaluarlo en reposo y en la recuperación, una vez terminado el ejercicio. Una mayor VFC refleja un adecuado funcionamiento de las vías simpáticas y parasimpáticas sobre el sistema cardiovascular, indicativo de un buen estado de salud.

Los índices RMSSD y pNN50 son indicativos de control vagal cardiaco^{29,30}, se ha demostrado que estos índices se modifican al llevar a cabo un programa de ejercicio de al menos dos semanas de duración^{31,32}, pero los cambios importantes se producen en los atletas entrenados bajo programas de resistencia de larga duración, como ciclismo, atletismo y triatlón^{33,34}. Consecuentemente, la actividad vagal está aumentado en los atletas versus los no atletas³⁵, independientemente de si es un deporte individual o de conjunto²⁸. Varios estudios han demostrado que al monitorear continuamente estos índices (RMSSD, pNN50) dentro de los programas de entrenamiento, brindan información sobre cuatro aspectos: 1) Reducciones significativas de RMSSD, sugieren inhibición parasimpática y activación simpática, esto puede ser un marcador útil para ajustar las cargas de entrenamiento, ya que pueden sugerir sobreentrenamiento o poca adaptación al respectivo trabajo físico¹⁸. 2) Se puede utilizar (RMSSD, pNN50) como indicador de la intensidad de trabajo

en los diferentes periodos de entrenamiento, dependiendo de los objetivos propuestos³⁶. 3) Al observar la reactivación parasimpática (RMSSD, pNN50) en los 15 primeros minutos después de un esfuerzo supramáximo también brinda información sobre la adaptación o inadaptación al entrenamiento^{16,27}. Y 4) puede brindar información respecto a la mejora del rendimiento al realizar análisis periódicos en posición decúbito supino^{20,37}.

Los índices de dominio frecuencia con aplicabilidad en el entrenamiento son: HF, LF y LF/HF. Dentro de los cuales el índice HF es de gran interés, ya que las oscilaciones de alta frecuencia se generan debido a la excitación vagal^{30,38} y estas HF se incrementan principalmente por el entrenamiento de resistencia. Se ha demostrado que al desarrollar programas de entrenamiento de 6, 8 y 16 semanas de duración las HF se incrementa significativamente³⁹⁻⁴², por lo que la modulación vagal es mayor en los atletas comparados con los no atletas^{11,43,44}, esto ha sugerido un aumento del tono vagal, pudiéndose observar en los atletas entrenados en resistencia en posición decúbito supino comparado con los no atletas^{12,28}. Este parámetro, al ser evaluado dentro de los programas de entrenamiento, brinda información importante sobre dos aspectos, ya que permite hacer los ajustes respectivos debido a: 1) un HF aumentado o que no presente una disminución significativa durante los periodos de entrenamiento es un indicador de adaptación individual al entrenamiento, lo cual contribuye para supervisar el entrenamiento^{21,25}; 2) un HF aumentado es un indicador de un buen rendimiento en atletas²⁰.

El índice LF es un parámetro de actividad simpática y durante el ejercicio progresivo se produce un aumento significativo^{13,45}. Los atletas presentan valores más bajos de LF en los primeros 15 minutos de recuperación en posición

decúbito supino en comparación con los no atletas^{28,33}. Al monitorear LF en los programas de entrenamiento, brinda información importante ya que: 1) después de un ejercicio de muy alta intensidad o ejercicios supramáximos como una maratón (42 km), las LF continúan aumentado al menos durante 15 minutos después de terminada la competición o el entrenamiento intensivo¹⁶, pudiendo persistir por 24 horas o más dependiendo de la competición o intensidad del entrenamiento^{14,21}, por lo que es útil para supervisar la adaptación al entrenamiento. No obstante, la utilización de este índice es controvertida debido a que refleja tanto la actividad simpática como parasimpática⁴⁶.

La relación LF/HF es un indicador de actividad simpática y muestra el equilibrio simpático-vagal⁴, este balance autonómico se altera de acuerdo con la intensidad del ejercicio y puede perdurar por hasta 24 horas o más una vez finalizado el entrenamiento o competencia^{14,47-49}. Lo que sugiere que este índice (LF/HF) es adecuado para supervisar la inadaptación al entrenamiento¹⁵, pues mantener un equilibrio simpático-vagal durante los diferentes periodos de entrenamiento permite dosificar, replantear o continuar con las cargas de entrenamiento planeadas en los diferentes deportes^{13,35,49-51}.

Finalmente, el índice VLF no refleja la respuesta del sistema nervioso autónomo, y de acuerdo con DeBoer¹⁰ las frecuencias menores de 0,05 Hercios (VLF) muestran las influencias hormonales, vasomotoras y termorreguladoras y también la influencia del sistema renina-angiotensina-aldosterona. Las VLF podrían reflejar al menos en parte la actividad hormonal (catecolaminas) durante el entrenamiento⁵². La VFC es una herramienta útil y no invasiva que brinda información a los profesionales de ciencias del deporte a la hora de programar y supervisar el entrenamiento en sus atletas.

CONCLUSIÓN

La evaluación de la VFC permite determinar la adaptación o inadaptación a las cargas de entrenamiento, programar el volumen y la intensidad adecuada de la carga de entrenamiento, supervisar el rendimiento a lo largo de los periodos de entrenamiento, detectar estados de sobreenentrenamiento y monitorear el estado de forma deportiva durante los campeonatos en todos los deportes. Los protocolos de evaluación para el registro de los datos se pueden realizar antes, durante y en la recuperación del entrenamiento o competición. La evaluación antes y en la recuperación se puede hacer en la posición de pie, sentado pero preferiblemente decúbito supino.

DECLARACIÓN SOBRE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaramos que somos independientes con respecto a las instituciones financiadoras y de apoyo, y que durante la ejecución del trabajo o la redacción del manuscrito no han incidido intereses o valores distintos a los que usualmente tiene la investigación. Por tanto, manifestamos que no tenemos ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boron F, Boulpaep L. *Medical Physiology*. Segunda edición, Elsevier Saunders; 2012.
2. Goldsmith RL, Bloomfield DM, Rosenwinkel T. Exercise and autonomic function. *Coron Artery Dis*. 2000;11(2):129-135. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10758814>.
3. Aubert AE, Seps B, Beckers F. *Sports Med*. (2003); 33:889. Doi: <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>.

4. Rodas G, Carballido P, Capdevilla L. Heart Rate Variability: definition, measurement and clinical relation aspects. *Archivos medicina del deporte*. 2008; 30(123): 41-47. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287702610_Heart_rate_variability_Definition_measurement_and_clinical_relation_aspects_part_II
5. Kleiger RE, Stein PK, Bigger JT. Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2005; 10(1): 88-101. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x>.
6. Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38(5): 887. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16672842>.
7. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* Baltimore. 1996; (93): 1043-64. Doi: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>.
8. Cambri LT, Fronchetti L, De-Oliveira FR, da Silva GM. Variabilidade da frequência cardíaca e controle metabólico. *Arquivos Sanny Pesquisa Saúde*. 2008; 1(1): 72-82. http://www.academia.edu/23089546/Variabilidade_da_freq%C3%BC%C3%Aancia_card%C3%ADaca_e_controle_metab%C3%B3lico.
9. Rodas G, Yanguas X, Pedret C, Ramos J, Capdevila L. Canvis de la variabilitat de la freqüència cardíaca (VFC) de jugadors d'hoquei durant el Campionat del Món de 2006. *Apunts Med Sport*. 2011; 46(171): 117-123. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/Apunts/article/view/246215/335032>.
10. DeBoer RW, Karemaker JM, Strackee J. Spectrum of a series of point events, generated by the integral pulse frequency modulation model. *Med. Biol. Eng. Comput.* 1985; (23): 138-143. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02456750>.
11. Martinelli FS, Chacon-Mikahil MP, Martins LE, Lima-Filho EC, Golfetti R *et al.* Heart rate variability in athletes and nonathletes at rest and during head-up tilt. *Braz J Med Biol Res.* 2005; 38(4): 639-47. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-879X2005000400019>.
12. Christoforidi V, Koutlianos N, Deligiannis P, Kouidi E, Deligiannis A. Heart rate variability in free diving athletes. *Clin Physiol Func Imag.* 2012; 32(2): 162-6. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01070.x>.
13. Iellamo F, Legramante JM, Pigozzi F, Spataro A, Norbiato G, Lucini D, et al. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation.* 2002; 105(23): 2719-2724. Doi: 10.1161/01.CIR.0000018124.01299.AE.
14. Daniłowicz-Szymanowicz L, Raczak G, Pinna GD, Maestri R, Ratkowski W, Figura-Chmielewska, *et al.* The effects of an extreme endurance exercise event on autonomic nervous system activity. *Polski merkuriusz lekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego.* 2005; 19(109): 28-31. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16194022>.
15. Morales J, Garcia V, García-Massó X, Salvá P, Escobar R. The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *Int J Sports Med* 2013; 34(02): 144-151. Doi: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1323719>.
16. Blasco-Lafarga C, Martínez-Navarro I, Mateo-March M. Is baseline cardiac autonomic modulation related to performance and physiological responses following a supramaximal Judo test?. *PloS one.* 2013; 8(10): e78584. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078584>.

17. 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.* 2006a; 16(5): 412-417. Doi: 10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07.
18. Baumert M, Brechtel L, Lock J, Voss A. Changes in heart rate variability of athletes during a training camp. *Biomed Tech.* 2006b; 51(4): 201-204. Doi: 10.1515/BMT.2006.037.
19. Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112(11): 3729-3741. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>.
20. Botek M, McKune A, Krejci J, Stejskal P, Gaba A. Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *Int J Sports Med.* 2014; 35(06): 482-488. Doi: <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354385>.
21. Da Silva DF, Verri SM, Nakamura FY, Machado FA. Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices in endurance runners: A case study with a high-level team. *Eur J sport science.* 2014; 14(5): 443-451. Doi: 10.1080/17461391.2013.832802.
22. DeSaa YS, Sarmiento JM, Martín-González D, Rodríguez-Ruiz ME, Quiroga JM, García-Manso. Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en la caracterización de deportistas de élite de lucha canaria con diferente nivel de rendimiento. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte.* 2009; (4): 120-5. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-pdf-X1888754609461988>
23. 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 Spai. *Br J Sports Med.* 2004; 38: 568-575. Doi: 10.1136/bjism.2003.005140.
24. Sartor F, Vailati E, Valsecchi V, Vailati F, Torre AL. Heart rate variability reflects training load and psychophysiological status in young elite gymnasts. *J Strength and Conditioning Research.* 2013; 27(10): 2782-2790. Doi: 10.1519/JSC.0b013e31828783cc.
25. Botero RD, León HH, Melo CE, Porrás AJ, Villanueva VAM, *et al.* The Autonomic Nervous System In Cyclists: A Useful Tool To Guide Young Talents?. *Med Sci Sports Exerc.* 530 Walnut ST, Philadelphia, PA 19106-3621 USA: Lippincott Williams & Wilkins. 2013; 45(5): 134-134.
26. Kaikkonen P, Rusko H, Martinmäki K. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18(4):511-519. Doi: 10.1111/j.1600-0838.2007.00728.x.
27. Buchheit M, Kuitunen S, Voss SC, Williams BK, Mendez-Villanueva A, Bourdon PC. Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *J Strength Cond Res.* 2012; 26(1): 94-105. Doi: 10.1519/JSC.0b013e3182184fcb.
28. Sztajzel J, Jung M, Sievert K, De Luna BA. Cardiac autonomic profile in different sports disciplines during all-day activity. *J Sports Med Phys Fitness.* 2008; 48(4): 495-501. <https://search.proquest.com/openview/f7ee937561267eb26cd9b57210d9d2b3/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4718>.
29. Koyama K, Inoue T, Hasegawa A, Oriuchi N, Okamoto E, Tomaru Y, *et al.* Alternating myocardial sympathetic neural function of athlete's heart in professional cycle racers examined with iodine-123-MIBG myocardial scintigraphy. *Ann Nuclear Medicine.* 2001; 15(4): 307-12. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11577754>.

30. Dewland TA, Androne AS, Lee FA, Lampert RJ, Katz SD. Effect of acetylcholinesterase inhibition with pyridostigmine on cardiac parasympathetic function in sedentary adults and trained athletes. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007; 293(1): 86-92. Doi: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.01339.2006>
31. 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(10): 1729-36. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11039645>
32. Melanson EL, Freedson PS. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *Eur J Appl Physiol.* 2001; 85:442-9. Doi: <https://doi.org/10.1007/s004210100479>.
33. Aubert AE, Beckers F, Ramaekers D. Short-term heart rate variability in young athletes. *J Cardiology.* 2001; (1): 85-88. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11433833>.
34. Borges NR, Reaburn PR, Doering TM, Argus CK, Driller M. W. Autonomic cardiovascular modulation in masters and young cyclists following high-intensity interval training. *Clin Autonomic Research.* 2017; 27(2): 83-90.
35. Bonaduce D, Petretta M, Cavallaro V, Apicella C, Ianniciello A, *et al.* Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(5): 691-6. Doi: 10.1097/00005768-199805000-00008.
36. Danilowicz-Szymanowicz L, Figura-Chmielewska M, Raczak A, Szwoch M, Ratkowski W. The assessment of influence of long-term exercise training on autonomic nervous system activity in young athletes preparing for competitions. *Pol Merkur Lekarski.* 2011; 30(175): 19-25. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21542239>
37. Cruz GH, Orellana JN, Taraco AR, Colmenero BR. Leukocyte Populations are Associated with Heart Rate Variability After a Triathlon. *J Human Kinetics.* 2016; 54(1): 55-63. Doi: <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0036>.
38. Martinmaki K, Rusko H, Kooistra L, Kettunen J, Saalasti S. Intraindividual validation of heart rate variability indexes to measure vagal effects on hearts. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2006; 290(2): 640-647. Doi: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00054.2005>
39. Hautala A. Effect of physical exercise on autonomic regulation of heart rate. *Oulun yliopisto.* 2004:1-76. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514273354.pdf>.
40. Leicht AS, Graham D, Allen AJ, Hoey AJ. Influence of Intensive Cycling Training on Heart Rate Variability During Rest and Exercise. *Canad J Applied Physiol.* 2003; 28(6): 898-909. Doi: <https://doi.org/10.1139/h03-064>.
41. Tulppo MP, Hautala AJ, Mäkikallio TH, Laukkanen RT, Nissilä S *et al.* Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *Applied Physiology.* 2003; 95:364-72. Doi: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00751.2002>.
42. Matthew LC, Wood R, Welsch M. Influence of short term endurance exercise training on heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35(6): 961-9. Doi: 10.1249/01.MSS.0000069410.56710.DA.
43. Alom MM, Bhuiyan NI, Hossain MM, Hoque MF, Rozario RJ, Nessa W. Physical training induced resting bradycardia and its association with cardiac autonomic nervous activities. *J Mymensingh Med.* 2011; 20(4): 665-70. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22081187>.
44. Sharma D, Paudel BH, Khadka R, Thakur D, Sapkota NK, Shah DK, *et al.* Time domain and frequency domain analysis of heart rate

- variability in elite Nepalese football players. *Inter J Biomedical Research*. 2015; 6(9): 641-646. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282750853_Time_domain_and_frequency_domain_analysis_of_heart_rate_variability_in_elite_Nepalese_football_players.
45. Rumenig E, Bertuzzi R, Nakamura F, Franchini E, Matsushige K, Kiss M. Cinética e variabilidade da frequência cardíaca mediante exercício físico predominantemente aeróbio: influência da intensidade e do tempo de análise. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*. 2007; 21(3): 205-218. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1807-55092007000300005>
46. Michael S, Graham KS, Davis GM. Cardiac Autonomic Responses during Exercise and Post-exercise Recovery Using Heart Rate Variability and Systolic Time Intervals-A Review. *Frontiers in physiology*. 2017; (8): 301. Doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00301>
47. Janssen MJ, de Bie J, Swenne CA, Oudhof J. Supine and standing sympathovagal balance in athletes and controls. *Europ. J. Appl. Physiol*. 1993; 67(2): 164-7. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00376661>
48. Boullosa DA, Abreu L, Nakamura FY, Muñoz VE, Domínguez E, Leicht AS. Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *Inter J Sports Physiol Performance*. 2013; 8(4): 400-409. Doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.4.400>
49. Korobeynikov G, Korobeynikova L, Potop V, Nikonorov D, Semenenko V, Dakal N, *et al*. Heart rate variability system in elite athletes with different levels of stress resistance. *J Physical Education and Sport*. 2018; 18(2): 550-554. Doi:10.7752/jpes.2018.02079
50. Furlan R, Piazza S, Dell'Orto S, Gentile E, Cerutti S, Pegani M, *et al*. Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate. *Cardiovascular Research*. 1993;27(3):482-8. Doi: <https://doi.org/10.1093/cvr/27.3.482>
51. Bosquet L, Papelier Y, Léger L, Legros P. Night heart rate variability during overtraining in male endurance athletes. *J Sports Med Phys Fit*. 2003; 43(4): 506-512. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/8883124_Night_heart_rate_variability_during_overtraining_in_male_endurance_athletes.
52. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol*. 2003; 90(3-4): 317-325. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0953-9>.