

La recuperación parasimpática tras el esfuerzo como medida de carga de trabajo

José F. Ruso Álvarez, Claudio Nieto

Universidad Pablo de Olavide. Sevilla.

Recibido: 20.09.2018

Aceptado: 21.12.2018

Resumen

En la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), la RMSSD (raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes) es el indicador de actividad parasimpática más utilizado en el deporte. Su recuperación tras un esfuerzo puede ser un buen indicador de carga de trabajo, pero existe cierta controversia sobre cómo utilizarla y sobre su relación con la intensidad o el volumen.

Tras una prueba de esfuerzo máxima para determinar umbrales ventilatorios (VT1 y VT2), 14 hombres físicamente activos realizaron dos pruebas separadas por 48-72 horas. En la primera, corrieron durante 20 minutos a velocidad de VT1. En la segunda, corrieron a velocidad de VT2 un tiempo en el que el producto de intensidad por duración fuese el mismo que el VT1 (calentamiento 5 minutos). En las 2 sesiones, medimos la VFC durante 10 minutos en reposo y hasta 10 minutos posterior al ejercicio, en posición sentado, con un dispositivo Polar V-800. Se registró la percepción subjetiva del esfuerzo en escala de Borg. Se calculó la RMSSD obteniendo la pendiente formada por los valores de los 10 minutos de recuperación (Slope-10).

Durante el ejercicio, se produjo una caída muy significativa ($p < 0,001$) de la RMSSD idéntica en ambas pruebas. Todos los valores de recuperación se mantuvieron significativamente por debajo de los de reposo, siendo superiores en VT1 respecto a VT2. Los valores de Slope-10 fueron de 1,51 en VT1 y 0,34 en VT2, correlacionando inversamente con la escala de Borg ($r = -0,63$). La reducción parasimpática producida por una carga de trabajo es independiente del tipo de trabajo realizado. La recuperación del sistema parasimpático es inversa a la intensidad. La pendiente de recuperación de la RMSSD es un buen indicador de carga interna.

Palabras clave:

Variabilidad de la frecuencia cardíaca.
Carga de trabajo. RMSSD.

Parasympathetic recovery after effort as a measure of work load

Summary

In the Heart Rate Variability (HRV), the RMSSD (root mean square of the successive differences between adjacent RR intervals in ms) is the most used indicator of parasympathetic activity in sport. Its recovery after an effort can be a good indicator of workload but there is some controversy about how to use it and its relationship with intensity or volume.

After a maximum stress test to determine ventilatory thresholds (VT1 and VT2), 14 physically active men performed two separate tests for 48-72 hours. In the first one, subjects ran for 20 minutes to VT1 speed. In the second one, subjects ran to VT2 speed a time in which the product of intensity per duration was the same as VT1 (5 minutes warming-up). In both sessions, we measured the HRV during 10 minutes at rest and up to 10 minutes after the exercise, in a sitting position, with a Polar V-800 device. The subjective perception of effort on the Borg scale was recorded.

The RMSSD was calculated obtaining the slope formed by the values of the 10 minutes of recovery (Slope-10).

During the exercise, there was an identical and very significant fall ($p < 0,001$) of RMSSD in both tests. All recovery values remained significantly below those at rest, being higher in VT1 compared to VT2. Slope-10 values were 1.51 at VT1 and 0.34 at VT2, inversely correlating with the Borg scale ($r = -0,63$).

The parasympathetic reduction produced by any workload is independent of the type of work performed. The recovery of the parasympathetic system is inverse to the intensity of the work done. The recovery slope of the RMSSD is a good indicator of internal load.

Key words:
Heart Rate Variability.
Workload. RMSSD.

Trabajo premiado con el Premio a la Mejor Comunicación Oral presentada al XVII Congreso Internacional de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. Toledo 29 de noviembre a 1 de diciembre de 2018

Correspondencia: José F. Ruso Álvarez
E-mail: joserusoalvarez@gmail.com

Introducción

El uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) en el campo del deporte y de la actividad física se ha extendido en los últimos años por tratarse de una herramienta no invasiva que permite evaluar la modulación simpática y parasimpática^{1,2}.

Por otra parte, el control de la carga de entrenamiento en los deportistas³ es actualmente uno de los principales retos de investigación en entrenamiento y varios autores han propuesto la VFC como un método válido para evaluar la respuesta individual a una carga de trabajo (TL)^{4,5}. Sin embargo, todavía hay discrepancias metodológicas y algunos resultados discordantes como para poder extraer conclusiones claras aplicables de forma sencilla al control del entrenamiento.

La metodología más utilizada es la medición de la VFC inmediatamente después del ejercicio para valorar la forma en la que se recuperan los valores. Sin embargo, no existe una metodología de trabajo, existiendo estudios en laboratorio⁶⁻⁹ junto a otros que valoran sesiones completas de entrenamiento^{4,5,10,11} o sesiones diseñadas específicamente en campo¹².

Tampoco hay uniformidad en cuanto a las variables medidas, habiendo autores que utilizan variables del dominio del tiempo^{6,10,13}, otros del dominio de la frecuencia¹⁴ y otros ambas¹⁵⁻¹⁷.

Al analizar la respuesta de la VFC tras una carga de ejercicio, la mayoría de los estudios se centran en los efectos de la intensidad^{14,16-18}, aunque algunos trabajos muestran cambios en relación con la duración del esfuerzo¹⁹ y otros con ambos aspectos⁷.

En resumen, aunque no hay un acuerdo absoluto ni una metodología uniforme, parece predominar en la bibliografía la idea de que: a) las variables del dominio del tiempo ofrecen menos discrepancias que las del dominio de frecuencias²⁰; b) lo más útil es explorar varias intensidades de esfuerzo^{7,16,17}; c) la recuperación inmediata de las variables parasimpáticas (especialmente la RMSSD o su logaritmo natural) está condicionada principalmente por la intensidad del ejercicio¹.

Sin embargo, en la bibliografía revisada no se ajustan estas variables (intensidad y volumen) para que la carga obtenida sea la misma, con lo que no hay información respecto al comportamiento de la VFC frente a la TL en su conjunto.

Por otra parte, de los comportamientos observados post ejercicio no se extraen índices útiles que puedan aplicarse de forma fácil en el día a día para controlar la respuesta a las cargas de entrenamiento. En este sentido, aunque se han descrito algunos índices^{6,8}, su aplicación no muestra datos coherentes ni se ha impuesto en el uso cotidiano.

Por eso, este estudio se centra en analizar la respuesta de la RMSSD a dos trabajos de diferente intensidad y duración, pero con la misma TL; con el objetivo de diseñar un índice de recuperación basado en la RMSSD que sea de utilidad en la valoración de deportistas.

Material y método

En el estudio participaron 14 hombres sanos, físicamente activos y no fumadores (edad $20,93 \pm 1,38$ años; peso $75,34 \pm 10,07$ kg; talla $178,04 \pm 5,83$ cm; VO_{2max} $49,33 \pm 3,93$ ml · kg⁻¹ · min⁻¹).

Siguiendo las indicaciones generales de la *Task Force*² se advirtió a todos los sujetos de que no tomaran bebidas alcohólicas y/o que

contuvieran cafeína, además de abstenerse de realizar actividad física durante las 24 h previas a cada test.

A cada sujeto se le realizó un interrogatorio médico para descartar que estuvieran recibiendo tratamientos o padecieran desórdenes cardiovasculares o de cualquier otro tipo que pudieran incidir o alterar el estado del sistema nervioso autónomo. Todos los sujetos fueron informados del procedimiento a seguir y dieron su consentimiento por escrito para participar en el experimento. El Comité de Ética aprobó el estudio, que siguió todos los principios expresados en la Declaración de Helsinki.

La duración total del experimento fue de 2 semanas, realizando 3 sesiones separadas entre sí por 48-72h, aproximadamente a la misma hora del día $10:00 (\pm 2$ h) y manteniendo unas condiciones ambientales estables (temperatura y humedad).

En la primera sesión, se cumplimentó un cuestionario de antecedentes en cada sujeto y se les midió el peso y la talla. Se realizó una prueba de esfuerzo cardiopulmonar incremental y máxima en tapiz rodante Ergo Run Medical 8 (Daum Electronic; Fürth, Germany) siguiendo un protocolo escalonado con una carga inicial de 7 km/h, con inclinación de 1%, durante 3 minutos y aumentos de 1 km/h cada minuto hasta el agotamiento. La prueba se realizó con un ergoespirómetro Breezesuit CPX (Medical Graphics; St. Paul, Minnesota, USA) calibrado antes de cada medición. Los datos de ventilación fueron obtenidos respiración a respiración a partir de un flujómetro de diferencia de presión y las fracciones inspiratoria y espiratoria de O₂ y CO₂ a partir de un analizador de célula galvánica y de infrarrojos respectivamente.

A los efectos de este estudio, una vez finalizada cada prueba se determinó la posición de los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2) siguiendo la técnica ventilatoria propuesta por Skinner y Mclellan²¹ y se anotó la velocidad correspondiente a cada umbral. Igualmente se determinó el VO_{2max} y la velocidad aeróbica máxima (VAM) como referencia.

En la segunda sesión, cada sujeto corrió durante 20 minutos a la velocidad del VT1 de forma constante y sin calentamiento previo, dada la baja intensidad.

En la tercera sesión, cada sujeto corrió a la velocidad del VT2 de forma constante durante un tiempo que se estableció de forma que el producto de intensidad por duración fuera el mismo que en el VT1. Esta prueba estuvo precedida de un calentamiento de 5 minutos al 60% de la VAM de cada uno de los sujetos.

De esta forma se aseguraba que ambas pruebas correspondían a la misma TL, que en cada sesión se calculó como el producto de la intensidad (velocidad) por el volumen (tiempo)²⁰. Al expresar la velocidad en km/h y el tiempo en horas, la TL queda expresada como la distancia recorrida en kilómetros.

En las sesiones 2 y 3 se colocó un pulsómetro V800 Polar con una banda torácica H10 HR Sensor (Polar Inc., Kempele, Finland) desde 10 minutos previos a la prueba hasta 10 minutos después de finalizada la misma para realizar mediciones de VFC. Todas las mediciones pre y post ejercicio se hicieron en posición sentado y en un ambiente tranquilo y silencioso. Para ello, en todas las sesiones el sujeto debía sentarse inmediatamente al terminar la prueba (sin recuperación activa) para realizar la medición de la recuperación.

Las series de tiempo RR se descargaron mediante la aplicación Polar FlowSync (versión 2.6.2) para ser analizadas con el software Kubios VFC (Versión 2.1, University of Eastern Finland, Kuopio, Finland).

En cada sesión se tomaron los últimos 5 minutos del registro de reposo (rep.) y del ejercicio (ejer.). En el caso de los 10 minutos de recuperación las mediciones se dividieron en dos periodos de 5 minutos (rec. 5 y rec. 10).

Con la finalidad de desarrollar una metodología sencilla y fácil de utilizar en situaciones reales de evaluación de deportistas, se optó por utilizar para el análisis una sola variable de estado parasimpático. En este sentido, y de acuerdo con la bibliografía, se calculó en el dominio de tiempo² la RMSSD, por ser la más utilizada en la valoración de la actividad parasimpática^{20,22}.

Cada registro analizado fue examinado previamente para detectar la posible presencia de artefactos y latidos anómalos, procediendo en caso necesario a aplicar los filtros correspondientes.

En cada sesión de ejercicio se registró la percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg 1-10²³.

Para comparar con estos algoritmos, y con la finalidad de proponer un índice de recuperación basado en la VFC, hemos calculado la pendiente de recuperación de los valores de la RMSSD a lo largo de los 10 minutos y a partir del valor final del ejercicio para cada una de las intensidades realizadas en el experimento (VT1 y VT2). Se elaboró así un índice al que denominamos Slope-10 con la finalidad de que pudiera ser aplicado sin dificultad en situaciones de valoración real.

Análisis estadístico

En primer lugar, se realizó un estudio descriptivo de forma que todos los datos están presentados mediante la media y desviación estándar. Posteriormente se realizaron pruebas de contraste de hipótesis. En primer lugar, se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la normalidad de las distribuciones. A continuación se aplicó el Test de Levene para comprobar la igualdad de varianzas y, al tratarse de más de dos distribuciones independientes, se aplicó un ANOVA utilizando como prueba *post-hoc* el test de Games-Howell. Para descartar la hipótesis nula se utilizó como nivel de significación una $p < 0,05$ para un nivel de confianza del 95%.

Para analizar las relaciones entre las pendientes propuestas y otras variables de carga, se realizó un análisis de correlación de Pearson.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 15.0 para Windows (SPSS Inc, Chicago, IL).

Resultados

En la Tabla 1 se muestran los datos de intensidad (velocidad), duración y TL, así como los valores de la escala de Borg para las dos pruebas.

La Tabla 2 muestra los valores de RMSSD medidos en reposo, en los últimos 5 minutos de ejercicio y a lo largo de la recuperación. Se muestran los valores de p comparando cada dato con el valor de reposo y los de recuperación con el ejercicio.

No hubo diferencias significativas en los valores basales de VFC entre las pruebas. Se observan diferencias significativas en la RMSSD en todos los minutos de recuperación a las 2 intensidades con respecto al reposo.

En la Figura 1 se muestran de forma comparativa los datos de la RMSSD y su evolución durante las dos pruebas realizadas. En esta figura los valores de p muestran las diferencias entre las dos intensidades de

Tabla 1. Características de los test.

	VT1	VT2
Velocidad (km/h)	10,24 ± 1,44	13,71 ± 0,89
Tiempo (h)	0,33 ± 0	0,22 ± 0,05
TL (km)	3,43 ± 0,48	3,43 ± 0,88
Borg (1-10)	3,93 ± 0,92	7,57 ± 1,74

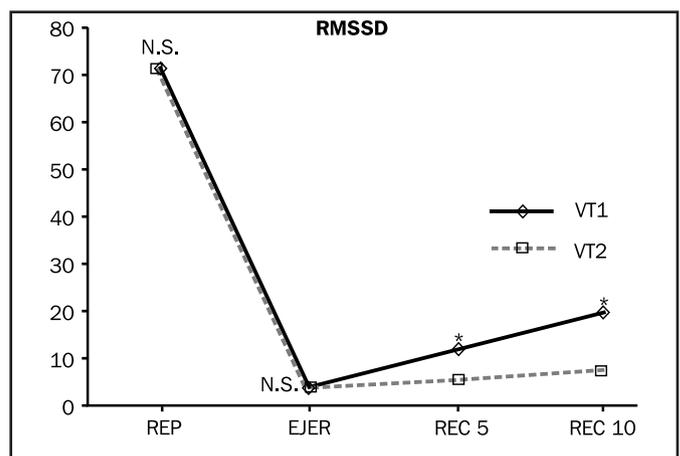
VT1: primer umbral ventilatorio; VT2: segundo umbral ventilatorio; TL: carga de trabajo.

Tabla 2. Valores de RMSSD en los test.

		RMSSD	
		VT1	VT2
REP	Media	71,24	71,15
	DE	31,22	21,69
EJER.	Media	3,92	4,26
	DE	1,11	0,83
	p (rep.)	0,000	0,000
REC. 5	Media	12,21	5,15
	DE	7,77	2,02
	p (rep.)	0,000	0,000
	p (ejer.)	0,025	0,782
REC. 10	Media	19,56	7,69
	DE	10,33	4,58
	p (rep.)	0,001	0,000
	p (ejer.)	0,001	0,184

RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes en ms; VT1: primer umbral ventilatorio; VT2: segundo umbral ventilatorio; Rep: reposo; Ejer: ejercicio; Rec: recuperación; DE: desviación estándar.

Figura 1. Evolución de los valores de RMSSD en los test.



RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes en ms; VT1: primer umbral ventilatorio; VT2: segundo umbral ventilatorio; Rep: reposo; Ejer: ejercicio; Rec: recuperación. NS: no significativo.

ejercicio. Se observa que en los valores de RMSSD no hay diferencias entre las dos pruebas ni en reposo ni en ejercicio. Sin embargo, durante toda la recuperación hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambas pruebas.

Tabla 3. Valores de la pendiente de recuperación de la RMSSD.

	Min	Slope-10 Med	Max
VT1	0,64	1,51	2,49
VT2	0,10	0,34	0,72

RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes en ms; VT1: primer umbral ventilatorio; VT2: segundo umbral ventilatorio; MIN: mínimo; MED: medio; MAX: máximo.

En la Tabla 3 se muestran los valores medios, mínimos y máximos de Slope-10 para ambas cargas de ejercicio.

El índice Slope-10 presenta un coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0.37 con la TL, de -0.63 con la escala de Borg, -0.16 con el VO_{2max} a VT1 y -0.11 con el VO_{2max} a VT2.

Discusión

El principal hallazgo de este estudio es que la reducción parasimpática producida por una misma carga de trabajo es independiente del tipo de trabajo realizado, mientras que la recuperación del sistema nervioso autónomo depende de la intensidad del trabajo.

La RMSSD sufre una caída importante en sus valores con independencia de la intensidad y de la duración del ejercicio (Figura 1), por tanto, podemos afirmar que la supresión del estímulo parasimpático durante el esfuerzo físico es total con independencia de la intensidad realizada, siempre que la TL sea la misma. Sin embargo, una vez comenzada la recuperación vemos un aumento progresivo de los valores de la RMSSD que es significativamente más rápido cuando la intensidad es más baja (VT1). Otros estudios también encuentran que a intensidades más bajas la recuperación de la RMSSD es mucho más rápida^{1,6,14,16,17}.

No obstante, en estos estudios no se toman las intensidades en función de los umbrales sino como porcentaje de la FCmax, ni se ajusta la intensidad a la duración^{7,19} como hemos hecho nosotros con las cargas de VT1 y VT2 para obtener así la misma TL.

Dado que la RMSSD recupera más rápido cuanto menor es la intensidad y que esto se traduce en una pendiente diferente para cada situación, entendemos que el valor numérico de esa pendiente puede ser un buen indicador de la facilidad de recuperación y, por tanto, de la carga interna que supone el trabajo realizado. Es decir, a mayor pendiente de recuperación, menor carga interna. Para ello, hemos valorado esa pendiente en los primeros 10 min de recuperación (Slope-10) tratando de buscar un indicador fácil de medir en situación real tras los entrenamientos.

Cuando estas pendientes se compararon con la escala de Borg, que es otro indicador habitual de carga interna, se encontró que correlacionaban bien y de forma inversa ($r=-0,63$). La Tabla 3 muestra los valores de Slope-10 que cabría esperar como referencia para cada una de las intensidades exploradas.

En conclusión, la reducción del estímulo parasimpático es independiente del tipo de trabajo realizado y su recuperación depende de

la intensidad del trabajo. La pendiente de recuperación de la RMSSD parece ser un buen indicador de la carga de trabajo interna.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sport Med.* 2013;43:1259–77.
- 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. *Eur Heart J.* 1996;17:354–81.
- Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, et al. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12:161–70.
- 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.
- 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.
- Goldberger JJ, Le FK, Lahiri M, Kannankeril PJ, Ng J, Kadish AH, et al. Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *Am J Physiol Circ Physiol.* 2006;290:2446–52.
- 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.
- Saboul D, Balducci P, Millet G, Pialoux V, Hautier C. A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *Eur J Sport Sci.* 2016;16:172–81.
- Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:829–38.
- Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. Heart Rate Variability and Training Intensity Distribution in Elite Rowers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9:1026–32.
- Schumann M, Botella J, Karavirta L, Häkkinen K. Training-load-guided vs standardized endurance training in recreational runners. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12:295–303.
- Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1366–73.
- de Oliveira TP, de Alvarenga Mattos R, da Silva RBF, Rezende RA, de Lima JRP. Absence of parasympathetic reactivation after maximal exercise. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2013;33:143–9.
- Kaikkonen P, Nummela A, Rusko H. Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *Eur J Appl Physiol.* 2007;102:79–86.
- Buchheit M, Gindre C. Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2006;291:451–8.
- Michael S, Jay O, Halaki M, Graham K, Davis GM. Submaximal exercise intensity modulates acute post-exercise heart rate variability. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116:697–706.
- Casonatto J, Tinucci T, Dourado AC, Polito M. Cardiovascular and autonomic responses after exercise sessions with different intensities and durations. *Clinics.* 2011;66:453–8.
- Cottin F, Médigue C, Leprêtre PM, Papelier Y, Koralsztein JP, Billat V. Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:594–600.
- Michael S, Jay O, Graham KS, Davis GM. Longer exercise duration delays post-exercise recovery of cardiac parasympathetic but not sympathetic indices. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117:1897–906.
- Halson SL. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sport Med.* 2014;44:139–47.
- Skinner JS, McLellan TH. The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism. *Res Q Exerc Sport.* 1980;51:234–48.
- Buchheit M, Laursen PB. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *Am J Physiol Circ Physiol.* 2007;293:133–41.
- Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982; 14:377–81.