

Article

Relaciones entre la Carga de Trabajo, la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca y el Rendimiento en una Corredora Recreativa de Resistencia

Daniel Boullosa¹, André R. Medeiros², Andrew A. Flatt³, Michael R. Esco⁴, Fabio Y. Nakamura⁵ y Carl Foster⁶

¹INISA, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande 79070-900, Mato Grosso do Sul, Brazil

²Federal District Education Secretary, Brasilia 72302-505, Brazil

³Biodynamics Laboratory, Department of Health Sciences, Armstrong State University, Savannah, GA 31419, USA

⁴Exercise Physiology Laboratory, Department of Kinesiology, University of Alabama, Tuscaloosa, AL 35703, USA

⁵Research Center in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development, CIDESD, University Institute of Maia, ISMAI, 4475-690 Maia, Portugal

⁶Department of Exercise and Sports Science, University of Wisconsin-La Crosse, La Crosse, WI 54601, USA

RESUMEN

Antecedentes: la asociación entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), la carga de entrenamiento (TL) y el rendimiento es poco conocida. **Métodos:** Una corredora recreativa de mediana edad fue monitoreada durante un macrociclo competitivo de 20 semanas dividido en primer (M1) y segundo mesociclo (M2) en el que se registraron los mejores rendimientos en 10 km y 21 km. Volumen (km), calificación del esfuerzo percibido en la sesión (sRPE), la TL y la monotonía (TL media/SD TL) fueron los parámetros de la carga de trabajo registrados. La raíz cuadrada media de las sucesivas diferencias en los intervalos R-R (RMSSD), su coeficiente de variación (RMSSDcv) y la relación RMSSD: RR fueron los parámetros de la HRV monitoreados. **Resultados:** Durante el M2, RMSSD ($p = 0.006$) y RMSSD:RR ($p = 0.002$) aumentaron significativamente, mientras que RR se redujo significativamente ($p = 0.017$). Se identificaron correlaciones significativas entre la monotonía y el volumen ($r = 0.552$; $p = 0.012$), RR ($r = 0.447$; $p = 0.048$) y RMSSD:RR ($r = -0.458$; $p = 0.042$). Se observó una reducción repentina de la RMSSD (de 40.31 a 24.34 ms) el día antes de los primeros síntomas de una influenza. **Conclusiones:** Los resultados actuales confirman la practicidad de la monitorización concurrente de la HRV y la sRPE en corredores recreativos, con la relación RMSSD: RR indicativa de adaptaciones específicas. El volumen de entrenamiento excesivo puede estar asociado tanto a una monotonía elevada como a una relación RMSSD:RR reducida. Se recomienda la identificación de patrones de mesociclo para una mejor individualización de la periodización utilizada.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) es un marcador autónomo cardíaco válido y accesible que se ha promovido como una técnica para monitorear el entrenamiento de corredores recreativos [1]. Los objetivos de la evaluación rutinaria de la VHRV entre los atletas incluyen la selección de métodos de entrenamiento a largo plazo [2], la modificación de los factores prescriptivos del ejercicio diario [3] y la identificación de adaptaciones positivas y negativas [4]. Existen numerosos índices de HRV. La raíz cuadrada de la diferencia cuadrática media de los intervalos R-R sucesivos (RMSSD) es un índice robusto de la función autónoma vagal que suelen emplear los corredores recreativos [4]. De hecho, su coeficiente de variación (RMSSDcv) y la relación RMSSD:RR son parámetros simples de la HRV que se han propuesto para identificar las respuestas individuales al entrenamiento de la resistencia [5,6]. Se ha propuesto la relación RMSSD:RR para identificar la saturación vagal, ya que normaliza las modulaciones vagales por los intervalos RR, por lo que se relacionan las modulaciones vagales y simpáticas [7].

Las asociaciones del rendimiento de la carrera de resistencia con adaptaciones autónomas y con marcadores de cargas de entrenamiento internas y externas por separado están bien documentadas. Sin embargo, sólo hay un estudio [8] que ha documentado una relación dosis-respuesta entre el impulso del entrenamiento derivado de la frecuencia cardíaca (FC) (TRIMP), los análisis espectrales de potencia de la HRV y los tiempos de la maratón. Estos resultados sugieren una posible desviación simpática hacia el final del período de preparación que se correlacionó positivamente con el rendimiento. Sin embargo, los cambios autónomo semanales asociados con los índices de carga de trabajo del entrenamiento semanal no se informaron en este estudio anterior [8]. Esta información sería de interés dadas las sugerencias anteriores sobre la existencia de perfiles autónomos individuales asociados con los ciclos de entrenamiento y la periodización en otros deportes de resistencia [5,7]. Por ejemplo, una reducción simultánea en LnRMSSD y LnRMSSD:RR durante la última semana anterior a la competición pareció indicar un rendimiento óptimo en un triatleta de élite [7]. En otro estudio con remeros de élite [5], también se observaron diferentes adaptaciones autónomas al entrenamiento en diferentes momentos de la preparación. Por lo tanto, la identificación de cómo la carga de trabajo del entrenamiento semanal se relaciona con el estado autónomo ayudaría a administrar mejor la carga de entrenamiento.

Por lo tanto, presentamos un caso clínico de una corredora recreativa que completó un macrociclo competitivo de 20 semanas. Se registraron sus índices diarios de HRV y de entrenamiento para identificar posteriormente asociaciones entre la HRV, índices de carga de trabajo del entrenamiento y el rendimiento en la carrera. Según estudios anteriores, esperaríamos una reducción de la RMSSD y de la relación RMSSD:RR antes de mejores rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La corredora recreativa es una mujer de mediana edad (50 años; 1.59 m; 50-52 kg; consumo máximo de oxígeno [VO₂máx] = 56 mL·kg⁻¹·min⁻¹) con más de 10 años de experiencia en entrenamiento de la resistencia, primero como triatleta y más recientemente (últimos 7 años) como *road runner*. El historial de entrenamiento y la periodización utilizados se han descrito en otro lugar [9]. Brevemente, completó un macrociclo competitivo de 20 semanas, luego de un mesociclo preparatorio de 3 meses, en el que compitió en dos carreras de 10 km y tres de 21 km en ruta en la ciudad de Brasilia, en condiciones ambientales termoneutrales (<23°C y <50% de humedad relativa). En resumen, todas las carreras se completaron a primera hora (7:00 a.m.) de la mañana, con perfiles similares. Los mejores rendimientos en ambas distancias se produjeron en la segunda parte del macrociclo competitivo, logrando el 99.3% y el 97.8% de sus mejores actuaciones durante 10 km y 21 km, respectivamente (registrado 6 años antes). Por lo tanto, el macrociclo competitivo se dividió en primer mesociclo (M1 = 10 primeras semanas) y segundo mesociclo (M2 = 10 últimas semanas). Ella dio su consentimiento para el uso público de sus datos para este estudio de caso.

Los índices de carga de trabajo incluyeron la clasificación de esfuerzo percibido (sRPE) de la sesión y sus índices derivados de carga de entrenamiento (sRPE × tiempo en minutos) y la monotonía (carga de entrenamiento semanal media/SD de la carga de entrenamiento semanal) [10]. El volumen diario en km se registró con una unidad de GPS (Forerunner 630, Garmin, Olathe, KS, EEUU). El microciclo semanal típico (5-7 sesiones) incluía dos sesiones de entrenamiento de la fuerza más 20-30 min de carreras submáximas cuesta arriba en cinta rodante; una o dos sesiones de carrera de intervalos de 'cruce' (en o ligeramente por debajo del ritmo competitivo), y algunos intervalos a la velocidad aeróbica máxima (VAM) en las semanas previas a las competiciones. En los días de recuperación designados, realizaba 1 o 2 carreras cortas fáciles o carreras más caminatas de 30 a 60 minutos, intercaladas con algunas progresiones de velocidad máxima sobre 100 m; y una sola carrera larga y fácil de 70 a 100 min. La distribución de la intensidad del entrenamiento era 'polarizada' (75-80/5/15-20) como se documentó previamente [9].

Los intervalos RR se registraban durante 2 min (después de 1 min de estabilización) todas las mañanas, en posición supina después de despertar, con una correa de FC validada (H7, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia), y se exportaban a través de Bluetooth a una aplicación móvil (Elite HRV, Asheville, NC, EE. UU.). Los valores RR y RMSSD obtenidos con la aplicación móvil se registraban posteriormente y se exportaban a una hoja de cálculo Excel® personalizada, en la que RMSSDcv semanal (es decir, [SD de RMSSD/RMSSD media] × 100) y RMSSD:RR (es decir, RMSSD media/RR media) eran calculadas.

Los valores se presentan como media ±SD. Después de la confirmación de la distribución de la normalidad, las diferencias entre los índices semanales de la HRV en M1 y M2 se realizaron con un *t*-test no apareado y un tamaño del efecto (ES) mediante una *d* de Cohen. El cambio más pequeño que valga la pena (SWC) también se calculó como 0,3 × DE de la semana 1 [11]. Las relaciones entre la carga de trabajo del entrenamiento y los índices de HRV se realizaron con un coeficiente de correlación del producto de Pearson (*r*). La significancia estadística se estableció en 5%.

RESULTADOS

La evolución de la carga de trabajo de entrenamiento, los índices de HRV y el rendimiento de carrera (tiempos de carrera de 10 km y 21 km) durante el macrociclo de 20 semanas se presentan en la Tabla 1. Las diferencias entre M1 y M2 para las variables dependientes se presentan en la Tabla 2. Nótese que se observó una reducción repentina en la RMSSD (de 40.31 a 24.34 ms) durante la semana 8 el día antes de los primeros síntomas de influenza, que fue seguida por 2 días de entrenamiento interrumpido.

Tabla 1. Valores medios semanales de HRV, parámetros de carga de trabajo de entrenamiento y rendimientos competitivos.

Week	Distance (km)	Training Load (sRPE × Time)	Monotony	RMSSD (ms)	RMSSDcv (%)	RR (s)	RMSSD/RR (ms/s)	Running Performances
1	68	344	2.29	47.75	34.82	1.29	37.06	
2	55	275	1.68	54.73	34.22	1.28	42.85	
3	75	478	2.42	49.09	21.73	1.29	37.95	
4	83	512	3.51	41.29	14.74	1.28	32.19	
5	77	473	2.02	45.46	17.53	1.31	34.59	
6	65	299	1.85	45.64	20.36	1.33	34.23	41:58 (10-km)
7	77	623	1.40	46.47	12.63	1.27	36.56	
8	64	462	1.26	42.60	40.70	1.23	34.66	
9	82	509	2.23	48.48	34.19	1.29	37.60	
10	65	319	1.31	55.48	39.73	1.19	46.67	1:28:25 (21-km)
11	53	262	1.22	50.39	15.26	1.23	40.87	
12	55	381	1.36	59.52	34.60	1.28	46.61	39:56 (10-km)
13	52	363	1.52	52.26	28.21	1.26	41.61	
14	93	531	1.88	56.27	27.12	1.25	45.11	
15	70	522	2.63	54.53	25.64	1.25	43.49	
16	63	395	1.51	61.02	52.34	1.21	50.37	1:26:45 (21-km)
17	55	257	2.13	47.19	16.22	1.21	39.02	
18	84	560	2.44	50.27	12.37	1.24	40.62	
19	47	400	1.50	57.55	23.94	1.25	46.15	
20	61	212	0.77	51.73	33.42	1.19	43.31	1:26:33 (21-km)

Tabla 2. Comparación de la HRV y los parámetros de carga de trabajo de entrenamiento entre M1 y M2.

	M1	M2	t-Test (p)	Cohen's d
RMSSD (ms)	47.7 (4.60)	54.1 (4.46)	0.006	-1.407
RMSSDcv (%)	27.1 (10.7)	26.9 (11.6)	0.976	0.014
RR (s)	1.28 (0.041)	1.24 (0.025)	0.017	1.207
RMSSD/RR (ms/s)	37.44 (4.34)	43.72 (3.41)	0.002	-1.620
Distance (km)	71.1 (9.06)	63.3 (14.90)	0.174	0.651
Training load (a.u.)	429 (114)	388 (121)	0.444	0.350
Monotony (a.u.)	2.00 (0.67)	1.69 (0.57)	0.296	0.483

Hubo correlaciones significativas entre los km completados cada semana con la carga de entrenamiento ($r = 0.738$; $p < 0.00$) y la monotonía ($r = 0.552$; $p = 0.012$). Por el contrario, algunos índices de la HRV se correlacionaron entre ellos. RMSSD: RR se correlacionó con RMSSD ($r = 0.973$; $p = 0.000$), RMSSDcv ($r = 0.526$; $p = 0.027$) y RR ($r = -0.581$; $p = 0.007$), mientras que la RMSSD se correlacionó con la RMSSDcv ($r = 0.499$; $p = 0.025$). Además, la monotonía se correlacionó con los índices semanales de HVR: RR ($r = 0.447$; $p = 0.048$) y RMSSD:RR ($r = -0.458$; $p = 0.042$). No hubo correlaciones entre la carga de entrenamiento y los parámetros de la HRV. Los cambios semanales concurrentes de monotonía y RR, y monotonía y RMSSD:RR se muestran en la Figura 1.

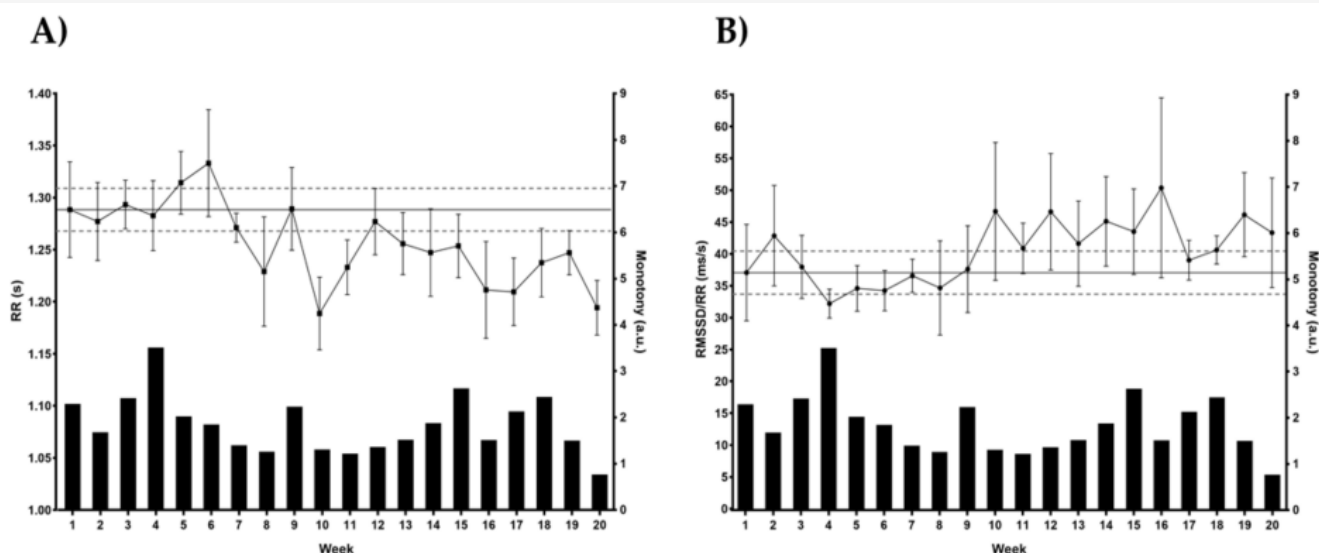


Figura 1. Cambios semanales concurrentes de monotonía e intervalos RR (A), y monotonía y relación RMSSD:RR (B). Los puntos negros representan los parámetros de la HRV, mientras que las barras negras representan las puntuaciones de la monotonía.

DISCUSIÓN

La principal y novedosa observación de este informe de caso fue la asociación entre la monotonía, un índice de periodización de la carga semanal y de la RR como de la relación RMSSD:RR. Además, nuestra hipótesis se confirmó parcialmente con sólo una reducción del RR en el M2 como indicativo de mejores rendimientos. Sin embargo, se observó una mayor RMSSD:RR con mejores rendimientos en el M2, lo que se correlacionó fuertemente con mayores valores de RMSSD en este mesociclo. Por tanto, la mejora simultánea de las modulaciones vagal (\uparrow RMSSD) y probablemente simpáticas (\downarrow RR y \uparrow RMSSD:RR) sugeriría mejores adaptaciones y, por tanto, mejores rendimientos. Además, estas adaptaciones autónomas estarían relacionadas con puntuaciones de monotonía reducidas. Por lo tanto, el registro simultáneo de la monotonía semanal y la relación RMSSD:RR pueden ser herramientas de monitoreo importantes para los

corredores de resistencia y otros atletas de resistencia.

Los resultados están en consonancia con un estudio con un triatleta de élite [7], lo que sugiere un aumento de la RMSSD asociado con adaptaciones positivas y una reducción de la relación RMSSD:RR asociado con mejores rendimientos. Sin embargo, otro estudio con remeros campeones del mundo [5] mostró reducciones sustanciales consistentes en la relación RMSSD:RR antes de actuaciones sobresalientes. Mientras tanto, no observamos la relación entre la reducción de la RMSSDcv y la mejora del rendimiento observada en otro estudio de caso con un atleta recreativo masculino [6]. Las diferencias entre los estudios pueden atribuirse a las diferencias entre las características del registro de la HRV (es decir, la posición y la duración de los registros), las periodizaciones utilizadas y las demandas deportivas. Sin embargo, el aumento de RMSSD:RR, que estaría asociado a modulaciones vagales mejoradas y también a la actividad simpática, es consistente con informes previos de desempeño mejorado en muestras de corredores recreativos con valores de RMSSD mayores [4,6], y una posible actividad simpática aumentada cercana a la competencia [8]. Esto refuerza el valor de la relación RMSSD:RR para monitorear a los corredores de resistencia recreativos, siendo los intervalos RR (es decir, un índice de efecto simpático-vagal) [12] un parámetro de HRV complementario a la RMSSD más utilizada por los practicantes. Se necesitan más estudios con muestras de corredores recreativos para corroborar estas observaciones.

Las observaciones más novedosas e importantes fueron las asociaciones identificadas entre la monotonía con los intervalos RR ($r = 0.447$; $p = 0.048$) y la relación RMSSD:RR ($r = -0.458$; $p = 0.042$). Estas correlaciones son contrarias a las adaptaciones autónomas deseadas, lo que confirma los conocidos efectos negativos de la monotonía sobre la salud y el rendimiento de los deportistas [10]. La monotonía también se asoció con el volumen semanal ($r = 0.552$; $p = 0.012$) que, a su vez, se asoció con la carga de entrenamiento ($r = 0.738$; $p < 0.00$). Esto sugeriría que el volumen, un requisito previo bien conocido para las adaptaciones de resistencia, también podría favorecer las adaptaciones negativas cuando se asocia con una alta monotonía. Es de destacar que la asociación entre el volumen de entrenamiento y la monotonía sería matemáticamente esperada en la mayoría de los casos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los parámetros de la carga de trabajo de entrenamiento entre los mesociclos, aunque el ES reveló que M1 es el mesociclo más exigente (ver Tabla 2). Al respecto, un análisis más detallado revela que el mejor rendimiento se dio en la semana 12 (39:56 en 10 km, lo que representa el 99.3% de su mejor marca) con el volumen pico alcanzado, en este caso, 3 semanas antes de las competiciones en lugar de 2 semanas como para las otras carreras. Además, este volumen máximo (es decir, 82 km) se asoció con puntuaciones de monotonía muy bajas (es decir, 1.32-1.22) durante las 2 semanas de puesta a punto antes de la competición. Por lo tanto, la identificación de los volúmenes semanales debe ir acompañada de un examen de las puntuaciones de monotonía durante varias semanas, y no por semanas, para identificar patrones individuales que se replicarán en periodizaciones futuras. Esta es una consideración importante dada la conocida limitación de las periodizaciones para inducir rendimientos máximos en un tiempo supuesto. Estas observaciones también refuerzan el riesgo asociado a los volúmenes altos, que son muy típicos del entrenamiento de corredores recreativos con fines de rendimiento [1]. En este sentido, el enfoque del informe de caso actual concuerda con las sugerencias recientes sobre la necesidad de combinar índices de carga de entrenamiento tanto internos como externos para optimizar la monitorización de la carga de entrenamiento en los corredores [13]. Por tanto, el uso simultáneo de sRPE y de HRV ampliaría la validez de las puntuaciones de monotonía para el seguimiento del entrenamiento [14], lo que debería confirmarse en estudios posteriores.

Un hallazgo interesante fue la reducción repentina de las modulaciones vagales (es decir, $RMSSD = 24.34$) debido a una influenza. Curiosamente, esta reducción repentina se produjo 1 día antes de cualquier síntoma y sirvió para cancelar el entrenamiento programado ese día. Tras 2 días de descanso, la corredora volvió progresivamente al entrenamiento normal sin que se informase de ningún problema relevante. Esta es una observación relevante que deben considerar los corredores expuestos a cualquier infección viral (por ejemplo, SARS-CoV), y se necesitan más estudios para confirmar estas observaciones.

Este estudio de caso no está exento de limitaciones. Como se trata de un informe de caso único, la generalización de estos resultados debe considerarse con precaución. Es de destacar que las características específicas del entrenamiento y las actividades diarias de la corredora pueden estar relacionadas con nuestras observaciones. Por ejemplo, la corredora siguió una "periodización evolutiva" [9], que tiene en cuenta la gestión tanto de las cargas de entrenamiento como de los hábitos del estilo de vida, incluidas las actividades profesionales, las rutinas de sueño [15], las estrategias nutricionales [16] y la actividad física ocasional [17] entre otros. En este sentido, como las cargas planificadas previamente se adaptaron a diario, teniendo en cuenta todos estos factores (incluidos los datos de la HRV matutinos [18]), no sabemos si una periodización fija daría lugar a resultados similares. Además, estas asociaciones pueden ser diferentes cuando se utilizan otros protocolos de HRV [19], parámetros [20] y aplicaciones con diferentes algoritmos de corrección [21,22,23].

Conclusiones y aplicaciones prácticas

Identificamos adaptaciones autónomas específicas relacionadas con los parámetros de carga de trabajo de entrenamiento y mejores rendimientos en una corredora recreativa de mediana edad. Específicamente, una relación RMSSD:RR mejorada

se asoció con una monotonía reducida, una respuesta consistente durante el mesociclo de mejores rendimientos. Además, también se observó una reducción en las modulaciones vagales durante los primeros días de una influenza. Los estudios futuros con corredores de diferentes edades, sexos y niveles deberían confirmar estas importantes observaciones.

Siguiendo las observaciones actuales, se puede recomendar registrar diariamente la sRPE, RMSSD y RR. El cálculo posterior de la carga de entrenamiento (es decir, sRPE × tiempo), la monotonía (es decir, la carga de entrenamiento semanal media/SD de la carga de entrenamiento semanal) y la relación RMSSD:RR, por lo tanto, ayudaría a monitorear los cambios de estos parámetros semanalmente y por mesociclo, con respecto a los cambios en el volumen de entrenamiento (km) y el rendimiento de carrera.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiación externa.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

Se renunció a la revisión y aprobación éticas para este estudio, ya que el análisis y la interpretación de los datos se realizaron como parte del régimen de un entrenamiento diseñado y supervisado por el primer autor.

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado del sujeto involucrado en el estudio.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a la atleta por su entusiasta participación y la fuerte adherencia a la periodización de entrenamiento utilizada.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original. (<https://doi.org/10.3390/jfmk6010030>). Publicado: 22 de marzo de 2021.

Cita Original

Relationships between Workload, Heart Rate Variability, and Performance in a Recreational Endurance Runner. Daniel Boulosa, André R. Medeiros, Andrew A. Flatt, Michael R. Esco, Fabio Y. Nakamura, Carl Foster. J. Funct. Morphol. Kinesiol. 2021, 6(1), 30; <https://doi.org/10.3390/jfmk6010030>