

Article

Control Diario del Equilibrio en la Recuperación de la Fatiga con Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca en Mujeres Ciclistas Bien Entrenadas en el Circuito Tour de Francia

Anna Barrero, Frédéric Schnell, Guy Carrault, Gaëlle Kervio, David Matelot, François Carré y Solène Le Douairon Lahaye

RESUMEN

Objetivos

El objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad de la frecuencia cardíaca diaria (HRV, por sus siglas en inglés) en mujeres ciclistas bien entrenadas durante el circuito Tour de Francia 2017 y relacionarla con la carga y la respuesta al esfuerzo percibido. Métodos

Diez mujeres ciclistas se ofrecieron como voluntarias para participar en el estudio. La HRV se registró con un monitor portátil de frecuencia cardíaca cada mañana en reposo en posición supina (7 min.) y de pie (7 min.), así como a lo largo de cada etapa del día. Se realizaron registros iniciales de la HRV Pre-Tour, así como durante las cuatro semanas siguientes a la finalización del Tour. La carga diaria de ejercicio se evaluó mediante la puntuación de impulso de entrenamiento (TRIMPS). El índice del esfuerzo percibido (RPE, por sus siglas en inglés) después del ejercicio se evaluó diariamente utilizando la escala Borg CR-10. Resultados

Los resultados muestran un desequilibrio de la HRV, un aumento de las actividades simpáticas y una disminución de las actividades vagales, respectivamente, a lo largo del evento que se correlacionó con el índice del esfuerzo percibido ($r = 0,46$), la puntuación de impulso de entrenamiento ($r = 0,60$) y los kilómetros ($r = 0,46$). El mayor cambio en el equilibrio de la HRV se observó los días después de la mayor carga física relativa. Los valores medios de la frecuencia cardíaca y de la variabilidad de la frecuencia cardíaca regresaron a sus valores iniciales una semana después de la finalización del evento.

Conclusiones

A pesar de la recuperación incompleta diaria, la fatiga no es acumulativa ni aumenta con cada etapa sucesiva y su carga física. Sólo una semana es suficiente para restablecer los valores iniciales. La frecuencia cardíaca y la HRV pueden utilizarse como una herramienta para planificar estratégicamente el esfuerzo de las mujeres ciclistas que participan en eventos de varias etapas.

INTRODUCCIÓN

El entrenamiento intensivo de resistencia es muy exigente para el organismo humano y sus sistemas reguladores [1]. Entre ellos, el control cardiovascular por parte del sistema nervioso autónomo (SNA) presenta alteraciones que varían con el equilibrio entre entrenamiento y recuperación. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) representa la modulación de los nodos sinusales por la rama simpática y parasimpática del SNA [2]. El análisis de la HRV se valida como un método no invasivo para estudiar las adaptaciones funcionales individuales que se producen a un estímulo de entrenamiento dado en los deportistas [1,3].

El análisis de la HRV se propone como una herramienta valiosa para estudiar el equilibrio entre el entrenamiento y la recuperación del deportista y para detectar a tiempo el estado de “overreaching” que puede disminuir el nivel de rendimiento del deportista [2,3]. Hasta donde sabemos, la mayoría de los estudios realizados sobre este tema se han centrado en deportistas masculinos o poblaciones mixtas, y muy pocos han estudiado deportistas femeninas. Esta omisión es significativa porque el control neural de la circulación difiere con el sexo, especialmente antes de la menopausia [4]. Se ha informado que los marcadores de HRV de respuesta a la actividad simpática después de una prueba de provocación ortostática son más altos en deportistas hombres que en deportistas mujeres con una carga de entrenamiento similar [5].

Además, el análisis de la HRV en deportistas se ha centrado principalmente en los cambios observados después del post-ejercicio agudo o a lo largo de una temporada de entrenamiento para prevenir la fatiga y el sobre-entrenamiento [1,6-8]. Los cambios en los parámetros de la HRV inducidos por repetidos días de ejercicio de resistencia han sido escasamente estudiados, y sólo en deportistas masculinos [9]. Sin embargo, parece que el seguimiento diario de la HRV a lo largo de un evento deportivo de varios días sería de interés para los entrenadores para anticiparse a la fatiga y guiar al deportista para su mejor rendimiento final.

Por lo tanto, los dos objetivos de este estudio fueron describir una caracterización completa de la frecuencia cardíaca en reposo (HR) y los cambios en la HRV en mujeres ciclistas bien entrenadas durante y después de un evento de ciclismo de varias etapas, y proponer un método adaptado para seguir la fatiga y la recuperación de estas deportistas a lo largo de este tipo de evento deportivo. Se planteó la hipótesis de que las ciclistas que realizan un Tour de Francia sufrirían un aumento sustancial de la HR y una disminución de la HRV en reposo a lo largo de los días, lo que se vería agravado a través de las etapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población

Diez ciclistas sanas y bien entrenadas (a nivel regional o nacional) procedentes de 4 países (Bélgica, Francia, España, Ucrania) completaron las 21 etapas del Tour de Francia masculino 2017, pero un día antes de cada etapa de la carrera oficial. El evento se realizó sin espíritu de competición. Las ciclistas completaron las etapas planas en grupo, y cada una de ellas realizó las etapas crono y de montaña a su propio ritmo.

Todas las participantes dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio, que recibió la aprobación del Comité de Ética del Hospital Universitario de Rennes (número 2013-A01524-41) y se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Evaluación Médica Pre-Participación

Todas las deportistas se sometieron a un examen médico antes del evento, incluyendo un examen físico, un electrocardiograma en reposo (ECG), un ecocardiograma transtorácico y una prueba de ejercicio cardiopulmonar máxima incremental en un cicloergómetro con freno electrónico (Excalibur Sport, Lode, Países Bajos). El protocolo de ejercicio comenzó con un período de calentamiento (100 W durante 5 minutos y 150 W durante 1 minuto) seguido de un aumento gradual de la carga de 25 W/min hasta el agotamiento. Ninguna de las deportistas ingirió anticonceptivos y su ciclo menstrual no fue controlado.

Descripción del Evento de Ciclismo

El evento de ciclismo consistió en 21 etapas y dos días de descanso (Tabla 1). Debido a la longitud de las etapas, las ciclistas se alimentaron e hidrataron continuamente en la bicicleta, según sus necesidades. Por lo tanto, la ingesta

individual de alimentos y líquidos no podía controlarse ni registrarse durante las etapas ni entre las etapas.

Tabla 1. Características de las etapas del Tour de Francia 2017.

Stage	Distance (km)	Profile
1	14	Time Trial
2	203.5	Flat stage
3	212.5	Medium mountain stage
4	207.5	Flat stage
5	160.5	Medium mountain stage
6	216	Flat stage
7	213.5	Flat stage
8	187.5	Medium mountain stage
9	181.5	High mountain stage
Rest 1		Rest Day
10	178	Flat stage
11	203.5	Flat stage
12	214.5	High mountain stage
13	101	High mountain stage
14	181.5	Medium mountain stage
15	189.5	Medium mountain stage
Rest 2		Rest Day
16	165	Medium mountain stage
17	183	High mountain stage
18	179.5	High mountain stage
19	222.5	Flat stage
20	22.5	Time trial
21	103	Flat stage

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.t001>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.t001>

Estudio de la HRV

Los valores iniciales de la HRV se establecieron a partir del promedio de cuatro días antes de la primera etapa. La HRV fue monitoreada todos los días durante el evento y el primer día después de la finalización del Tour, luego una vez por semana durante las cuatro semanas post-Tour. Las ciclistas se abstuvieron de realizar esfuerzos intensos durante los períodos pre- y post-Tour.

Registro de Muestras de RR

Las muestras del intervalo RR se registraron con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz con un monitor de HR (Polar V800, Kempele, Finlandia) [10,11]. Los registros se realizaron justo después de que la ciclista se levantara por la mañana tras un ayuno nocturno, en una habitación tranquila y semi-oscurificada, con un rango de temperatura de 22-25°C. [2]. Las muestras de RR se recogieron durante dos períodos sucesivos de 7 minutos, en posición supina y de pie [1]. Todas las deportistas estaban familiarizadas con el uso del monitor.

Análisis de la HRV

Los datos de RR registrados se descargaron a través del software Polar FlowSync para Mac versión 2.6.4 (Polar, Kempele, Finlandia) y se exportaron para su análisis con el software Kubios HRV Standard v3.0.0 2 (Grupo de Análisis de Bioseñales e Imágenes Médicas del Departamento de Física Aplicada, Kuopio, Finlandia) [10]. Para el análisis, se utilizó la última ventana de 5 minutos para cada posición. Todos los latidos ectópicos fueron filtrados con la opción de corrección de artefactos del software. Se aplicó un umbral muy bajo cuando fue necesario. Se realizaron análisis de dominio de tiempo y de frecuencia [1]. Se calculó la diferencia de la media cuadrática de los sucesivos intervalos normales de RR (RMSSD), que refleja la modulación vagal de la HR. Se analizaron los dominios de frecuencia alta (HF: 0,15-0,40 Hz) y baja (LF: 0,04-0,15Hz). La banda de HF refleja la modulación vagal mientras que la banda de LF indica influencias tanto simpáticas como parasimpáticas [1]. Se calcularon los valores absolutos de RMSSD, HFnu, LFnu (unidades normales) y su diferencia entre la posición supina y de pie. Los índices espectrales normalizados (o unidades normalizadas) son definidos por los desarrolladores del software Kubios HRV Standard v3.0.0 2 como $HFnu = HF / (LF + HF)$ y $LFnu = LF / (LF + HF)$ (Grupo de Análisis de Bioseñales e Imágenes Médicas del Departamento de Física Aplicada, Kuopio, Finlandia) de acuerdo con las recomendaciones [2].

Análisis de la Carga de Ejercicio

Cada carga diaria de ejercicio individual se calculó utilizando el método de puntuación de impulso de entrenamiento (TRIMPS) [12]. Los datos de HR y GPS se monitorizaron continuamente durante cada etapa con el monitor de HR. La HR se dividió en cinco zonas, es decir, 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90% y 90-100% de la HR máxima individual. La cuantificación de la carga de trabajo se derivó de la duración del trabajo en las cinco zonas de HR [12].

Índice del Esfuerzo Percibido

El índice individual del esfuerzo percibido (RPE, por sus siglas en inglés) se evaluó con la escala Borg CR-10 [13] dentro de los 30 minutos siguientes al final de cada etapa.

Análisis Estadístico

Los datos se presentan como media \pm SD. Todos los análisis se realizaron utilizando SPSS v.21 para Mac y STATISTICA v.7.1 para Windows. La distribución Gaussiana normal de los datos fue verificada por la prueba de Shapiro-Wilk. Se utilizó el análisis de varianza de medidas repetidas. Se utilizó la prueba post-hoc de Tukey para identificar dónde se encuentran las diferencias. Además de los efectos diarios sobre la HR y la HRV, el Tour se dividió en tres períodos: período 1 (etapas 1-9), período 2 (etapas 10-15) y período 3 (etapas 16-21), con días de descanso después de las etapas 9 y 15.

El coeficiente de correlación de producto-momento de Pearson se calculó para evaluar las relaciones entre RPE, TRIMPS, el kilometraje de las etapas y los parámetros de HR y HRV. La significación se fijó en $P < 0,05$.

RESULTADOS

Todas las ciclistas terminaron con éxito el Tour de Francia.

La Tabla 2 muestra las características demográficas y el resultado de la prueba de esfuerzo cardiopulmonar de los sujetos.

Tabla 2. Características de los sujetos

Table 1: Main information about the studies included in the qualitative analysis

Study	Participants	Intervention	Outcome
Cardiorespiratory fitness			
Aras et al, 2016	19 adults	Effects of climbing on physical condition values	Climbing improved muscle strength and endurance, VO ₂ max and reduced both fat mass and fat percentage.
Balas et al, 2014	26 male climbers	Measurement of physiological variables during a treadmill climbing-specific test.	Increase in heart rate and oxygen consumption were related to the inclination of the wall.
Bertuzzi et al, 2007	6 elite climbers and 7 recreational climbers	Comparison between energetic systems used by both groups while climbing.	Both groups used the same energetic systems. Elite climbers had better climbing economy and thus performed better on stronger wall inclinations.
Bertuzzi et al, 2012	13 climbers, 6 elite and 7 recreational	Comparison of physiological values while climbing.	Elite group presented lower reductions in grip strength and lower oxygen cost per movement.
Billat et al, 1995	4 high level climbers	Measurement of VO ₂ consumption, heart rate and blood lactate while climbing two high difficulty routes.	Fractions of VO ₂ max, maximal heart rate and blood lactate used during the ascents varied between the steep and the technical routes.
Limonta et al, 2018	7 advanced and 6 elite climbers	Comparison of oxygen demand on a cycling ergometer and a climbing treadmill	VO ₂ consumption estimated during cycling incremental tests cannot be extrapolated to VO ₂ consumptions during climbing.
Mermier et al, 1997	14 experienced climbers, 9 men and 5 women	Measurement of physiological variables while climbing three routes with different inclinations.	Nonlinear relationship between increase in VO ₂ consumption and heart rate during climbing.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.t002>

Los valores de HR, HRV y carga de trabajo se presentan para cada etapa (incluidos los días de descanso) del evento de ciclismo en la Tabla 3, y para cada período en la Tabla 4.

Tabla 3. Valores medios (\pm SD) por etapa para 10 mujeres ciclistas durante el Tour de Francia 2017

Rodio et al, 2008	13 climbers, 8 men and 5 women	Measurement of lactate, energy expenditure and VO ₂ consumption while climbing.	Energy expenditure and VO ₂ consumption during climbing are similar to values obtained during easy to moderate aerobic activities.
Watts et al, 2000	15 expert rock climbers	Comparison between active and passive recovery between intervals of climbing.	VO ₂ consumption reaches a plateau, blood lactate keeps increasing during the effort. VO ₂ consumption doesn't reflect total energy demand during climbing.
Study	Participants	Intervention	Outcome
Strength, endurance and anthropometric factors			
Balas et al, 2016	22 climbers	Comparison of different recovery strategies between intervals of climbing.	Hand shaking improved muscle re-oxygenation and optimized recovery between intervals.
Cutts et al, 1993	25, 13 of them climbers.	Comparison between finger strengths	Only pinch grip stronger in climbers. Not correlated to climbing performance.
Deyhle et al, 2015	11 male climbers	Impact of pre fatigue of different muscle groups on performance.	Digit and elbow flexors were the most determinant muscle groups in climbing performance.
Donath et al, 2013	28 climbers, 14 recreational and 14 advanced.	Determination of differences in load application according to the climbing level.	Better climbers demonstrated more symmetrical load application.
Fryer et al, 2015	38 climbers	Comparison between blood flow and muscle oxygenation during climbing specific tasks.	Muscle re-oxygenation didn't depend on blood flow.
Fryer et al, 2016	46 climbers, 36 males and 10 females.	Determination of an oxidative index of the finger flexors as a predictor of performance.	Oxidative capacity in the finger flexors predicted redpoint performance.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.t003>

Tabla 4. Valores medios (\pm SD) por período para 10 mujeres ciclistas durante el Tour de Francia 2017.

Grant et al, 1996	10 elite climbers, 10 recreational climbers and 10 matched controls.	Comparison of key performance indicators	Elite climbers had better finger and shoulder girdle strength and better hip flexibility.
Grant et al, 2001	30 women, 10 elite climbers, 10 recreational and 10 physically active	Comparison of performance factors	Greater finger strength in elite than in recreational and physically active women.
Grant et al, 2003	27, 9 climbers, 9 rowers and 9 leg trained athletes.	Comparison between finger specific strength.	No significant differences observed between the study groups
Laffaye et al, 2016	41 climbers, 15 beginners, 16 advanced and 10 elite.	Measurement of variables that could explain climbing performance	Almost half of the variance is explained by trainable factors while only a small part is explained by genetic factors.
MacLeod et al, 2007	20, 11 intermediate climbers.	Comparison of specific finger endurance.	Muscle re-oxygenation was higher in climbers and was positively correlated to climbing performance.
Mermier et al, 2000	44 climbers, 24 men and 20 women	Measurement of variance that could explain climbing level.	Almost two thirds of the variance in climbing performance could be explained by trainable factors. Anthropometric factors have only a small role in climbing performance.
Ozimek et al, 2017	20, 14 advanced and 6 elite climbers.	Comparison of strength, endurance and anthropometric factors	Elite climbers present better finger strength and arm endurance than advanced climbers.
Philippe et al, 2012	24, 12 elite male and female climbers, 12 physically active matched controls	Comparisons in flexor strengths, muscle endurance and oxygenation	Superior endurance and muscle oxygenation in climbers than in controls.
Schreiber et al, 2015	31 experienced male rock climbers	Evaluation of connective tissue in hands	Increased thickness of tendon flexor pulleys and articular capsule of the distal interphalangeal joint.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.t004>

Para ver la evolución de los sujetos a lo largo del evento de ciclismo, la Fig. 1 presenta los valores de HR, HRV y carga de trabajo para cada etapa (incluidos los días de descanso).

Schoffl et al, 2006	28 male climbers	Performance measures taken while climbing on a treadmill.	Moderate lactate accumulation observed and the reduction in heart rate was considered useful as a recovery indicator.
Vigoureaux et al, 2015	25, 12 climbers, 9 men and 3 women and 13 non-climbers.	Comparisons in capacities of finger flexors.	Both male and female climbers presented stronger finger flexors than non-climbers.
Wall et al, 2004	18 women, 6 moderate level, 6 advanced and 6 elite climbers.	Performance on 2 different climbing tests and strength evaluations.	Elite climbers presented better hand strength and one arm lock-off strength than advanced and moderate climbers.
Watts et al, 1996	11 expert climbers	Measurement of handgrip strength, endurance and blood lactate evolution after several intervals of maximal intensity climbing.	Both handgrip strength and endurance are reduced after several intervals of climbing. Handgrip strength recovers faster than endurance and blood lactate is still elevated after 20 minutes of complete rest.
Study	Participants	Intervention	Outcome measured
Psychological factors			
Asci et al, 2007	64 climbers	Comparison of sensation seeking, self-perception and motivation in different groups of climbers.	Climbers presented high sensation seeking, internal motivation and positive self-perception regardless of their performance level.
Fryer et al, 2013	21 climbers, 18 men and 3 women	Comparison of stress during top-rope or lead ascents.	High level climbers were not affected by stress during lead climbing.
Hardy et al, 2007	10 experienced climbers	Evaluation of anxiety levels in different groups of climbers.	Higher anxiety levels were positively correlated to performance and higher level of climbing.
Nieuwenhuys et al, 2008	12 non-climbers, 7 men and 5 women.	Evaluation of the effects of anxiety on visual information processing during climbing.	Anxiety produced worse information processing during climbing in non-climbers.
Sanchez et al, 2012	29 male climbers	Evaluate of the effects of route previsualization on climbing performance of different climbing levels.	Only expert climbers did benefit from route previsualization.

Figura 1. Evolución de los parámetros de la Frecuencia Cardíaca y la HRV etapa por etapa.

Los datos se presentan como valores medios de grupo. Valores absolutos de HR diferentes del valor inicial* ($P < 0,05$); diferentes de la etapa anterior # ($P < 0,05$). Valores de HR de pie - HR en supino diferentes del valor inicial \$ ($P < 0,05$). Al leer las diferencias, tenga en cuenta que todos los valores se registraron en la mañana de cada etapa, lo que refleja el efecto de carga de la etapa anterior.

HR: frecuencia cardíaca; RMSSD: media cuadrática de las diferencias sucesivas; HF: alta frecuencia; LF: baja frecuencia; ms: milisegundos, n.u.: unidades normalizadas; TT: prueba crono; FT: etapa plana; MM: etapa de montaña media; HM: etapa de montaña alta; Post: período del evento post-ciclismo.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.g001>

Para tener una visión más amplia de la evolución de los sujetos, la Fig. 2 ilustra los parámetros de HR y HRV por períodos.

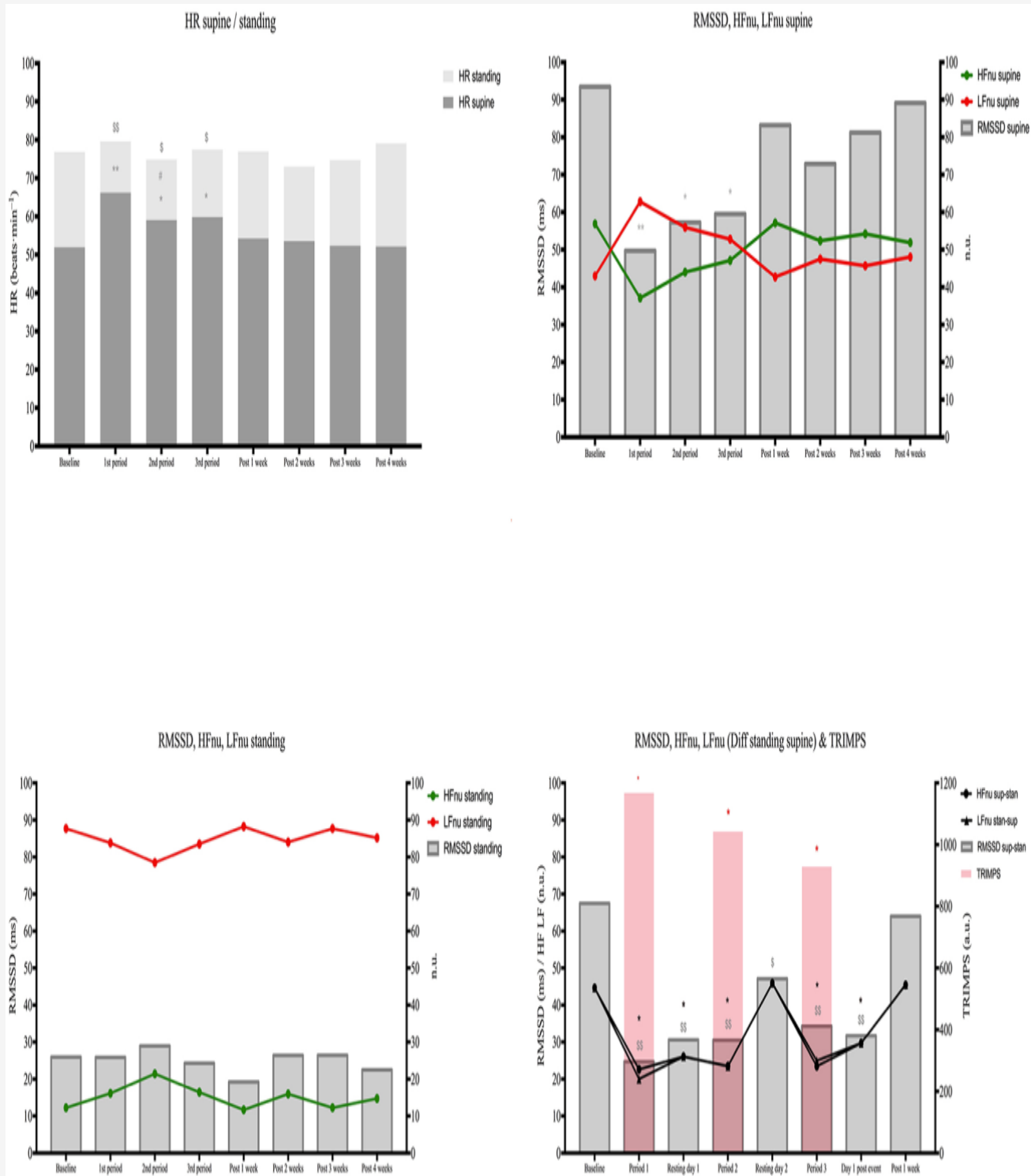


Figura 2. Evolución de la frecuencia cardíaca y de los parámetros de la HRV por período.

Los datos se presentan como valores medios de grupo para cada período. Período 1: desde la etapa 1 a la etapa 9 inclusive, período 2: desde la etapa 10 hasta la etapa 15 inclusive, período 3: desde la etapa 16 hasta la etapa 21 inclusive. Post: periodo post-Tour. Diferencias estadísticas: Diferente del inicio * ($P < 0,05$); diferente del período anterior # ($P < 0,05$). Valores en posición de pie-supino diferentes del inicio \$ ($P < 0,05$); diferente del período anterior £ ($P < 0,05$). HR: frecuencia cardíaca; RMSSD: media cuadrática de las diferencias sucesivas; HF: alta frecuencia; LF: baja frecuencia; ms: milisegundos; n.u.: unidades normalizadas; TRIMPS: impulso de entrenamiento.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213472.g002>

Evolución de la Frecuencia Cardíaca

La HR en supino durante el período 1 aumentó en comparación con su valor basal después de la etapa 2 (plana). Este aumento persistió hasta la etapa 9 sin diferencia entre las etapas. Durante el período 2, la HR aumentó después de la primera etapa de montaña media (12ª etapa) y luego disminuyó a su valor basal. Durante el período 3, la HR fue superior a su valor basal sólo después de las etapas 17 (montaña alta) y 19 (plana). Para cada uno de los tres períodos, la HR global en supino fue mayor que el valor basal. La HR fue mayor durante el período 1 que durante los períodos 2 y 3, pero no se observó ninguna diferencia entre los períodos 2 y 3. El valor de la HR volvió a sus valores basales después de cada día de descanso y durante el período de recuperación.

Los valores de la HR de pie no presentaron ninguna diferencia durante el evento de ciclismo, excepto después de la fase 2 (Fig. 1). No se observaron diferencias entre los tres períodos. Se observaron correlaciones positivas entre la HR en supino y la distancia de la etapa ($r = 0,46$; $P = 0,037$), TRIMPS ($r = 0,60$; $P = 0,004$) y RPE ($r = 0,46$; $P = 0,038$). Cuanto mayor era la carga de trabajo, mayor era la HR en supino después de una noche de recuperación.

Evolución de HFnu y LFnu

La HFnu en supino se redujo en comparación con su valor basal desde la etapa 2 hasta el primer día de descanso, después de lo cual volvió al valor basal (Fig. 1). Luego, el valor de HFnu disminuyó desde la etapa 19 y volvió a su valor basal después de la etapa 21. Por último, el valor de HFnu estaba muy cerca de su valor basal después de una semana de recuperación. Como era de esperar, la LFnu reflejó la evolución de la HFnu, con un aumento de la LFnu en comparación con los valores basales y de recuperación. Los cambios en la LFnu diaria fueron más frecuentemente diferentes a los de la HFnu y la LFnu general fue mayor que la HFnu durante todo el evento ciclista. Se observó lo contrario sólo antes del inicio del evento y durante la recuperación. No se observaron diferencias entre los valores medios de la HFnu en supino y la LFnu por período (Fig. 2). Las diferencias diarias de posición de pie-supino para la HFnu y la LFnu fueron menores que sus valores basales durante todo el Tour, excepto después del segundo día de descanso. No se observaron diferencias después de una semana de recuperación (Fig. 1). El análisis del período medio de la diferencia entre la posición de pie-supino de estos parámetros mostró las mismas diferencias significativas que los valores diarios comparados con los iniciales durante los tres períodos, excepto para el segundo día de descanso (Fig. 2). Los valores de la HFnu de pie fueron más bajos y los valores de la LFnu más altos que los de la posición en supino, sin variación durante el evento cíclico (Figs 1 y 2).

Evolución de la RMSSD

La evolución global de la RMSSD en supino mostró la misma tendencia que la HFnu, a pesar de que más etapas mostraron disminuciones de la RMSSD (Fig. 1). Lo mismo se observó con el análisis de períodos, con una disminución más marcada de la RMSSD durante todos los períodos en comparación con el período basal y el de recuperación (Fig. 2). No se observó ninguna variación significativa para la RMSSD de pie.

La diferencia diaria entre la RMSSD en posición de pie-supina fue inferior al valor basal durante todo el período de ciclismo, excepto después del segundo día de descanso y después de una semana de recuperación (Fig. 2). Hubo una correlación significativa entre la RMSSD en supino y la distancia de las etapas ($r = -0,45$; $P = 0,0001$). El análisis del período medio de la RMSSD en posición de pie-supina muestra una reducción en comparación con los valores iniciales, pero sin diferencias entre los períodos (Fig. 2).

Evolución del índice del Esfuerzo Percibido

Hubo una disminución más marcada después del primer día de descanso que después del segundo (Tabla 3). La evolución del RPE se relacionó positivamente con los TRIMPS ($r = 0,61$, $P = 0,003$) y con la distancia de las etapas ($r = 0,91$, $P = 0,0001$).

DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, este estudio es el primero en investigar las respuestas diarias de la HR y la HRV en reposo en mujeres ciclistas bien entrenadas durante un evento de ciclismo de varias etapas. Hemos observado respuestas variables de los parámetros de HR y HRV en relación con la distancia de la etapa a lo largo del Tour, lo que confirma parcialmente nuestra hipótesis. La diferencia entre la HR y la HRV en posición de pie y en supino tiene una aplicación práctica para controlar la fatiga en una mujer ciclista.

Evolución de los Índices de HR y HRV Durante el Evento de Ciclismo

Como se propuso, se estudiaron las respuestas de los índices de HRV y la diferencia en la HR en posición de pie/supina al

estrés ortostático que refleja la adaptación del nódulo sinusal [1]. Dado que los cambios significativos se referían principalmente a los valores en reposo y no a los valores en posición de pie (Figs. 1 y 2), el debate se centrará en los índices de la HRV en reposo. Globalmente observamos una inversión de la relación LFnu/HFnu con un valor superior a 1 durante todo el evento, excepto para un valor después del segundo día de descanso, en comparación con un LFnu/HFnu inferior a 1 durante los períodos pre-carrera y post-carrera. Durante el primer período (etapas 1-9) del evento, tanto los cambios en la HR como en la HRV muestran un patrón bifásico. De hecho, en comparación con el valor basal, el período 1 mostró tres partes. No se observó ningún cambio después de las etapas 1 y 2, luego después de las etapas 3 a 5 se observó una disminución estadísticamente significativa de la respuesta de la HR. Con respecto a los índices de la HRV, observamos un aumento significativo en la relación LFnu/HFnu explicado por un aumento significativo en el input simpático (LFnu) asociado con una disminución significativa en el input parasimpático (HFnu). Por último, en las etapas 6 a 9 hubo una disminución menos marcada de la HR asociada con un aumento progresivo de la HFnu y una disminución de la LFnu (Figs 1 y 2). La disminución de la diferencia de la HR en posición de pie/supina observada durante los estadios 3 a 9 se debió tanto a un aumento de la HR en reposo como a una disminución de la HR en posición de pie. A lo largo del segundo y tercer período se atenuaron las respuestas de la HR y la HRV al estrés ortostático, con cambios similares a los observados en los estadios 6-9. La disminución de las respuestas de la HR durante estos dos períodos se debió a un menor aumento de la HR de pie que durante el período basal, con menos cambios en la HR en supino. Cabe señalar que a pesar de un nivel muy bajo de TRIMPS medio durante las dos últimas etapas del Tour (20-21), 124 au y 276 au, respectivamente, observamos una marcada disminución de la respuesta de la HR al estrés ortostático debido a un bajo aumento de la HR y un marcado aumento de la LFnu/HFnu al estar de pie. Esta discrepancia entre el TRIMPS y la respuesta de la HR podría interpretarse como un signo de fatiga.

La respuesta bifásica observada durante el período 1 no se relacionó con una diferencia de carga de trabajo (TRIMPS medio 1205 au y 1397 au, respectivamente, para las etapas 3-5 y 6-9; NS). La respuesta de la HR y de la HRV que observamos puede explicarse por el cambio en la precarga cardíaca que se informa después de unos días de entrenamiento intenso, debido al retraso de las respuestas hormonales [14, 15]. Una respuesta bifásica similar observada en la función ventricular izquierda ha sido informada después de un ciclismo de varias etapas simulado de cuatro días [16]. La mayor carga de trabajo registrada durante el primer período en comparación con el segundo y tercer período podría explicar las diferencias observadas en las respuestas de la HR y la HRV.

El efecto beneficioso de un día de descanso para las respuestas al estrés ortostático aparece claramente en las Figs. 1 y 2, tanto durante un día como durante el período de recuperación post-Tour. En cuanto a los efectos de los días de descanso propuestos durante la carrera, hasta donde sabemos, sólo un estudio investigó los efectos sobre los índices de la HRV de los días de descanso (días 10 y 17) durante la Vuelta a España realizada por ciclistas masculinos. Al igual que en el presente estudio, no se observaron diferencias entre los días de descanso y los índices de HRV pre-carrera [9]. Nuestros resultados muestran que después de una semana de recuperación post-carrera, todos los parámetros de HR e índices de HRV fueron similares a los valores basales pre-evento.

Los valores de RMSSD en supino, otro parámetro parasimpático, imitan las respuestas globales de la HFnu (Figs 1 y 2). Después de las dos etapas más duras del evento (etapas 9 y 12 de la HM, con 181 y 214 km), se observó una disminución aguda de los valores de RMSSD en supino y de pie (Fig. 1).

En resumen, en comparación con el valor basal, las respuestas diarias de la HR y la HRV a una prueba ortostática activa varían con la duración del evento de ciclismo. Las marcadas alteraciones temporales de las respuestas de la HR y del equilibrio autónomo (LFnu/HFnu) observadas durante las primeras etapas no parecen deberse a un estado de fatiga real sino a estímulos de estrés agudo (sujetos no acostumbrados a estas distancias). Durante las siguientes etapas se observó una disminución estable y modesta de las respuestas de la HR y un aumento de LFnu/HFnu. No se observó un patrón de acumulación de fatiga con la repetición de las etapas. Sin embargo, al final del evento (dos últimas etapas) se observó de nuevo una marcada alteración de los parámetros estudiados. Estos resultados están de acuerdo con el patrón de "fatiga" más común descrito en los deportistas durante un entrenamiento intensivo [17]. Esto se confirma por la rápida y completa recuperación después de una semana. Otra observación es que la respuesta de la HR en supino se correlacionó con la distancia de las etapas, TRIMPS y RPE.

Aplicaciones Prácticas del Estudio

Varios estudios, revisiones y meta-análisis están a favor del valor del seguimiento de la HRV en deportistas masculinos y femeninos para guiar su entrenamiento con el fin de prevenir el overreaching y el sobre-entrenamiento [1,3,18,19]. Nuestro estudio corrobora que la HRV es una herramienta útil y no invasiva que puede ayudar a programar el entrenamiento e identificar la fatiga en los ciclistas de resistencia. Desde un punto de vista práctico, los resultados de este estudio pueden ayudar a proponer los parámetros validados más útiles para una práctica diaria durante un evento de ciclismo de varias etapas. A nivel mundial, dada su falta de sensibilidad, la contribución de las variaciones aisladas de los parámetros de la HR y la HRV en posición de pie utilizados en este estudio parece ser la menos importante (Figs. 1 y 2).

Con respecto a la encuesta de HR, la diferencia entre la HR de pie y la HR supina después de una prueba ortostática activa mostró un buen valor y las variaciones de la HR en reposo en supino parecen ser una herramienta muy sencilla. En cuanto a los parámetros de la HRV, el uso de dos índices (RMSSD y HFnu) que reflejan la respuesta del nodo sinusal a los estímulos parasimpáticos no parece útil. La asociación de los dos índices espectrales de LFnu y HFnu en posición supina parece ser la más informativa.

Limitaciones del Estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones. Primero, el número de deportistas estudiados fue pequeño. Esta limitación se debió principalmente a la logística diaria específica y pesada asociada a este proyecto que no era una competición oficial. En segundo lugar, el evento de ciclismo no fue competitivo y nuestros resultados deben ser confirmados en competición debido al estrés somático específico vinculado a la competición. En tercer lugar, la recuperación diaria incluía sólo una noche de descanso sin una nutrición científicamente adaptada o una sesión de masaje. Una recuperación más científica podría alterar los resultados observados.

CONCLUSIONES

La caracterización de la respuesta de la HRV durante todo el Tour de Francia añade nueva información sobre la respuesta simpátovagal fluctuante de un evento de ultra-resistencia. A pesar de la recuperación incompleta, el grado de supresión cardíaca con cada etapa sucesiva, y su carga física, no es acumulativo ni aumentado. Sólo una semana es suficiente para restablecer los valores iniciales. Estos resultados sugieren que las ciclistas bien entrenadas sólo necesitan una semana para recuperarse de un esfuerzo como el circuito del Tour de Francia.

Agradecimientos

Los autores agradecen la entusiasta participación de los sujetos en este estudio y el generoso apoyo técnico de Johan Cassirame y Armel Cretual. También agradecemos a Dave Tanner por su ayuda en la corrección de textos en inglés.

REFERENCIAS

1. Buchheit M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol.* 2014;5:73. [pmid:24578692](#)
2. Heart rate variability: standards of measurement physiologica interpretation and clinica use. (1996). Task Force of the European society of Cardiology and the North American Society of Pacing Circulation. 1996;93(5):1043-65.
3. Bellenger CR, Fuller JT, Thomson RL, Davison K, Robertson EY, Buckley JD. (2016). Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ).* 2016;46(10):1461-86
4. Joyner MJ, Barnes JN, Hart EC, Wallin BG, Charkoudian N. (2015). Neural control of the circulation: how sex and age differences interact in humans. *Comprehensive Physiology.* 2015;5(1):193-215. [pmid:25589269](#)
5. Schafer D, Gjerdalen GF, Solberg EE, Khokhlova M, Badietia V, Herzig D, et al. (2015). Sex differences in heart rate variability: a longitudinal study in international elite cross-country skiers. *European journal of applied physiology.* 2015;115(10):2107-14. [pmid:26002403](#)
6. da Silva VP, de Oliveira NA, Silveira H, Mello RG, Deslandes AC. (2015). Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review. *Annals of noninvasive electrocardiology: the official journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc.* 2015;20(2):108-18.
7. Hautala AJ, Kiviniemi AM, Tulppo MP. (2009). Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009;33(2):107-15. [pmid:18514313](#)
8. Perkins S, Jelinek H, Al-Aubaidy H, de Jong B. (2016). Immediate and long term effects of endurance and high intensity interval exercise on linear and nonlinear heart rate variability. *Journal of science and medicine in sport.* 2016;S1440-2440(16):30152-9.
9. Earnest CP, Jurca R, Church TS, Chicharro JL, Hoyos J, Lucia A. (2004). 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 [pmid:15388541](#)
10. Caminal P, Sola F, Gomis P, Guasch E, Perera A, Soriano N, et al. (2018). Validity of the Polar V800 monitor for measuring heart rate variability in mountain running route conditions. *European journal of applied physiology.* 2018;118(3):669-77. [pmid:29356949](#)

11. Vanderlei LC, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. (2008). Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res.* 2008;41(10):854-9. *pmid:18853042*
12. Edwards S. (1993). The heart rate monitor book. Sacramento: Fleet Feet Press; 13. Borg G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Champaign, IL, US: Human Kinetics; 1998.* viii, 104-viii, p.
14. Buchheit M, Laursen PB, Al Haddad H, Ahmaidi S. (2009). Exercise-induced plasma volume expansion and post-exercise parasympathetic reactivation. *European journal of applied physiology.* 2009;105(3):471-81. *pmid:19009307*
15. Convertino VA. (1991). Blood volume: its adaptation to endurance training. *Medicine and science in sports and exercise.* 1991;23(12):1338-48. *pmid:1798375*
16. Oosthuysen T, Avidon I, Likuwa I, Woodiwiss AJ. (2012). Progression of changes in left ventricular function during four days of simulated multi-stage cycling. *European journal of applied physiology.* 2012;112(6):2243-55. *pmid:21997679*
17. Schmitt L, Regnard J, Desmarests M, Mauny F, Mourot L, Fouillot JP, et al. (2013). Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS One.* 2013;8(8):e71588. *pmid:23951198*
18. Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports medicine (Auckland, NZ).* 2013;43(9):773-81.
19. Vesterinen V, Nummela A, Heikura I, Laine T, Hynynen E, Botella J, et al. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and science in sports and exercise.* 2016;48(7):1347-54. *pmid:26909534.*