

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA
Y EL DEPORTE



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA Y
MONITORIZACIÓN DE LA CARGA EN DEPORTES
CÍCLICOS DE RESISTENCIA

Curso académico: 2019/20

Alumno: Atanasio Picazo Gómez

Tutor académico: Alejandro Javaloyes Torres

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGÍA	4
3. RESULTADOS	5
4. DISCUSIÓN	7
5. CONCLUSIÓN.....	9
6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	9
7. BIBLIOGRAFÍA	10



1. INTRODUCCIÓN

Las cargas de entrenamiento son estímulos de distinta intensidad, duración y frecuencia aplicados a un deportista para la mejora de su rendimiento. Estas cargas pueden producir mejoras del rendimiento o, por lo contrario, lesiones y sobreentrenamiento funcional (Budgett, 1998; Halson, 2014; Halson & Jeukendrup, 2004). Por ello, con el motivo de controlar las adaptaciones a estos estímulos, se mide de una forma cuantificable el efecto que produce el entrenamiento. Los principales motivos por los que se lleva a cabo esta monitorización de las cargas de entrenamiento, el mantenimiento del rendimiento y la prevención del sobreentrenamiento funcional (Halson, 2014).

Son muchas las variables y métodos que se emplean para controlar tanto la carga interna como la carga externa producida por el entrenamiento. La carga externa es el trabajo realizado por el deportista, independientemente de cualquier indicador interno, y puede ser medida, por ejemplo, utilizando la distancia recorrida o la potencia producida. La carga interna es la respuesta de los diferentes sistemas del organismo a la realización de la carga externa y también es medible, entre distintos métodos, a través de la frecuencia cardiaca, los niveles de lactato en sangre o la percepción subjetiva del esfuerzo (Bourdon et al., 2017; Halson, 2014).

La monitorización de la carga es una herramienta útil que nos permite predecir el rendimiento y reducir el riesgo de lesiones, para ello es importante realizar mediciones tanto de carga externa como interna. Es necesario seleccionar las variables más adecuadas en función de la modalidad deportiva y saber interpretar la información que se obtiene para poder individualizar correctamente la carga de entrenamiento (Bourdon et al., 2017; Mujika, 2017).

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es el análisis de la variación de tiempo entre latido y latido o la duración de los intervalos R-R, el tiempo que pasa entre una onda R y la siguiente. Esta variabilidad en la frecuencia de los latidos es un marcador que refleja la modulación cardiaca de la que se encarga el sistema nervioso autónomo a través de sus dos ramas en respuesta a estímulos físicos y fisiológicos (Makivić, Nikić, M, & Willis, M, 2009). Entre otros factores que influyen en el cambio de la duración del tiempo entre latidos se encuentra la arritmia sinusual respiratoria (Billman, 2011), los niveles de estrés (Kim, Cheon, Bai, Lee, & Koo, 2018) o la realización de entrenamiento físico (Dong, 2016).

La medición de la carga mediante este método, nos da información del estado del estado del sistema nervioso autónomo del deportista mediante un método no invasivo y de bajo coste (Dong, 2016), pudiendo ser de fácil aplicación pues es medible a través de una aplicación móvil (Flatt & Esco, 2013; Perrotta, Jeklin, Hives, Meanwell, & Warburton, 2017).

Un incremento de la VFC tendrá asociada mayor activación de la rama parasimpática o vagal y, por el contrario, una disminución de la VFC estará asociada a una mayor activación de la rama simpática (Dong, 2016). Cuando realizamos una actividad física, los niveles de activación de la división simpática son mayores que los de la división parasimpática y con ello se produce una serie de respuestas fisiológicas llamadas respuestas de lucha o huida, por ejemplo: el aumento del ritmo cardiaco y dilatación de las vías aéreas, entre otras muchas. Por otro lado, cuando la actividad física cesa, se produce mayor activación parasimpática y por lo tanto una serie de respuestas de descanso y recuperación (Tortora & Derrickson, 1975).

La VFC se puede analizar a través del dominio tiempo con variables como la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de los intervalos R-R sucesivos (RMSSD), la desviación estándar de los intervalos R-R (SDNN) o el porcentaje de los intervalos R-R que discrepan en más de 50ms. entre sí (pNN50) y a través del dominio frecuencia diferenciando, por ejemplo, entre alta frecuencia (HF), baja frecuencia (LF) o muy baja frecuencia (VLF) (Malik, 1996). La más utilizada es la variable RMSSD por considerarse fiable y no estar influenciada por el ritmo respiratorio (Haddad, Laursen, Didier, Ahmaidi, & Buchheit, 2011).

Se ha demostrado que, tras el cese de la actividad física, hay altos niveles basales de VFC relacionados con la activación parasimpática y una adaptación positiva al entrenamiento intenso de resistencia. Por el contrario, bajos niveles de VFC se relacionan con una elevada activación simpática y una menor capacidad de adaptación, por lo que necesitaran mayores tiempos de recuperación (Hautala et al., 2003; Vesterinen et al., 2013). Cuando un deportista se desplaza a un lugar de mayor altitud para entrenar, la VFC sufre alteraciones: aumento de la actividad simpática y descenso de la actividad parasimpática por lo que se recomienda reducir la intensidad para no aumentar en exceso la fatiga (Schmitt, Regnard, Coulmy, & Millet, 2018). También, una excesiva activación parasimpática puede relacionarse con una sobrecarga funcional (Le Meur et al., 2013)

Las personas sedentarias o con baja capacidad física aeróbica tienen niveles bajos de VFC (Hautala et al., 2003). El aumento de la VFC en periodos de entrenamiento se relaciona con la mejora del rendimiento en deportes de resistencia (Hautala et al., 2003; Nummela, Hynynen, Kaikkonen, & Rusko, 2010; Vesterinen et al., 2013). Diferentes autores encontraron correlación entre los cambios en respuesta al entrenamiento de valores de la VFC y de VO_{2MAX} , siendo este último un parámetro indicador de la mejora de la resistencia cardiovascular (Buchheit, Haddad, & Laursen, 2010; Nummela et al., 2010).

Debido a esta relación entre el rendimiento de los deportistas y el aumento de la VFC, más concretamente con la activación parasimpática (Bourdillon et al., 2018), puede ser útil como herramienta para comprender la respuesta al entrenamiento (Wallace, Slattery, & Coutts, 2014) y predecir el rendimiento en deportes de resistencia (Stanley, D'Auria, & Buchheit, 2015).

Dependiendo del tipo de carga de entrenamiento que se realiza la afectación es distinta sobre el SNA. Los entrenamientos de alta intensidad producen un mayor descenso de la activación vagal que los entrenamientos a baja intensidad (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014). Por otro lado, aquellos entrenamientos de baja intensidad se han relacionado con una recuperación de la actividad parasimpática (Schmitt et al., 2018). Además, el volumen de la carga de entrenamiento también afecta a la VFC reduciéndola (Buchheit, 2014).

Respecto a la capacidad de predicción del rendimiento, (Stanley et al., 2015) mostró la utilidad de la VFC para detectar si un triatleta ha realizado un "afinamiento" correcto y por tanto un rendimiento óptimo o no en competición. En periodos de sobrecarga, en los que aumenta la actividad parasimpática, un descenso de esta puede estar relacionada con un rendimiento positivo (Plews, Laursen, & Buchheit, 2016).

Una prescripción del entrenamiento que se ayude en la interpretación de los datos de una correcta medición de la VFC, va a permitir al deportista realizar entrenamientos de alta intensidad aquellos días en los que realmente está en condiciones de realizarlos, ya que estos son los que más afectan al SNA (Pichot et al., 2000). Así, podrá obtener mejores adaptaciones que las que obtiene un deportista que realiza un plan de entrenamiento predeterminado (Kiviniemi et al., 2010; Kiviniemi, Hautala, Kinnunen, & Tulppo, 2007).

En el estudio de Kiviniemi et al. (2010) se utilizaron mediciones individuales para realizar la prescripción del entrenamiento, en cambio, otros estudios (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2013) utilizaron la tendencia de las mediciones de días anteriores para establecer un rango al que los autores llaman "smallest worthwhile change" en el que comparan las mediciones individuales de cada día, obteniendo mejores resultados.

Dependiendo del tipo e intensidad del entrenamiento, del género o del nivel de entrenamiento del deportista, los cambios en la VFC pueden ser diferentes (Plews et al., 2016). Es por ello, que el objetivo de este trabajo es revisar como utilizar la medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su interpretación para, junto con una monitorización de la carga de entrenamiento, llevar a cabo un control sobre las adaptaciones que produce el entrenamiento en deportes cíclicos de resistencia.

2. METODOLOGÍA

Para responder al objetivo marcado se realizó una revisión sistemática en la que se hizo una búsqueda de artículos de interés en las bases de datos Scopus y PubMed.

Las palabras clave, en inglés, introducidas en la búsqueda fueron:

- “Variabilidad de la frecuencia cardíaca” (“heart rate variability”) o su abreviatura “VFC” (“HRV”);
- “Monitorización” (“monitoring”)
- “Ejercicio”, “entrenamiento”, “deporte” y “actividad física” (“exercise”, “training”, “sport” y “physical activity”).

La estrategia de búsqueda inicial incluía términos relacionados con el entrenamiento o deportes de resistencia, pero el número de resultados era muy reducido a no ser que se introdujera en la búsqueda muchas modalidades deportivas. La búsqueda se realizó en los siguientes términos:

“TITLE-ABS-KEY("heart rate variability" OR HRV) AND TITLE-ABS-KEY(exercise OR training OR sport OR "physical activity") AND TITLE-ABS-KEY ("monitoring") AND NOT TITLE-ABS-KEY(patholog* OR injur* OR old OR child OR adolescent OR elder*) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014)) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Human")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English")) “ para Scopus y (“heart rate variability” OR HRV) AND (exercise OR training OR sport OR "physical activity") AND (monitoring) NOT (patholog* OR injur* OR old OR child OR adolescent OR elder*)” para PubMed. Seguidamente se realizó un filtrado para seleccionar los artículos que hubieran sido publicados en los últimos 5 años y que estuvieran redactados en inglés.

Tras la introducción de estos filtros el número de artículos seleccionados fue de 251 (145 SCOPUS y 106 PubMed). Con la aplicación Mendeley se gestionaron y eliminaron los artículos duplicados (n=63). Como resultado de este proceso se obtuvieron 188 resultados.

Los criterios de inclusión y exclusión fueron los siguientes:

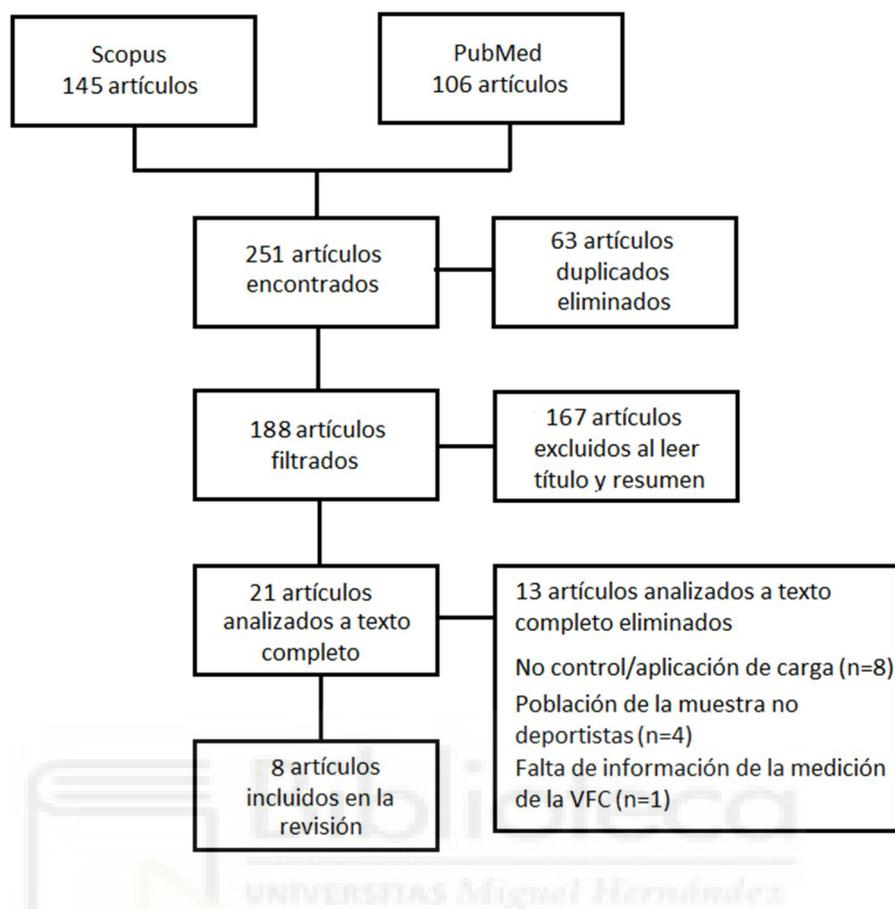
- trabajos realizados con deportistas de modalidades cíclicas de resistencia
- artículos que detallaran datos y descripción sobre la medición de la VFC y que se aplicara o controlara algún tipo de carga de entrenamiento.
- trabajos realizados con población adulta sana.

Una vez aplicados estos criterios se obtuvieron 21 artículos que fueron evaluados más detalladamente, leyendo completamente, para decidir si eran incluidos finalmente en la revisión.

Tras su lectura, se excluyeron 13 artículos por no aplicarse o controlarse ningún tipo de carga (n=8), por realizarse en población no deportista (n=4) y por no aportar información sobre cómo se llevaron a cabo las mediciones de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (n=1).

Finalmente, de los 188 artículos encontrados en la primera búsqueda, fueron incluidos en la revisión 8 artículos.

Dibujo 1. Diagrama de flujo.



3. RESULTADOS

Los artículos revisados aparecen en la tabla de resultados. Todos ellos tratan de deportes cíclicos de resistencia, se lleva a cabo una medición de la VFC y un control de la carga de entrenamiento.

La muestra total de esta revisión es de 861 deportistas, distribuidos entre: corredores de fondo, ciclistas, remeros, triatletas y usuarios de la aplicación HRV4Training. Todos son deportistas de élite o al menos bien entrenados.

El tiempo de la intervención en estos estudios va desde las 2 semanas hasta los 8 meses de duración de las mediciones de la VFC va desde 1'-15', siendo las de 5' las más repetidas (4 veces).

Las variables de la VFC medidas en cada trabajo son distintas. La mayoría (n=6) utilizan medidas de tiempo (RMSSD y Ln RMSSD) y hay 2 artículos (L.K. Wallace et al. 2014 y N. Bourdillon et al. 2018) que utilizan tanto variables de tiempo como de frecuencia.

La medición de la VFC se lleva a cabo en la mayoría de los artículos (n=4) en posición supino tumbados en 4 de los trabajos y el momento de la medición de la VFC es al despertar en 6 de los artículos.

Artículo	N	Tipo N	Duración de la intervención	Variables de la carga de entrenamiento	Medición de la VFC				Conclusiones				
					Variables utilizadas	Duración	Postura del cuerpo	Momento	Parámetros relacionados	Respuesta de la VFC			
L. K. Wallace et al. 2014	6	Corredores de fondo	15 semanas	TSS, sRPE y TRIMP	Dominio tiempo y dominio	3'	De pie	Al despertar	Fatiga	↓ SD1 (aumento fatiga)	↑ SD1 (descenso fatiga)		
D. Saboul et al. 2016	11	Corredores de fondo masculinos bien entrenados	2 semanas	UA	rMSSD	5'	Posición supino	Pre5, post5 y post 30 min del entrenamiento	Intensidad del entrenamiento	↓ rMSSD (aumento intensidad)	↑ rMSSD (descenso intensidad)		
J. Stanley et al. 2015	1	Triatleta profesional masculino	32 semanas	TSS	Ln rMSSD y Ln rMSSD:RR	5'	Sentados	Al despertar	"Coping" carga entrenamiento	↑ Ln rMSSD			
									No "coping" carga entrenamiento	↓ Ln rMSSD			
									Rendimiento optimo en competición	↓ Ln rMSSD;	↓ Ln rMSSD:RR		
									Rendimiento suboptimo en competición	↓ Ln rMSSD;	≈ Ln rMSSD:RR		
D. J. Plews et al. 2014	9	Remeros de elite (M:5 F:4)	26 semanas	TRIMP	Ln rMSSD	5'	Tumbados	Al despertar	Aumento carga y tiempo entrenamiento	= Ln rMSSD			
									Aumento tiempo entrenamiento <LT1	↑ Ln rMSSD			
									Aumento tiempo entrenamiento = LT1-LT2	= Ln rMSSD			
									Aumento tiempo entrenamiento >LT2	↓ Ln rMSSD			
M. Altini et al. 2016	797	Usuarios HRV4Training	3 semanas a 5 meses	Baja o alta intensidad	rMSSD	1'-5'	Tumbados	Al despertar	Entrenamiento suave	↑ rMSSD			
									Entrenamiento intenso	↓ rMSSD			
N. Bourdillon et al. 2018	15	Corredores y ciclistas	7 semanas	TRIMP	Dominio tiempo y dominio frecuencia	6'/12'	Sentados (3'/6') y de pie (3'/6')	Al despertar	OVL (FOR)	= rMSSD			
									OVL (AF)	↑ rMSSD			
									RCV (FOR)	= rMSSD			
									RCV (AF)	↑ rMSSD			
B. Hug et al. 2014	9	Corredores de maratón	10 semanas	Minutos	rMSSD	8'	Sentados	Post test2-5	Tapering después de carga del entrenamiento	↓ rMSSD			
A. L. Woods et al. 2018	13	Ciclistas masculinos entrenados	6 semanas	TSS	rMSSD y Ln rMSSD	15'	Posición supino	Al despertar	Aumento carga de entrenamiento	↓ rMSSD;	↓ Ln rMSSD		

Tabla 1. Resultados de artículos incluidos en la revisión. TSS (Training Stress Score), sRPE (Session Rating of Perceived Exertion), TRIMP (Training Impulse), UA (unidades arbitrarias), rMSSD (root mean square of the successive differences), Ln rMSSD (logaritmo neperiano de rMSSD), LT1 (Lactate Threshold), LT2 (Lactate Threshold), OVL (overload), RCV (recovery), FOR (functional overreaching), AF (acute fatigue), SD1 (standard desviation 1).

En cuanto a los métodos y variables utilizados para llevar a cabo la monitorización de la carga de entrenamiento en sus distintos estudios, hay gran variedad (TSS, sRPE, TRIMP, u.a., y contabilización de sesiones de baja y alta intensidad). Uno de los autores utiliza tres de ellos: TSS, sRPE y TRIMP.

Los parametros en los que se ha encontrado relación con alguna de las variables de la VFC son muy variados pero todos ellos relacionados con la carga de entrenamiento y/o sus efectos.

En 3 de los artículos se ha encontrado relación entre la intensidad de la carga y la VFC, mostrando en las distintas variables un descenso o un aumento dependiente de si la intensidad es alta o baja. D. J. Plews et al. (2014) observaron, que el aumento de tiempo de entrenamiento por encima del umbral LT2 producía mayores descensos en $\ln rMSSD$ y que un aumento de tiempo de entrenamiento por debajo del umbral LT1 producía un aumento de $\ln rMSSD$. Además, muestra que no existe ningún cambio significativo en la VFC respecto a la carga realizada entre umbrales (LT1-LT2) y el aumento de carga y tiempo total de entrenamiento, al igual que el grupo de corredores y ciclistas que empeoró su rendimiento en el estudio de N. Bourdillon et al. (2018). Sin embargo, Bourdillon et al. (2018) y A. L. Woods et al. (2018), sí demuestran una relación entre la intensificación de la carga de entrenamiento y un aumento de $rMSSD$ (en el grupo que mejora) en el primero de ellos y una disminución de las $rMSSD$ y $\ln rMSSD$ en el segundo.

La fatiga fue relacionada con la variable SD1 (desviación estándar de la diferencia entre intervalos RR) mostrando descensos cuando la fatiga era mayor y aumentos cuando era menor por L. K. Wallace et al. (2014). N. Bourdillon et al. 2018 también evidencian, junto a B. Hug et al. (2014), los efectos del “tapering” o periodo de recuperación tras un periodo de carga. El primero de ellos encontró un aumento respecto a BSL (periodo basal) pero una disminución en la VFC en el grupo que mejoraba el rendimiento (AF) y el segundo de ellos encontró descensos de $rMSSD$ en ciclistas. J. Stanley et al. (2015) vio que cuando un triatleta se adaptaba (“coping”) al entrenamiento aumentaba $\ln rMSSD$ y cuando no lo hacía se producía una disminución de $\ln rMSSD$.

Por último, también J. Stanley et al. (2015), mostraba la posibilidad de predecir el rendimiento en competición mediante las variables $\ln rMSSD$ y $\ln sMSSD:RR$: cuando ambas disminuyen, el rendimiento es óptimo y cuando $\ln rMSSD$ disminuye y $\ln sMSSD:RR$ obtiene apenas cambios, el rendimiento es subóptimo. Además, en este trabajo se relaciona el aumento de $\ln rMSSD$ con una buena adaptación a la carga de entrenamiento y un descenso de $\ln rMSSD$ cuando no se produce esa adaptación.

4. DISCUSIÓN

En cuanto a la realización de la medición de la VFC, los resultados muestran que la mayoría de los autores la realizan durante 5' aunque algunos lo hacen desde 1' hasta los 15'. En un artículo (Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013), argumentan que mediciones cortas (5'-10') son adecuadas pero actualmente, se ha visto que unas más cortas (30”), para variables como $rMSSD$ y $SDNN$, son igual de válidas y más cómodas de realizar para los deportistas.

El momento del día en el que se realizan las mediciones es al despertar como se observa en 6 de los artículos ya que, de esta manera, evitamos que puedan alterarse los valores de la medición por cualquier acción o suceso que ocurra durante el día.

Las posiciones del cuerpo más usadas en la literatura y en los trabajos de esta revisión son de pie y en posición supino aunque también se utiliza la posición de sentados por su comodidad (Schmitt et al., 2013). Cuando la medición se realiza al despertar, la posición más idónea es la de tumbado, ya que permite llevarla a cabo sin tener que movernos y por lo tanto sin fluctuar los

resultados. Sin embargo, una de las cosas que se tiene por establecida es que las mediciones se deben tomar siempre de la misma forma, momento del día y posición del cuerpo.

La variable más comúnmente medida es rMSSD o SDNN (Buchheit, 2014; Malik, 1996) al igual que en los artículos revisados, siendo RMSSD la variable de la VFC más fiable y usada para monitorizar el estado del SNA de los deportistas.

Como protocolo de medición de la VFC, que podríamos extrapolar de estos resultados, podemos decir que se realizaría midiendo durante 5', al despertar por las mañanas y analizando la variable rMSSD. Este es un protocolo usual, aunque algo extenso de tiempo teniendo en cuenta las tendencias actuales de mediciones mucho más breves.

Respecto a los resultados que relacionan los niveles de intensidad del entrenamiento, D. Saboul et al. (2016), M. Altini et al. (2016) y D. J. Plews et al. (2014) coincidieron que mayor intensidad de entrenamiento o mayor tiempo realizado a alta intensidad (>LT2) se relaciona con una menor activación parasimpática (descenso rMSSD) después del entrenamiento y por el contrario una menor intensidad de entrenamiento o mayor tiempo realizado a baja intensidad (<LT1) se asocia con una mayor actividad parasimpática, reflejada en un aumento de rMSSD. D. J. Plews et al. 2014 no encontró cambios en rMSSD cuando se amentaba el tiempo de trabajo entre umbrales (LT1-LT2). Estos resultados coinciden, al igual que otros trabajos como el de Buchheit (2014), en que se muestra una relación entre la intensidad del entrenamiento y la actividad parasimpática: cuando aumenta la intensidad, disminuye la actividad parasimpática del SNA y cuando disminuye la intensidad, sucede lo contrario. Esto es explicado por las mayores demandas de activación del organismo debido al aumento de la intensidad del entrenamiento, lo que hace que se produzca un aumento de la actividad simpática y un descenso de la parasimpática.

En cuanto al volumen de entrenamiento y su afectación al SNA, tanto D.J. Plews et al. (2014) como Bourdillon et al. (2018) (en el grupo que empeoró el rendimiento), no detectaron cambios significativos en la VFC al aumentar el volumen de carga. Sin embargo, A.L. Woods et al. (2018) y Bourdillon et al. (2018) (en el grupo que mejoró el rendimiento) sí que detecto cambios al aumentar la carga de entrenamiento. En el primero se producía una disminución de la actividad vagal y en el segundo un aumento.

Por tanto, de estos estudios, vemos que se dan resultados muy distintos. Una carga de entrenamiento moderada producirá un aumento de la activación vagal, correspondiéndose con una adaptación al entrenamiento como aparece en el trabajo de Bourdillon et al. (2018), y altas cargas de entrenamiento estarán relacionadas con un descenso de esta como aparece en el de otros autores (Pichot et al., 2000).

En estudios realizados con atletas de élite se ha encontrado que estos no siempre siguen estas reglas, sino que, durante las fases de alto volumen de entrenamiento sufren un aumento de la actividad parasimpática debido a una mayor capacidad de adaptación (Le Meur et al., 2013; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). En el caso de D. J. Plews et al. (2014) (remeros de élite) en el que no se detectaron cambios en la VFC, sí que se observa una tendencia a aumentar, aunque no llegue a ser significativa, lo que podría contrastar esto último.

Esta variedad de resultados deberá tenerse en cuenta dependiendo del nivel y de la capacidad de adaptación de los deportistas. Aquellos deportistas que sean capaces de adaptarse a un aumento de la carga de entrenamiento no mostrarán cambios o mostrarán un aumento de la VFC. Por otro lado, los que no se adapten sufrirán un descenso de la VFC.

La fatiga fue relacionada en el trabajo de L. K. Wallace et al. (2014) con la VFC a través de la SD1 cuando la carga se controlaba por sRPE y TRIMP, lo que coincide con lo dicho por (Shetler et al., 2001). El nivel de fatiga de un deportista viene dado por el efecto que tiene sobre él la carga de entrenamiento (Halson, 2014). Por lo tanto, esta variable (SD1) nos permite la posibilidad de

detectar, de un método no invasivo, la fatiga en deportistas de resistencia a través de la monitorización de la carga y de la medición de la VFC (Buchheit, 2014).

El afinamiento (“tapering”) es la reducción gradual del volumen de la carga de entrenamiento manteniendo la intensidad para reducir la fatiga y poder mejorar el rendimiento en una competición. Los tres artículos, que tratan una relación en ese proceso de afinamiento y la variación de la activación simpático-vagal (Bourdillon et al., 2018; Hug et al., 2014; Stanley et al., 2015), coinciden en el resultado: una reducción de la actividad parasimpática (reducción de rMSSD, ln rMSSD y ln rMSSD:RR) en la realización del afinamiento después de una fase de carga se relaciona con una correcta realización del mismo y por tanto de optimización del rendimiento. Aunque durante la fase de carga se haya visto que una buena adaptación al entrenamiento se contrasta con un aumento de la activación parasimpática, aquí ocurre lo contrario: una reducción de la activación para simpática durante la segunda semana de tapering se corresponde con una adecuada reducción de la carga.

Monitorizando el estado del SNA del deportista, previamente a una competición, sabremos si ha realizado una correcta fase de afinamiento y podremos predecir si tendrá un rendimiento óptimo o no.

5. CONCLUSIÓN

La utilización de la medición de la VFC y su interpretación junto a la monitorización de la carga de entrenamiento se ha visto que sirve para comprobar el efecto de las cargas de entrenamiento y las adaptaciones que realiza o no un deportista para utilizar esa información en controlar la fatiga y predecir el rendimiento de deportistas de modalidades cíclicas de resistencia. Sin embargo, no existe un protocolo concreto aplicable a todos los deportistas por lo que se tendrá que atender a cada tipo de deportista según su nivel, modalidad y su respuesta a los distintos tipos de cargas. Habrá, por tanto, que definir más detalladamente como responde la VFC a cada individuo para que esta resulte útil.

6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

En la bibliografía encontramos que la mayoría de los autores realizan mediciones de VFC al despertar (Stanley et al., 2015; Wallace et al., 2014), algunos también durante la noche (Nuutila, Nikander, Polomoshnov, Laukkanen, & Häkkinen, 2017), otros la llevan a cabo durante los minutos anteriores y posteriores al entrenamiento (Saboul, Balducci, Millet, Pialoux, & Hautier, 2016) y unos pocos (Pigozzi et al., 2001) realizan mediciones de 24 horas. Además, algunos como Guilkey, Overstreet, Fernhall, & Mahon (2014) realizaron varias mediciones al día (reposo, durante el entrenamiento y en la recuperación) en jóvenes y adultos no entrenados.

Siguiendo la estrategia de realizar varias mediciones de este último artículo, se propone un protocolo para determinar cuál es la evolución de la VFC a lo largo del día dependiendo del tipo de entrenamiento y realizado en deportistas entrenados de resistencia de corte cíclico.

La propuesta se aplicará a un grupo de atletas (n=12) de campo a través de nivel nacional de las categorías sub20, sub23 y senior, pertenecientes a un mismo grupo de entrenamiento.

Las mediciones se llevarán a cabo en 3 momentos del día: al despertar, 5 minutos después del entrenamiento y antes de dormir. Durante los días de descanso, solo se realizarán las mediciones de al despertar y de antes de dormir. Todas las mediciones de la VFC se harán mediante una aplicación móvil validada como HRV4training, durante 1’ y se analizará la variable rMSSD. La posición en el momento de las mediciones para todas ellas será de sentado para que pueda llevarse a cabo con comodidad en el lugar de entrenamiento.

Figura 1. Momento de las mediciones.

Al despertar	Post 5' entrenaiento	Antes de dormir
Medición 1	Medición 2	Medición 3

Se llevarán a cabo 3 tipos de sesiones diferentes: un entrenamiento suave ($40' < VT1$), un entrenamiento moderado ($40' > VT1$) y un entrenamiento intenso ($20' < VT1 + 5 \times 3'$ al 100% $VO2max$). Todas las sesiones se realizarán entre las 5 y las 7 de la tarde.

Para determinar el umbral $VT1$ y el $VO2max$ se realizará una prueba máxima incremental con espirometría.

Figura 2. Cronograma de la intervención.

Prueba de esfuerzo	Descanso	Descanso	Entrenamiento suave	Descanso	Entrenamiento moderado	Descanso	Entrenamiento intenso
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8

Una vez acabada la intervención, se analizarán los datos para observar cual es la evolución de la VFC durante el día dependiendo del tipo de carga realizada en este grupo concreto de deportistas, obteniendo de esta forma información útil sobre la recuperación del SNA.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Billman, G. E. (2011). Billman, G. E. (2011). Heart rate variability—a historical perspective. *Frontiers in physiology, 2*, 86. *Frontiers in Physiology, 2*, 86.
- Bourdillon, N., Yazdani, S., Nilchian, M., Mariano, A., Vesin, J.-M. J.-M., & Millet, G. P. G. P. (2018). Overload blunts baroreflex only in overreached athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport, 21*(9), 941–949.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads : Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance, Apr;12*(Sup, 161–170.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology, 5 FEB*, 1–20.
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Haddad, H. Al, Laursen, P. & Ahdmaid, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Arbeitsphysiologie, 108*(6)(April), 1153–1167.
- Budgett, R. (1998). Fatigue and underperformance in athletes : the overtraining syndrome. *British Journal of Sports Medicine, 32*, 107–110.
- Dong, J. G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine, 11*(5), 1531–1536.
- Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2013). Validity of the itlhetetm smart phone application for determining ultra-short-term heart rate variability. *Journal of Human Kinetics, 39*(1), 85–92.

- Guilkey, J. P., Overstreet, M., Fernhall, B., & Mahon, A. D. (2014). Heart rate response and parasympathetic modulation during recovery from exercise in boys and men, *975*(March), 969–975.
- Haddad, H. Al, Laursen, P., Didier, C., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2011). Reliability of Resting and Postexercise Heart Rate Measures Reliability of Resting and Postexercise Heart Rate Measures. *International Journal of Sports Medicine*, *32*(8)(May), 598–605.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, *44*, 139–147.
- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does Overtraining Exist ? An Analysis of Overreaching and Overtraining Research. *Sports Medicine*, *34*(14), 967–981.
- Hautala, A. J., Makikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissila, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2003). Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, *285*(4), H1747-52.
- Hug, B., Heyer, L., Naef, N., Buchheit, M., Wehrin, J. P. P., & Millet, G. P. P. (2014). Tapering for marathon and cardiac autonomic function, *35*(8).
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2018). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability in Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–28.
- Kim, H., Cheon, E., Bai, D., Lee, Y. H., & Koo, B. (2018). Stress and Heart Rate Variability : A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*, *15*(3), 235–245.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissila, J., Virtanen, P., Karjalainen, J., & Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(7), 1355–1363.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, *101*(6), 743–751.
- Le Meur, Y., Pichon, L., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., ... Hausswirth, C. (2013). Evidence of Parasympathetic Hyperactivity in Functionally Overreached Athletes. *Medicine and Science In Sports & Exercise*, *45*(11), 2061–2071.
- Makivić, B., Nikić, M, D., & Willis, M, S. (2009). Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of the American Society of Exercise Physiologists*, *18*(4), 1–9.
- Malik, M. (1996). Hear Rate Variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, *93*(5), 1043–1065.
- Mujika, I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(s2), 9–17.
- Nummela, A. T., Hynynen, E., Kaikkonen, P., & Rusko, H. (2010). Endurance Performance and Nocturnal HRV Indices. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *2010 Mar*;3(May 2014), 154–159.
- Nuuttila, O., Nikander, A., Polomoshnov, D., Laukkanen, J. A., & Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-Guided vs . Predetermined Block Training on Performance , HRV and Serum Hormones. *International Journal of Sports Medicine*, *38*(12), 909–920.

- Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the Elite HRV Smartphone Application for Examining Heart Rate Variability in a Field-Based Setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., ... J.C., B. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729–1736.
- Pigozzi, F., Alabiso, A., Parisi, A., Di Salvo, V., Di Luigi, L., Spataro, A., & Iellamo, F. (n.d.). Effects of aerobic exercise training on 24 hr profile of heart rate variability in female athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(1), 101–107.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 688–691.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Heart-rate variability and training-intensity distribution in Elite rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026–1032.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781.
- Plews, D. J., Laursen, P., & Buchheit, M. (2016). Day-to-day Heart Rate Variability (HRV) Recordings in World Champion Rowers: Appreciating Unique Athlete Characteristics. *International Journal of Sports Medicine*, 12(5)(October), 1–19.
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European Journal of Sport Science*, 16(2), 172–181.
- Schmitt, L., Regnard, J., Coulmy, N., & Millet, G. P. (2018). Influence of Training Load and Altitude on HRV Fatigue Patterns in Elite Nordic Skiers Authors. *International Journal of Spo*, 39(10), 773–781.
- Schmitt, L., Regnard, J., Desmarests, M., Mauny, F., Mourot, L., Fouillot, J. P., ... Millet, G. (2013). Fatigue Shifts and Scatters Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes. *PLoS ONE*, 8(8).
- Shetler, K., Marcus, R., Froelicher, V. F., Vora, S., Kalisetti, D., Prakash, M., ... Myers, J. (2001). Heart Rate Recovery : Validation and Methodologic Issues, 38(7).
- Stanley, J., D'Auria, S., & Buchheit, M. (2015). Cardiac parasympathetic activity and race performance: An elite triathlete case study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 528–534.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (1975). *Principios de Anatomía y Fisiología*.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L., & Nummela, A. (2013). Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(2), 171–180.
- Wallace, L. K. K., Slattery, K. M. M., & Coutts, A. J. A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20.

