



Nuevas metodologías de control del proceso de entrenamiento

Los sistemas “day-to-day” basados en la variabilidad de la frecuencia cardíaca

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Autor: Celestino Avilés Cambroneró

Tutor: Manuel Moya Ramón

Curso académico: 2016/2017

ÍNDICE

1. Resumen.....	3
2. Contextualización.....	4
3. Método.....	6
4. Resultados.....	7
5. Discusión.....	10
6. Conclusiones.....	12
7. Propuesta de intervención.....	12
8. Referencias.....	14
9. Anexos.....	17



1. RESUMEN

Antecedentes: La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) está muy relacionada con el funcionamiento del sistema nervioso autónomo. El cual, nos indica la capacidad del sistema de adaptarse a un estímulo. Por ello la VFC se puede usar como método no invasivo para conocer la adaptación de los deportistas y así poder prescribir entrenamientos de la forma más individualizada posible.

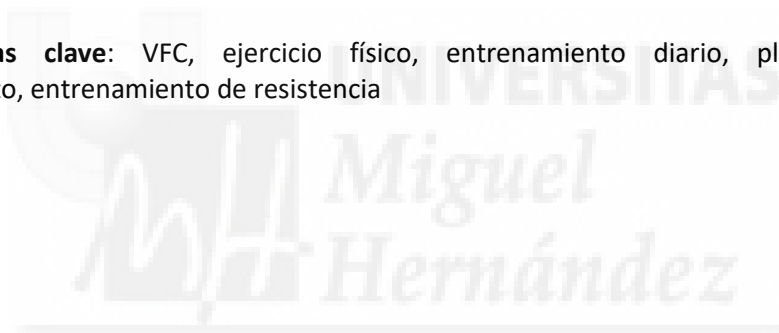
Objetivo: analizar aquellos estudios que utilizan la VFC como método para prescribir entrenamiento.

Método: se ha realizado una búsqueda en PubMed, Scopus y Google Académico incluyendo aquellos que utilizaran la VFC para prescribir o modificar el entrenamiento.

Resultados: de los 141 artículos encontrados, 5 han sido incluidos. Todos presentaban mejoras en el rendimiento tanto en los grupos que entrenaban mediante VFC (HRV) como los que entrenaban de forma tradicional (TRAD)(7.1 ± 1.7 vs 5.3 ± 2.3 %). La frecuencia de entrenamiento era similar (5.6 ± 0.5 vs 5.5 ± 0.4) aunque el grupo HRV realizaba menos sesiones de alta intensidad (2.8 ± 0.7 vs 3.3 ± 0.9) y más a baja intensidad (2.9 ± 0.4 vs 2.1 ± 0.6).

Conclusión: El entrenamiento basado en la VFC consigue mejoras similares o superiores que el entrenamiento tradicional. Aunque la frecuencia de entrenamiento es similar, se realizan menos sesiones a alta intensidad y más a baja intensidad.

Palabras clave: VFC, ejercicio físico, entrenamiento diario, planificación del entrenamiento, entrenamiento de resistencia



2. CONTEXTUALIZACIÓN

Las respuestas del sistema ante el entrenamiento son individuales de cada deportista, produciendo distintas adaptaciones en función de las características del deportista (Buchheit et al., 2010; Hautala et al., 2003). Además, dependiendo del perfil del deportista y de su estado, responderá mejor ante un tipo de entrenamiento orientado más hacia la intensidad o hacia el volumen (Vesterinen, Hakkinen, et al., 2016). Es por ello que el entrenamiento debe estar altamente individualizado para conseguir las mejoras óptimas para cada deportista.

En ese afán por individualizar han sido varios los autores que han estudiado el equilibrio del sistema nervioso autónomo (SNA) como medio para conocer el estado del deportista (Bellenger et al., 2016; Borresen & Lambert, 2008; Buchheit et al., 2010).

Para estudiar el equilibrio del SNA se utiliza el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC)(Malik, Bigger, & Camm, 1996), ya que es una medida no invasiva que aporta información sobre el balance simpático-vagal (Bellenger et al., 2016). En una situación de reposo predomina la estimulación parasimpática, pero por el contrario, en una situación de estrés físico o mental, como el ejercicio, predomina la actividad simpática (Rodas, Pedret Carballido, Ramos, & Capdevila, 2008).

Los parámetros más utilizados en la literatura para conocer la VFC y por tanto, la actividad del SNA, son: el RMSSD (raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR sucesivos) para el dominio temporal; y la HF (señales de alta frecuencia del espectro de frecuencias obtenida mediante la Transformación de Fourier) para el dominio frecuencial. Ambas medidas presentan una relación directa con la actividad parasimpática. Además, para conocer si existe predominancia simpática o vagal se utiliza el ratio LF:HF (ratio baja frecuencia/alta frecuencia)(Rodas et al., 2008). En base a esta información que aporta y a su sencillez de medida, la VFC se ha utilizado para diversas aplicaciones tanto en personas enfermas (conocer pronóstico de las personas, progresos, tratamiento de patologías cardíacas...) como en personas y deportistas sanos (aportar información sobre los estados de adaptación al estrés, adaptabilidad al entrenamiento, conocer la intensidad fisiológica de una carga o identificación de periodos de sobrecarga entre otras)(Rodas et al., 2008).

Varios autores han estudiado la relación existente entre el SNA y el entrenamiento, encontrando que la regulación del mismo es muy importante en las adaptaciones producidas por el entrenamiento de resistencia, existiendo una estrecha relación entre la mejora del rendimiento y una alta actividad parasimpática (Buchheit et al., 2010; Chalencon et al., 2012; Hautala et al., 2003; Vesterinen et al., 2013), aunque hay que tener en cuenta que una hiperactividad parasimpática, manifestada mediante un aumento anormal del RMSSD o de HF puede ser un indicador de sobrecarga funcional (Le Meur et al., 2013). Los entrenadores deben saber gestionar estas situaciones para evitar caer en periodos de sobreentrenamiento.

También debemos tener en cuenta una posible saturación parasimpática, entendida como la meseta que se produce en los valores de RMSSD o HF a pesar de que el intervalo RR se vea aumentado (situaciones de baja frecuencia cardíaca) (Kiviniemi et al., 2004). Se puede conocer mediante el ratio RMSSD/mediarR. Esta saturación nos puede servir de ayuda para identificar si el deportista se está adaptando adecuadamente a las cargas o si por el contrario está experimentando un proceso de fatiga (Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013).

Una de las utilidades que se ha investigado es la capacidad de la VFC de predecir el rendimiento de los deportistas. Algunos autores han encontrado relación entre la línea base de la VFC (entendida como los valores normales de cada sujeto en una situación de entrenamiento habitual) y el rendimiento obtenido después de un periodo de 14 semanas de entrenamiento intenso, donde los que tenían una mayor actividad parasimpática antes y durante el periodo de entrenamiento conseguían mayores mejoras (Vesterinen et al., 2013).

En la misma línea, otros autores indican que existió una relación entre el aumento de la actividad parasimpática y la mejora de los parámetros de resistencia en 4 semanas, pero ese aumento parasimpático no se manifestó en los sujetos que no mejoraron (Nummela, Hynynen, Kaikkonen, & Rusko, 2010). En uno de los primeros estudios referentes al tema, encontraron que después de 8 semanas de entrenamiento, los sujetos que más mejoraron fueron los que tenían una mayor predominancia parasimpática antes del periodo de intervención confirmando esta relación (Hautala et al., 2003). Esto parece indicar que existe una relación directa entre la actividad parasimpática y el rendimiento del deportista.

Otra aplicación que se le ha dado a la VFC es para identificar situaciones de sobrecarga funcional y sobreentrenamiento, lo cual puede ayudar a los entrenadores a gestionar estos periodos. Ante situaciones de sobrecarga o sobreentrenamiento la VFC se ve reducida ya que la actividad parasimpática es menor, lo cual nos indica una situación en la que el deportista no ha recuperado correctamente o que la adaptación al entrenamiento no está siendo la adecuada (Bosquet, Merkari, Arvisais, & Aubert, 2008; Dupuy, Bherer, Audiffren, & Bosquet, 2013). Por el contrario, un aumento de la VFC representa un aumento de la actividad parasimpática, lo que indica una adaptación positiva al entrenamiento (Bellenger et al., 2016). Pero hay que tomar estas afirmaciones con cautela, ya que una disminución de la VFC no siempre es sinónimo de estrés a nivel del SNA. Puede deberse a una saturación parasimpática. Para saber si esta reducción se debe a un aumento de la actividad simpática o por el contrario a dicha saturación, se comparan los valores del lnRMSSD respecto al intervalo RR (lnRMSSD:RR ratio). Brevemente, reducciones en el lnRMSSD con incrementos del ratio lnRMSSD:RR son indicador de fatiga (predominancia simpática), mientras que descensos en ambos son indicador de una correcta adaptación (saturación parasimpática) (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). De todos modos siempre hay que tener en cuenta que el sistema nervioso de cada deportista responde de forma individual al ejercicio (Plews, Laursen, & Buchheit, 2016).

Otro uso que se le ha dado al análisis de la VFC es el de cuantificación de carga de entrenamiento. Se ha comprobado que la recuperación de la VFC después de una actividad de alta o moderada intensidad es más lenta que ante actividades de baja intensidad (Kaikkonen, Nummela, & Rusko, 2007; Parekh & Lee, 2005). Es por ello que se ha estudiado la posible relación entre la carga de entrenamiento y la VFC post-ejercicio, encontrando una relación significativa entre ambas variables tanto para ejercicios continuos como para ejercicios intermitentes de alta intensidad (Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, & Nummela, 2010, 2012). Recientemente se ha publicado un método de cuantificación de carga mediante la VFC, que presenta una alta correlación con los métodos de Banister y Fosters (Saboul, Balducci, Millet, Pialoux, & Hautier, 2016).

Otra aplicación es el uso de la VFC para la prescripción del entrenamiento. Algunos autores han utilizado la respuesta de la VFC al despertar como marcador del estado del deportista permitiendo prescribir el entrenamiento diario en función de la recuperación individual (Kiviniemi et al., 2010; Kiviniemi, Hautala, Kinnunen, & Tulppo, 2007; Vesterinen, Nummela, et al., 2016). Los primeros estudios que la utilizaron como método de prescripción se basaban en establecer una línea base y prescribir entrenamiento en función de la respuesta diaria de la VFC al despertarse. Si la respuesta diaria estaba por encima de la línea base prescribían entrenamiento de alta intensidad. Si por el contrario, estaba por debajo de la línea base prescribían entrenamiento de baja intensidad. En ambos estudios, el grupo que entrenaba mediante VFC mejoró más el consumo máximo de oxígeno (VO₂max) que el grupo que entrenaba de forma tradicional. (Kiviniemi et al., 2010; Kiviniemi et al., 2007). Años más tarde se observó, que debido a una posible saturación parasimpática, no era del todo correcto establecer una única línea base, sino que era mejor establecer una franja de valores normales de la VFC denominada "Smallest worthwhile change" (SWC) que representa la media y los límites inferior y superior de la mitad de la desviación estándar (DE). La fórmula es

media \pm 0.5 \times DE (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2013; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Para considerar que un valor supone un cambio relevante, debe estar fuera del SWC, en cambio, si los valores están dentro, se considera que no ha habido variaciones. Además, observaron que era mejor hacer una media móvil de los últimos 7 días de la VFC que coger el solo el dato diario ya que éste presenta una gran variación (Plews, Laursen, Kilding, et al., 2013). A partir de esto, en otra intervención (Vesterinen, Nummela, et al., 2016), el grupo que entrenó mediante la VFC obtuvo mayores mejoras que el grupo control en VO₂max y en rendimiento en carrera. Además de mejorar la velocidad a la que alcanzaron sus umbrales de lactato.

Por lo tanto, parecer ser que una planificación de entrenamiento centrada en la respuesta fisiológica diaria del deportista logra conseguir mejoras similares e incluso superiores que un entrenamiento tradicional. Esta nueva metodología pretende adaptarse siempre al estado del deportista y a su capacidad de recuperación, permitiendo evitar situaciones de fatiga, o gestionarla en nuestro beneficio para poder conseguir periodos de sobrecarga funcional, pero sin llegar al sobreentrenamiento. De esta idea surge el nuevo concepto de entrenamiento day-to-day o periodización día a día en la que la carga de entrenamiento diaria se ajusta en función de la recuperación del deportista ante la carga de entrenamiento previa conocida mediante la respuesta de su SNA. Por ello, el objetivo de este TFG es analizar y comparar los resultados de los estudios que han realizado una intervención de entrenamiento basada en la periodización day-to-day.

3. MÉTODO

Esta revisión sigue la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) para su elaboración (Urrutia & Bonfill, 2010).

3.1 Búsqueda bibliográfica

Se realizó una búsqueda bibliográfica el día 1 de Febrero de 2017 y se pusieron alertas en las bases de datos hasta el 16 de marzo de 2017. Las bases de datos utilizadas fueron PubMed y Scopus.

La búsqueda se ha realizado incluyendo título, resumen y palabras clave. En PubMed se realizó la siguiente combinación de palabras clave ((endurance training OR exercise) AND (heart rate variability OR HRV) AND (prescription OR training preparation OR periodization)).

En Scopus la combinación fue la siguiente: TITLE-ABS-KEY (endurance AND training OR exercise) AND (heart AND rate AND variability OR hrv) AND (prescription OR training AND preparation OR periodization)

3.2 Criterios de inclusión

Para ser elegible para esta revisión los estudios deberían tener un diseño experimental donde al menos analizaran un grupo que tuviera en cuenta la VFC para modificar o prescribir el entrenamiento diario. Además, debían estar publicados en inglés o español y llevados a cabo en humanos.

3.3 Criterios de exclusión

No fueron incluidos aquellos artículos que utilizaran la VFC para otros fines distintos a la prescripción del entrenamiento.

3.4 Selección de estudios

Todos los artículos encontrados fueron exportados a un editor de referencias bibliográficas (Endnote versión X7, Thomson Reuters, 2013). Los duplicados fueron eliminados y se realizó una revisión de título y resumen para descartar los que no cumplieran claramente los criterios de inclusión. Después se realizó una revisión de los artículos completos para evaluar si cumplían los criterios.

Los siguientes datos fueron extraídos de los estudios incluidos: deporte, duración, muestra, nivel de entrenamiento, sexo, edad, frecuencia de entrenamiento, sesiones a baja intensidad semanal, sesiones a alta intensidad semanal, TRIMP, variable que usan para medir la VFC, medida usada para ver el estado del deportista, momento del día de la toma de la HRV, posición durante la toma de la HRV, duración del registro y del rango analizado, control de la respiración durante la toma, forma de establecer la línea basal, VO2max, una variable de rendimiento (dependiendo de cada estudio la variable es distinta), velocidad en el umbral aeróbico, velocidad en el umbral anaeróbico.

3.5 Análisis Estadístico

Para poder comparar el efecto del entrenamiento entre el grupo control y el grupo que entrena mediante la VFC he realizado una estimación porcentual de incremento en los datos de VO2, rendimiento, y velocidad en umbrales. La fórmula utilizada ha sido:

$$\left(\frac{\text{media post}}{\text{media pre}} - 1\right) \times 100$$

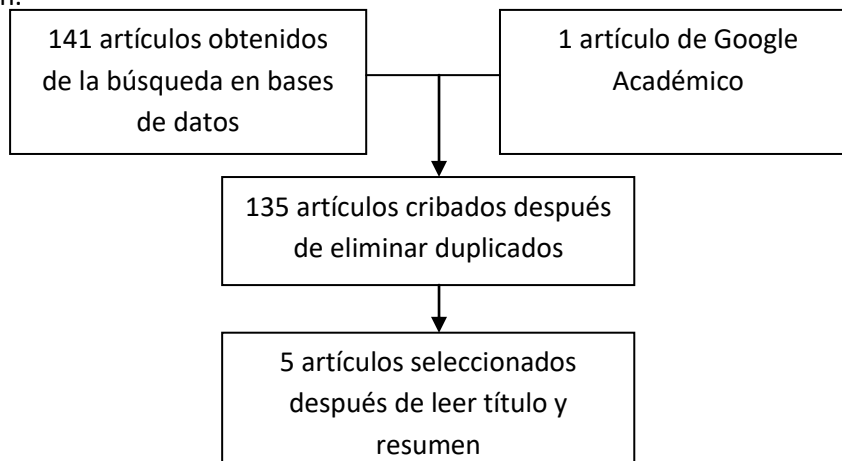
Además, para comparar los resultados generales de los grupos control y los grupos entrenados mediante VFC se ha realizado una media de sus incrementos porcentuales para las variables comentadas. Así como para la duración de la intervención, edad, frecuencias de entrenamiento, días de entrenamiento a baja y alta intensidad y TRIMP. Además de un sumatorio del número de deportistas que han realizado cada método de entrenamiento.

También se ha realizado una tabla comparativa con la metodología de medición de la VFC en cada estudio.

4. RESULTADOS

De la base de datos PubMed se han obtenido 53 artículos, y de la base de datos Scopus se han obtenido 88, haciendo un total de 141. Además, se ha añadido otro artículo encontrado mediante Google Académico.

Una vez eliminados los duplicados han quedado 135 artículos con los que se ha procedido a la lectura de título y resumen descartando 128 y dejando 5 para una revisión del texto completo. Tras dicha revisión, los 5 han sido incluidos ya que cumplían los criterios de inclusión.



4.1 Participantes

En total, entre los estudios incluidos hay una muestra total de 106 deportistas, de los cuales 56 pertenecieron a los grupos que entrenaban mediante la VFC (HRV) y los otros 50 pertenecen a los grupos de control (TRAD), que realizaban un entrenamiento tradicional.

De estos estudios, tres de ellos utilizan una muestra mixta analizada como un solo grupo (Botek, McKune, Krejci, Stejskal, & Gaba, 2014; Hottenrott, Ludyga, Gronwald, & Schulze, 2014; Vesterinen, Nummela, et al., 2016). Otro de los artículos toma una muestra exclusivamente de hombres (Kiviniemi et al., 2007). El último de los artículos analiza grupos de hombres y mujeres pero de forma independiente (Kiviniemi et al., 2010).

Todos ellos son sujetos entrenados ya sea a alto nivel o a nivel amateur, con edades de 30.80 ± 5.40 años para los grupos HRV y de 34.50 ± 1.82 años para los grupos TRAD.

4.2 Resultados de los estudios

4.2.1 Descripción de los estudios

Todos los estudios analizan modalidades de resistencia. Tres de ellos lo hacen con carrera a pie, uno lo hace con deportistas de distintas disciplinas de atletismo y otro lo hace con distintas modalidades de entrenamiento de resistencia (carrera a pie y ciclismo principalmente) (véase Tabla 1).

La duración de todos ellos está comprendida entre las 4 y las 17 semanas de intervención. Además, todos los estudios excepto el de Botek et al., (2014), que solo analiza un grupo HRV, presentan grupos TRAD y HRV y comparan ambos métodos de entrenamiento. (véase Tabla 1).

El nivel varía entre deportistas altamente entrenados y deportistas amateur, pero en ningún caso hay sujetos sedentarios o no entrenados.

La variable mediante la que miden el rendimiento en cada estudio es diferente. En dos de ellos utilizan la velocidad aeróbica máxima (VAM) como un indicador de mejora, en otro utilizan la potencia aeróbica máxima (PAM), en otro la velocidad media en un test de 3000m en carrera (V 3000m) y otro de ellos utiliza su propia variable de incremento de rendimiento (Δ Perf) que consiste en el incremento porcentual que existe entre la mejor marca obtenida en la temporada anterior y la mejor marca obtenida en las últimas 6 semanas de la intervención (véase Tabla 1).

Tabla 1

Descripción de las características del estudio

	Deporte	Duración (semanas)	GRUPOS	Nivel	Variable de rendimiento
(Vesterinen et al. 2016)	Carrera a pie	8	HRV y TRAD	Altamente entrenados	V 3000m
Kiviniemi et al. 2010)	Resistencia (bici, carrera, otro)	8	HRV y TRAD	Amateur	PAM
Kiviniemi et al. 2007)	Carrera a pie	4	HRV y TRAD	Amateur	VAM
(Botek et al. 2014)	Atletismo	17	HRV	Altamente entrenados	Δ Perf
Hottenrot et al. 2014	Carrera a pie	16	HRV y TRAD	Amateur	VAM

VAM, velocidad aeróbica máxima; PAM, potencia aeróbica máxima; Δ Perf, diferencia entre la mejor marca de la temporada anterior y durante la intervención.

4.2.2 Medición de la VFC

En todos los estudios la medición se realizaba por la mañana, aunque los protocolos de medición son diferentes en cada estudio. Se utilizan distintas posiciones, distintos tiempos de registro y de análisis de datos y distintas formas de tomar las medidas basales o las mediciones diarias (véase Tabla 2).

Variable usada se refiere a la variable de la VFC que utilizan como medida diaria para conocer el estado del deportista. Valoración diaria se refiere al dato que toman para conocer el estado, es decir, si se basan simplemente en una sola medida al despertar o si hacen una media móvil de los últimos días de entrenamiento (véase Tabla 2).

En referencia a la propia toma de datos vemos que la posición o forma en la que se realiza la toma de datos es diferente en cada estudio. Alguno lo hacen sentado (sen), en posición supina (sup), de pie (pie) o combinando varias posiciones. Además también hay cierta controversia en la duración del registro y (segundos) y en los rangos analizados (minutos) ya que algunos lo analizan todo el registro y otros solo una parte.(véase Tabla 2).

La respiración parece ser en todos los casos espontánea.

Con medida basal nos referimos a la medida de referencia que cada autor establece como el límite a partir del cual el deportista deberá modificar su entrenamiento. Un autor utiliza el SWC del RMSSD (Vesterinen, Nummela, et al., 2016). Otro autor utiliza para sus estudios una media móvil de 10 días (MM10d). En uno de ellos toma el propio valor de la media móvil como referencia (Kiviniemi et al., 2010), pero en otro de sus estudios lo hace tomando la línea inferior de la desviación estándar de la media móvil (SDI MM10d) (Kiviniemi et al., 2007).

Uno de los estudios seleccionados (Hottenrott et al., 2014) no da ningún dato del registro. Se le solicitaron al autor los datos mediante correo electrónico pero no se obtuvo respuesta.

Tabla 2

Descripción del protocolo de medición de la VFC.

	Variable Usada	Valoración diaria	Momento del día	Posición	Duración registro	Rango analizado	Duración rango	Respiración	Medida basal
(Vesterinen et al. 2016)	RMSSD 7d	MM7d	Mañana	Sup	240	N/A	N/A	Espontanea	4 semanas SWC
Kiviniemi et al. 2010)	SD1	Diaria	Mañana	sen (2 min) + pie (3 min)	300	del 2 al 5	180	Espontanea	MM10d
Kiviniemi et al. 2007)	HF	Diaria	Mañana	sen (5 min) + pie (5 min)	600	del 5 al 10	300	N/A	SDI MM10d
(Botek et al. 2014)	Dominio Frecuencial y MMSD	Diaria	Mañana	sup (5 min) + pie (5 min)	600	todo	600	N/A	N/A
Hottenrot et al. 2014	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: no lo especifican; sen: sentado; pie: de pie; sup: tumbado en posición supina; MM10d: media móvil de los últimos 10 días; SDI: límite inferior de la desviación estándar.

4.2.3 Intervención

La duración promedio de las intervenciones es de 8.8 ± 3.9 semanas para los grupos TRAD y de 9.9 ± 4.8 semanas para los grupos HRV. El promedio de entrenamientos por semana es de 5.6 ± 0.5 para los grupos HRV y de 5.5 ± 0.4 para los grupos TRAD. Además, los grupos HRV tienden a entrenar más días a baja intensidad que los TRAD (2.9 ± 0.45 vs 2.1 ± 0.6) y menos días a alta intensidad (2.8 ± 0.7 vs 3.3 ± 0.9) (véase Tabla 3).

En cuanto a la carga de entrenamiento calculada mediante el modelo TRIMP tanto los grupos HRV como los TRAD tienen valores similares (437.0 ± 103.1 vs 432.7 ± 87.64).

Tabla 3

Descripción general de los estudios agrupados en función del grupo TRAD o HRV

	HRV	TRAD
Duración	9.9 ± 4.8	8.8 ± 3.9
Muestra	56	50
Edad	33.5 ± 5.7	35.7 ± 3.0
Frec entrenamiento	$5.6 \pm .5$	$5.5 \pm .4$
Sesiones a baja intensidad	$2.9 \pm .4$	$2.1 \pm .6$
Sesiones a alta intensidad	$2.8 \pm .7$	$3.3 \pm .9$
TRIMP	$437. \pm 103.1$	432.7 ± 87.6

Datos expresados como media \pm desviación estándar.

5. DISCUSIÓN

Cambios en el rendimiento. En cuanto a los valores de VO_{2max} y rendimiento no hay diferencias significativas entre los grupos, pero los valores porcentuales de mejora parecen indicar que existe una tendencia a una mayor mejora en los grupos HRV (véase Tabla 4). El hecho de que las diferencias no sean significativas puede deberse a que la respuesta al ejercicio es individual de cada deportista, pudiendo verse limitada por factores como el historial de entrenamiento (Bouchard & Rankinen, 2001). Por ejemplo, en el estudio de Vesterinen et al., donde los sujetos estaban altamente entrenados no hay diferencias entre grupos con cambios inferiores al 5%. Mientras que los estudios de Kiviniemi et al. (2007, 2010) y Hottenrott et al. (2014) las mejoras son cercanas al 8%, posiblemente a que los sujetos eran deportistas amateur y el hecho de seguir un entrenamiento planificado consigue grandes mejoras (véase Anexo I). También podemos explicar esas escasas diferencias mediante las pruebas utilizadas para valorar el rendimiento, ya que pruebas cortas como el v3000m o valores de la VAM quizá no sean la herramienta más adecuada para valorar el rendimiento de un deportista de larga distancia, como es el caso de los estudios. Además de que, aunque la diferencia en la prueba no sea significativa, a nivel de rendimiento en competición puede que sí sea determinante.

Por otro lado, aunque el tamaño de la muestra no es muy amplio por lo que no podemos afirmar nada con certeza, el hecho de que los grupos HRV tiendan a una mayor mejora confirma lo que ya han dicho otros autores (Vesterinen, Hakkinen, et al., 2016) referente a que una individualización del entrenamiento es crucial para optimizar las mejoras en el rendimiento. Es por ello que este tipo de metodología en la que se ajusta el entrenamiento cada día al estado del deportista de forma individual podría conseguir mayores mejoras, pero hacen falta más estudios que confirmen esta relación.

En referencia a la velocidad en los umbrales aeróbico y anaeróbico también encontramos la misma tendencia, donde no hay diferencias significativas, pero el incremento

porcentual es mayor en los grupos HRV. De todos modos hay que tener en cuenta que el tamaño de la muestra es pequeño ya que no todos los estudios tenían en cuenta esta variable. La mayor mejora en el VT1 se puede explicar por el mayor volumen de sesiones de baja intensidad realizadas por los grupos HRV que los TRAD (véase Tabla 3).

Los valores de las mejoras de los grupos desglosadas por cada estudio se pueden observar en el Anexo I.

En resumen, tanto los grupos HRV como TRAD mejoran a nivel general en todos los parámetros, pero parece haber una ligera tendencia a que los grupos HRV mejoren en mayor medida.

Tabla 4

Porcentajes de mejora agrupados según el tipo de entrenamiento

	% VO2	% RENDIM	%LT/VT2	%LT/VT1
HRV	7.1 ± 1.7	7.4 ± 3.4	4.2 ± 2.9	2.8 ± 3.7
nHRV	56	56	32	13
TRAD	5.3 ± 2.3	5.6 ± 3.5	2.6 ± 2.5	1.0 ± 2.9
nTRAD	50	50	36	18
p-valor	0.195	0.502	0.522	

nHRV y nTRAD: número de sujetos estudiados en cada grupo para cada variable. Datos expresados como media + desviación estándar. LT/VT2: velocidad alcanzada en el umbral ventilatorio/lactato 2; LT/VT1: velocidad alcanzada en el umbral ventilatorio/lactato 1. RENDIM: rendimiento alcanzado en la prueba de valoración.

Problemática de medición de la HRV. Este apartado es el más problemático ya que no hay un protocolo de medición estandarizado en el que se determine la posición, el momento del día o la duración de la medida (Bellenger et al., 2016). Esto conlleva problemas a nivel metodológico, ya que al no estar estandarizado, no podemos comparar las medidas por lo que harían falta estudios que indicasen qué protocolos de medición son más válidos. En referencia al parámetro utilizado sí que se ha visto que el RMSSD es un parámetro más fidedigno para conocer el estado del deportista (Buchheit, 2014; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013), en cambio el HF se ve más afectado por aspectos como la frecuencia respiratoria (Bellenger et al., 2016). El problema es que estos estudios son posteriores a los incluidos en esta revisión, por lo que solo uno de los estudios analizados utiliza el RMSSD.

Estado del deportista. Se ha visto que una media móvil de los últimos 7 días es más sensible a la hora de detectar los cambios en el estado de entrenamiento que una medida aislada de la HRV ya que es un parámetro que varía con facilidad y es mejor observar su tendencia que su medida de forma puntual (Plews, Laursen, Kilding, et al., 2013). A pesar de ello, solo uno de los estudios analizados (Vesterinen, Nummela, et al., 2016) utiliza la media móvil y el resto usan la medida diaria lo que puede comprometer la fiabilidad de dichas mediciones y por tanto, de los resultados del estudio.

Como hemos comentado, solo uno utiliza el RMSSD para conocer el estado del deportista. Pero no toman datos del ratio lnRMSSD:RR para conocer si las variaciones en la VFC son motivo de sobrecarga funcional y por tanto de adaptación positiva al entrenamiento o por el contrario son un indicador de fatiga como consecuencia de una alta actividad simpática (Plews et al., 2016; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013).

Limitaciones

De los cinco estudios, solo tres dan información de los protocolos de medición y de los entrenamientos. De los otros dos, uno no indica cómo se valora la VFC y el otro simplemente la usa como información para que el entrenador ajuste el entrenamiento, pero sin plantear una intervención de entrenamiento controlada. Debido a la reducida cantidad de estudios y a la diversidad de resultados que hay no se pueden extraer resultados concluyentes.

Además, los protocolos de medición no están estandarizados siendo distinta la posición y duración de la medida en cada estudio. Además del valor que toman como referencia, duración de la línea base, método para establecer el estado del deportista, etc.

También debemos tener en cuenta que el nivel de entrenamiento también es distinto, por lo que puede afectar a los resultados.

6. CONCLUSIÓN

EL entrenamiento basado en la respuesta diaria de la VFC parece ser útil para maximizar el rendimiento de los deportistas y mejorar los parámetros fisiológicos pero aún hay ciertas lagunas que tienen que ser subsanadas como el protocolo de medición de la VFC o los parámetros a utilizar. Además harían falta más investigaciones en otras disciplinas deportivas y con muestras más amplias. También se deberían valorar parámetros como el ratio RMSSD:RR que nos puede ayudar a conocer en mayor medida la respuesta del deportista.

7. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Para solventar los problemas de los anteriores estudios y con objeto de sacar nuevas conclusiones que confirmen los indicios de que el entrenamiento day-to-day puede inducir en mayores mejoras del rendimiento propongo la siguiente intervención.

Anteriormente, los estudios han utilizado corredores o participantes entrenados en resistencia mezclando de varias disciplinas. Nosotros queremos comprobar si en ciclistas también se cumple esta tendencia, además de que tenemos más accesibilidad a una muestra de ciclistas experimentados que de corredores. Todos ellos deben tener experiencia previa en el deporte de al menos 2 años entrenando como mínimo 6 horas semanales. Esto es para tener cierta "seguridad" de que son capaces de cumplir el plan de entrenamiento y para evitar las grandes mejoras que se dan al principio en sujetos no entrenados.

Estructura de la intervención. La intervención consistiría en realizar 12 semanas de entrenamiento divididas en dos bloques: un primer bloque preparatorio de adaptación de 4 semanas y un segundo bloque de intervención de 8 semanas. Las 4 primeras semanas de entrenamiento serían comunes a todos los deportistas para lograr una familiarización a la planificación de entrenamiento, para establecer la rutina de medición de la VFC y para que se familiaricen con las pruebas realizadas en el laboratorio. Después, se dividirán en dos grupos por pares aleatorizados en función de sus niveles de rendimiento. Uno de los grupos seguirá con un entrenamiento tradicional, mientras que el otro grupo realizaría un entrenamiento basado en la respuesta de la VFC.

Valoraciones del rendimiento. Las evaluaciones se realizarían antes del periodo de intervención (semana0), tras las 4 semanas comunes (semana5) y al finalizar el periodo de 8 semanas de entrenamiento (semana 14). Para valorar sus parámetros fisiológicos de VO2max,

PAM y potencia a umbrales aeróbico y anaeróbico se utilizará un test incremental continuo maximal con analizador de gases y con análisis de lactato. El test comienza con 10 minutos de calentamiento a 50 watos (w) y progresivamente se van aumentando 25w cada minuto. Las muestras de lactato se toman cada dos escalones durante los últimos 15 segundos comenzando en el último minuto del calentamiento. Para determinar el rendimiento del deportista se realizará una prueba contrarreloj de 40 minutos en la que se calculará la potencia media y la normalizada de la prueba. También se realizará un test de saltos con carga con el fin de determinar su perfil Fuerza-Velocidad y ver si el entrenamiento induce cambios en dicho perfil.

Medición de la VFC. La medición de la VFC se realizará de forma autónoma por cada deportista después de despertarse y orinar. Los datos se recogerán mediante un banda de frecuencia cardíaca capaz de detectar los intervalos RR, que serán analizados mediante una aplicación de Smartphone validada (Flatt & Esco, 2013) que calcula el RMSSD. La duración del registro será de 1 minuto tras el cual, el deportista enviará los datos al entrenador. Las 3 primeras semanas del bloque común servirán para que los deportistas se familiaricen con el protocolo, mientras que la última de este bloque servirá para establecer el SWC de cada deportista. Este SWC se volverá a calcular con los datos de la cuarta semana del periodo de intervención (semana 9).

Entrenamiento. Las primeras 4 semanas seguirán una periodización tradicional 3:1. Después, el grupo TRAD continuará con una periodización similar, mientras que el grupo HRV entrenará en función de su VFC y los valores del SWC. Para ello se realizará una media móvil de los últimos 7 días de los valores del RMSSD. Si los el valor está dentro del SWC se prescribirá entrenamiento de alta intensidad, pero si está fuera se prescribirá entrenamiento de baja intensidad o descanso. La frecuencia de entrenamiento se intentará mantener constante durante todo el periodo de intervención.

Al menos será necesario que los deportistas completen el 90% de los entrenamientos para mantenerlos en el estudio para poder asegurar que los valores obtenidos al final de la intervención son causa del entrenamiento.

Tests 0	Adaptación				Tests 5	Intervención							Tests 14
	1	2	3	SWC		6	7	8	SWC	10	11	12	
Perfil F-V Contrarreloj 40' Prueba de esfuerzo	Periodización 3:1				F-V 40'	Grupo VFC : individualizado en función de RMSSD							F-V 40'
					PdE	Grupo TRAD: periodización 3:1							PdE

Figura 1. Temporalización del periodo de intervención

8. REFERENCIAS

- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(10), 1461-1486. doi: 10.1007/s40279-016-0484-2
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med*, 38(8), 633-646.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., & Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med*, 42(9), 709-714. doi: 10.1136/bjism.2007.042200
- Botek, M., McKune, A. J., Krejci, J., Stejskal, P., & Gaba, A. (2014). Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *Int J Sports Med*, 35(6), 482-488. doi: 10.1055/s-0033-1354385
- Bouchard, C., & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6 Suppl), S446-451; discussion S452-443.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5 FEB. doi: 10.3389/fphys.2014.00073
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *Eur J Appl Physiol*, 108(6), 1153-1167. doi: 10.1007/s00421-009-1317-x
- Chalencon, S., Busso, T., Lacour, J. R., Garet, M., Pichot, V., Connes, P., . . . Barthelemy, J. C. (2012). A model for the training effects in swimming demonstrates a strong relationship between parasympathetic activity, performance and index of fatigue. *PLoS One*, 7(12), e52636. doi: 10.1371/journal.pone.0052636
- Dupuy, O., Bherer, L., Audiffren, M., & Bosquet, L. (2013). Night and postexercise cardiac autonomic control in functional overreaching. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(2), 200-208. doi: 10.1139/apnm-2012-0203
- Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2013). Validity of the athlete Smart Phone Application for Determining Ultra-Short-Term Heart Rate Variability. *J Hum Kinet*, 39, 85-92. doi: 10.2478/hukin-2013-0071
- 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. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 285(4), H1747-1752. doi: 10.1152/ajpheart.00202.2003
- Hottenrott, K., Ludyga, S., Gronwald, T., & Schulze, S. (2014). Effects of an individualized and time based training program on physical fitness and mood states in recreational endurance runners. *American Journal of Sport Science*, 2(5), 131-137. doi: 10.11648/j.ajss.20140205.15
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *Eur J Appl Physiol*, 108(3), 435-442. doi: 10.1007/s00421-009-1240-1
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J Appl Physiol*, 112(3), 829-838. doi: 10.1007/s00421-011-2031-z
- Kaikkonen, P., Nummela, A., & Rusko, H. (2007). Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *Eur J Appl Physiol*, 102(1), 79-86. doi: 10.1007/s00421-007-0559-8
- 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. *Med Sci Sports Exerc*, 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. *Eur J Appl Physiol*, *101*(6), 743-751. doi: 10.1007/s00421-007-0552-2
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Seppanen, T., Makikallio, T. H., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2004). Saturation of high-frequency oscillations of R-R intervals in healthy subjects and patients after acute myocardial infarction during ambulatory conditions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, *287*(5), H1921-1927. doi: 10.1152/ajpheart.00433.2004
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., . . . Hausswirth, C. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Med Sci Sports Exerc*, *45*(11), 2061-2071. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182980125
- Malik, M., Bigger, J., & Camm, A. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Eur Heart J*, *17*, 354-381.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., & Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *Int J Sports Med*, *31*(3), 154-159. doi: 10.1055/s-0029-1243221
- Parekh, A., & Lee, C. M. (2005). Heart rate variability after isocaloric exercise bouts of different intensities. *Med Sci Sports Exerc*, *37*(4), 599-605.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., & Buchheit, M. (2016). Day-to-day Heart Rate Variability (HRV) Recordings in World Champion Rowers: Appreciating Unique Athlete Characteristics. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-19. doi: 10.1123/ijsp.2016-0343
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. *Int J Sports Physiol Perform*, *8*(6), 688-691.
- 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 Med*, *43*(9), 773-781. doi: 10.1007/s40279-013-0071-8
- Rodas, G., Pedret Carballido, C., Ramos, J., & Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Archivos de Medicina del Deporte*, *XXV*(123), 41-47.
- 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. *Eur J Sport Sci*, *16*(2), 172-181. doi: 10.1080/17461391.2015.1004373
- Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010). [PRISMA declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses]. *Med Clin (Barc)*, *135*(11), 507-511. doi: 10.1016/j.medcli.2010.01.015
- Vesterinen, V., Hakkinen, 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. *Scand J Med Sci Sports*, *23*(2), 171-180. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01365.x
- Vesterinen, V., Hakkinen, K., Laine, T., Hynynen, E., Mikkola, J., & Nummela, A. (2016). Predictors of individual adaptation to high-volume or high-intensity endurance training in recreational endurance runners. *Scand J Med Sci Sports*, *26*(8), 885-893. doi: 10.1111/sms.12530
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Hakkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Med Sci Sports Exerc*, *48*(7), 1347-1354. doi: 10.1249/mss.0000000000000910

9. ANEXOS

Anexo I. Análisis desglosado de los artículos

Intervención		H	M	Edad	VO2max	Rendimiento	RS LT2/VT2	RS LT1/VT1	Sesiones	Baja I	Alta I	TRIMP
(Vesterinen et al. 2016)	PREP 4Sem + HRV	13	35	3.7	2.1	2.6	2.8	6.1	-	13,2±6 *	N/A	
	INT 8Sem TRAD	18	35	5	1.1	1.9	1	5.6	-	17,7±2,5	N/A	
Kiviniemi et al. 2010)	8 semanas Ho HRV-1	7	35	8	11.11 *	-	-	5.8 **	2.7 **	3.1	515	
	Ho TRAD	7	37	6	6.55	-	-	5.3	2.1	3.1	492	
	Mu HRV-I	7	33	8.33	8.62	-	-	5.8	2.5 *	3.3	390 *	
	Mu HRV-II	10	35	8.11	9.6	-	-	5 †	3.3 ****†††	1.8 ****†††	314 ††	
	Mu TRAD	7	34	5.71	10.61	-	-	5	2.2	2.8	343	
Kiviniemi et al. 2007)	4 semanas HRV	9	31	7.14	5.81 *	5.83	-	6	3	3 ***	529	
	TRAD	8	32	1.85	3.97	3.39	-	6	2	4	463	
(Botek et al. 2014)	17 semanas HRV	5	5	ΔPerf= cambio del -8.8% al 8.5%. Relación directa entre el rendimiento y los valores de HF y MMSD			-	-	-	-	-	
Hottenrot et al. 2014	16 semanas HRV	10	23.2	7.26	4.83	8.3	-	-	-	-	-	
	TRAD	10	-	8.1	5.53	6.8	-	-	-	-	-	

* p<.05, ** p<.01, *** p<0.001 (diferencias significativas respecto al grupo TRAD); † p<.05; †† p<.01; ††† p<0.001 (diferencias significativas respecto al grupo HRV-I). Datos de VO2max, rendimiento, RS LT2 y RS LT1 presentados como % de mejora entre pre y post intervención. Existen diferencias pre-post en todos los grupos excepto en Rendimiento y RS LT/VT1 en grupo TRAD de Vesterinen et al.