



# TRABAJO FINAL DE GRADO

**Universidad Miguel Hernández**

**2017-2018**

**Grado en Ciencias de la  
Actividad Física y del Deporte**

Alumna: Sara Coscolla Palma

Tutor académico: José Manuel Sarabia Marín

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. MÉTODO .....	3
3. RESULTADOS.....	6
4. DISCUSIÓN.....	11
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN .....	12
6. BIBLIOGRAFÍA .....	13



## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema nervioso autónomo es un importante regulador de la homeostasis durante periodos de altas cargas de entrenamiento (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014). Uno de los métodos más prometedores para monitorizar la adaptación al entrenamiento implica la monitorización regular del sistema nervioso autónomo (SNA), a través de la medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) en reposo después del ejercicio (Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013).

La VFC en reposo al inicio de la mañana ha demostrado estar relacionada con mayores mejoras en el consumo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ) y el rendimiento de resistencia cuando se produce un aumento de la VFC (Vesterinen et al., 2013). Esto no solo vale también para deportistas de élite sino también para distintas poblaciones y encontraremos también mejoras en el rendimiento de resistencia y  $VO_{2m\acute{a}x}$  si se produce un aumento de la VFC en reposo al inicio de la mañana (Vesterinen, Nummela, et al., 2016).

Alta VFC al inicio del estudio se asoció con una buena adaptación al entrenamiento después del entrenamiento de alta intensidad, y baja VFC al inicio parece indicar una mala adaptación al entrenamiento, posiblemente causada por un estado de fatiga (Vesterinen et al., 2013). Durante el entrenamiento, los sujetos que fueron capaces de mantener o incluso aumentar la modulación parasimpática, eran más propensos a mejorar su rendimiento en carrera (Da Silva, Verri, Nakamura, & Machado, 2014). Esto sugiere que VFC en la línea base puede potencialmente ser un método útil para prescribir entrenamiento de resistencia y realizar un seguimiento de la fatiga (Vesterinen et al., 2013).

Sin embargo, existen ciertas limitaciones en la utilización de la VFC como herramienta de control que se han de tener en cuenta. Una de ellas es la incertidumbre a la hora de escoger cuál es el protocolo a seguir para la medición de la VFC, como la necesidad de medir a primera hora de la mañana, lo que implica que las mediciones de VFC realizadas en el domicilio pueden no ser tan altamente estandarizadas como cuando se realizan en condiciones de laboratorio (Vesterinen, Nummela, et al., 2016). Otra cosa a tener en cuenta es que los índices de VFC muestran una alta variación día a día. Para reducir ese 'ruido' y poder así utilizar VFC para prescribir entrenamiento de resistencia, lo que se ha hecho es una media entre los datos de una semana para así conseguir mayor validez en los datos de VFC y reducir las fluctuaciones que se producen en VFC día a día (Plews et al., 2013).

Con todo esto, los objetivos de mi trabajo de fin de grado son: 1) observar cómo se modifica la VFC con el efecto agudo del entrenamiento. 2) Ver cuáles son las correlaciones entre los cambios de VFC y la mejora del rendimiento. 3) Relacionar las modificaciones entre la carga de entrenamiento y la VFC y 4) Observar si la VFC puede ser utilizada como herramienta para la prescripción del entrenamiento de resistencia en deportistas de élite y recreativos.

## 2. MÉTODO

Se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos PubMed el día 14/02/2018 con las palabras clave que aparecen en la tabla 1. La búsqueda se realiza con la siguiente fórmula: ("*Heart Rate Variability*" OR *parasympathetic* OR *vagal system*" OR *autonomic nervous system*") AND ("*endurance training*" OR *running* OR *aerobic fitness*" OR *high intensity training*" OR *endurance athletes*" OR *middle-distance runners*" OR *rowers* OR *cyclist* OR *elite athletes*" OR *distance runners*" OR *moderately trained*"). Se encontraron 184 artículos científicos de los cuales, tras aplicar y los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 2) finalmente se incluyeron 15 artículos. En la figura 1 se puede ver el proceso del método PRISMA que se llevó a cabo.

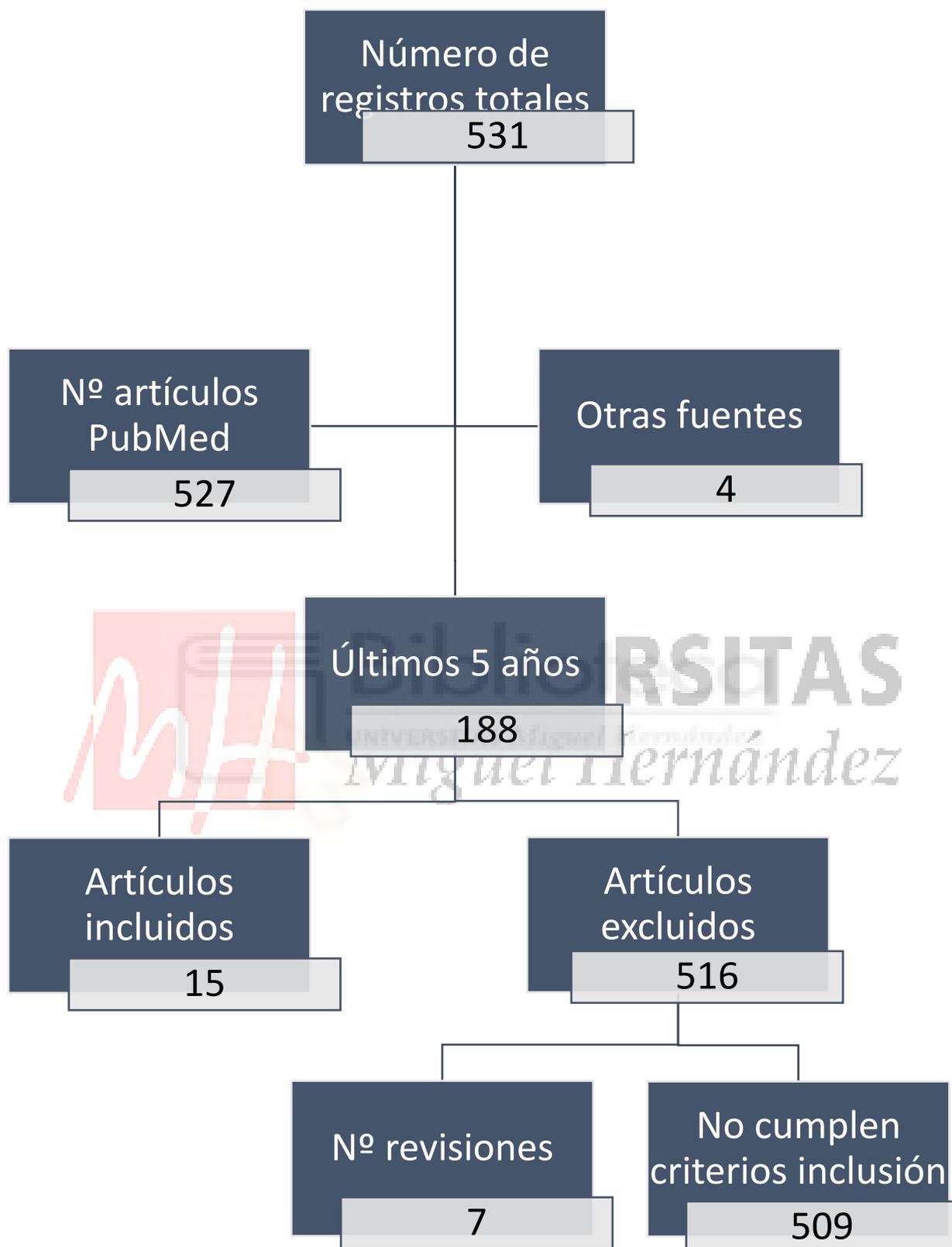
**Tabla 1.** Palabras clave utilizadas.

<b>HRV</b>	<b>Tipo Entrenamiento</b>	<b>Población objetivo</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- "Heart Rate Variability".</li><li>- Parasympathetic.</li><li>- "Vagal system".</li><li>- "Autonomic nervous system".</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- "Endurance training".</li><li>- Running.</li><li>- "Aerobic fitness".</li><li>- "High intensity training".</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- "Endurance athletes".</li><li>- "Middle-distance runners".</li><li>- Rowers.</li><li>- Cyclist.</li><li>- "Elite athletes".</li><li>- "distance runners".</li><li>- "moderately trained".</li></ul>

**Tabla 2.** Criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos encontrados durante la búsqueda.

<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Entrenamiento de resistencia.</li><li>- Publicado en los últimos 5 años.</li><li>- Artículo observacional o de intervención que mida la carga de entrenamiento y las variables necesarias.</li><li>- Deportistas de élite o recreativos.</li><li>- Control de la fatiga a través de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.</li><li>- Artículos publicados en castellano o inglés.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Artículo observacional que no mida la carga de entrenamiento.</li><li>- Ser una revisión.</li><li>- Ser niños y/o adolescentes.</li><li>- Tener patología.</li><li>- No ser un estudio en humanos.</li></ul>





**Figura 1.** Diagrama representativo del proceso llevado a cabo durante la revisión sistemática.

### 3. RESULTADOS

**Tabla 3.** Artículos basados en la VFC y su efecto agudo de una sesión.

Autor	N	Instrumento VFC / Carga	Protocolo VFC	Protocolo Rendimiento	Entrenamiento realizado	Resultados
Cipryan, 2015	12 hombres moderadamente entrenados	Polar Electro / hrTSS	<u>t' registro:</u> 10 min válidos últimos 5 min <u>Momento:</u> pre y post sesión (1h, 3h y 24h) <u>Variable:</u> rMSSD / Ln rMSSD	<u>GXT</u>	<b>HIT:</b> 3 sesiones: - 8 min calentamiento 50% VAM. - 12 min parte principal trabajo/recuperación (15/15; 30/30; 60/60). - 3 min enfriamiento a 5 km/h <b>Control:</b> 1 sesión - Resistencia.	Ln rMSSD: - <u>1h y 3h:</u> aumentó en todos los HITs. Más en 15/15 (TE=1.2) - <u>3h y 24h:</u> correlación pequeña en 15/15 (TE=-0.13) - <u>HIT 30/30</u> mejor correlación con hrTSS (TE= -0.35)
Kluszczewicz, 2016	10 hombres aparentemente sanos	ECG / Polar (Polar Electro Oy) – RPE	<u>t' registro:</u> 5 min <u>Momento:</u> antes entre 7 A.M y 11 A.M / pre-ejercicio (5 – 10 min) y postejercicio (15 – 20 min / 20 – 25 min / 25 – 30 min / 60 min) <u>Variable:</u> Ln rMSSD / Ln HF.	<u>GXT:</u> Protocolo Bruce	<b>1 día:</b> - <b>HIIT fuerza:</b> Crossfit, series de 5, 10 y 15 flexiones - <b>HIIT TM:</b> 20' a velocidad e inclinación que consiga estar >85% FC <sub>máx</sub>	Ln rMSSD HIPT: - POST <sub>60min</sub> Permanece significativamente inferior que en PRE (p ≤ 0.05) Ln rMSSD TM: - POST <sub>60min</sub> vuelve a valores casi basales respecto a PRE (p ≤ 0.05)
Perkins, 2016	9 estudiantes de universidad sanos (al menos 6 meses entrenamiento resistencia)	Polar (RS800CX) / ...	<u>t' registro:</u> 5 min <u>Momento:</u> inmediatamente después / 24h / 48h / 72h <u>Variable:</u> rMSSD / HF		1 sesión: - <b>HIT:</b> cicloergómetro 6 x 30 s REC= 4 min descanso o remando <30W. - <b>ET:</b> 45 min bici ergométrica a 62% FC <sub>máx</sub>	<u>Inmediatamente después HIT:</u> - ↓ rMSSD (p = 0.031) y ↓ HF (p = 0.031) y vuelve a valores basales 24h después. <u>Inmediatamente después ET:</u> - No hay cambios significativos en rMSSD ni HF Sin cambios tras 24h.

VAM: : Velocity associated with maximal oxygen uptake; GXT: Graded Exercise Test; hrTSS: Hate Rate Training Stress Score; HIIT: High Intensity Interval Training; rMSSD: square root of the HRV mean sum of the squared differences between R-R intervals; Ln rMSSD: natural logarithm of the square root of mean squared differences of successive R-R intervals; ECG: Electrocardiogram; RPE: Rango de Esfuerzo Percibido; Ln HF: natural logarithm of high frequency band; HIIT TM: High-intensity treadmill running; HF: High frequency band; ET: Endurance Training.

**Tabla 4.** Artículos basados en las correlaciones entre los cambios en la VFC y la mejora del rendimiento.

<b>Autor</b>	<b>N</b>	<b>Instrumento VFC / Carga</b>	<b>Protocolo VFC</b>	<b>Protocolo Rendimiento</b>	<b>Entrenamiento realizado</b>	<b>Resultados</b>
Buchheit, 2013	18 jugadores de fútbol de élite.	Polar Team 2 system / RPE sesión	<i>t' registro:</i> 3 min <i>Momento:</i> Post-sesión <i>Variable:</i> LnSD1	<i>Yo-YoR2:</i> Antes del entrenamiento, las mañanas del día 1, 7 y 14.	<b>2 semanas:</b> específico + resistencia + fuerza	LnSD1 correlación moderada con RPE sesión (r=0.51) LnSD1 correlación muy grande con Yo-YoR2 (r=0.78)
Da Silva, 2014	6 corredores de resistencia masculinos de élite	Polar (RS800sd Kempele) / RPE sesión (6 – 20)	<i>t' registro:</i> 10 min válidos últimos 5 min. <i>Momento:</i> 30 min antes de la prueba de funcionamiento incrementales. <i>Variable:</i> RR <sub>mean</sub> / rMSSD / SD1 / SD2 / LF / HF	<i>GXT</i> <i>5 km en pista de 400m:</i> 48 horas después del laboratorio.	<b>7 semanas:</b> 6 días a la semana con una media de 92.1 ± 13.8 km/sem. - 4-5 días 65-70% VAM; 1-2 días a 108-112% VAM	rMMSD correlación muy grande con VO <sub>2</sub> máx (r = 0.70) SD1 correlación muy grande con mejoras en 5 km (r = 0.77) SD2 correlación grande con VAM (r = 0.63)
Stanley, 2015	1 triatleta de élite (hombre)	Suunto Oy / GPS (Suunto Oy) – Medidor de potencia (ciclismo)	<i>t' registro:</i> 5 min sentado <i>Momento:</i> al despertar <i>Variable:</i> Ln rMSSD / Ln rMSSD : RR	<i>GXT</i>	<b>32 semanas:</b> - Seguimiento de entrenamiento.	Rendimiento óptimo se asocia con ↓ de Ln rMSSD (-0.86) y Ln rMSSD:RR (-0.90) en la semana antes de la competición.

RPE: Rango de Esfuerzo Percibido; LnSD1: Vagal-related HRV index; Yo-YoR2: Yo-Yo intermittent recovery level 2 test; RR<sub>mean</sub>: mean of R-R intervals; rMSSD: square root of the HRV mean sum of the squared differences between R-R intervals; Ln rMSSD: natural logarithm of the square root of mean squared differences of successive R-R intervals; SD1: Values short-term HRV; SD2: values long-term HRV; LF: Low frequency band; HF: High frequency band; GXT: Graded Exercise Test; VAM: Velocity associated with maximal oxygen uptake; VO<sub>2</sub>máx: maximal oxygen uptake; GPS: Global Positioning System; Ln rMSSD:RR: the ratio of Ln rMSSD to R-R interval length.

**Tabla 5.** Artículos basados en la relación entre la VFC y la carga de entrenamiento.

<b>Autor</b>	<b>N</b>	<b>Instrumento VFC / Carga</b>	<b>Protocolo VFC</b>	<b>Protocolo Rendimiento</b>	<b>Entrenamiento realizado</b>	<b>Resultados</b>
Buchheit, 2013	18 jugadores de fútbol de élite.	Polar Team 2 system / RPE sesión	<u>t' registro:</u> 3 min <u>Momento:</u> Post-sesión <u>Variable:</u> LnSD1	<u>Yo-YoR2:</u> Antes del entrenamiento, las mañanas del día 1, 7 y 14.	<b>2 semanas:</b> específico + resistencia + fuerza	LnSD1 correlación moderada con RPE sesión (r=0.51) LnSD1 correlación muy grande con Yo-YoR2 (r=0.78)
Hernando D, 2017	23 hombres que practican AF por lo menos 3 días/semana	ECG (Mortara 48h H12+) / VO <sub>2</sub> máx – potencia	<u>t' registro:</u> 5 min. <u>Momento:</u> justo antes de las pruebas y después <u>Variable:</u> HF	<u>GXT</u> <u>GXT SubT:</u> GXT hasta 90% FC. <u>GXT SubC:</u> GXT hasta 90% en cicloergómetro.	<b>3 semanas,</b> 3 sesiones/ sem. Con 1 prueba de esfuerzo a la semana.	<u>HF:</u> ↑ 20% en nivel medio-alto. ↑ 40% en nivel máximo. ↑ 20% en recuperación.
Hug, 2014	9 corredores maratón bien entrenados	Suunto T6 / RPE <sub>sesión</sub>	<u>t' registro:</u> 10 min (válidos últimos 8 min inicio y 5 min final prueba). HRR 30 s y 60 s después GXT. <u>Momento:</u> Antes y después de GXT. <u>Variable:</u> rMSSD / HRR	<u>GXT:</u> al principio y final de cada fase de entrenamiento.	<b>10 semanas:</b> - 4 semanas normal. - 3 semanas sobrecarga - 3 semanas de tapering (↓Volumen ↑ Intensidad)	<u>RMSSD<sub>5-10 min</sub></u> (7.6 ± 3.3 vs. 8.6 ± 2.9 ms; P = 0.045) ↓ después de la 2ª sem tapering <u>Durante tapering:</u> se correlaciona negativamente con el cambio en HRR <sub>60s</sub> (r = - 0.84; P = 0.005) pero no RMSSD <sub>5-10 min</sub> (r = - 0.21; P = 0.59)
Plews, 2014	9 remeros de élite (4 mujeres y 5 hombres)	Polar RS800CX / hrTSS	<u>t' registro:</u> 6 min <u>Momento:</u> Cada mañana <u>Variable:</u> Ln rMSSD	<u>GXT ergómetro</u>	26 semanas previas a JJ.OO. 2012: - TTT - <LT1 / LT1 – LT2 / >LT2 *observamos la carga entre esos umbrales	Correlaciones Ln rMSSD: - <u>TTT:</u> Pequeña (r=0.37±0.8) - <u>&lt;LT1:</u> Moderada (r=0.43±0.10) - <u>LT1-LT2:</u> Incierto (r=0.1±0.17) - <u>&gt;LT2:</u> Pequeña (r=0.22±0.5) - <u>hrTSS:</u> Pequeña (r=0.24)
Schmith, 2013	57 esquiadores nórdicos de élite (27 hombres y 30 mujeres)	Suunto T6 – FFT / ...	<u>t' registro:</u> 8 min (SU) 7 min (ST) <u>Momento:</u> Cada miércoles <u>Variable:</u> TP / HF / LF (SU – ST)	<u>GXT</u>	<b>4 años:</b> - Observación sin intervenir en el tipo de entrenamiento.	VFC: - Diferencia entre 'fatiga' (↓VFC) y 'no fatiga' (↑VFC) (P=0.0001)

Vesterinen, 2013	28 corredores recreativos masculinos	Suunto Memory Belt / Intensidades FC – Velocidad GPS – TRIMP Banister (Suunto T6)	<u>t' registro</u> : mientras duermes (válido 4h después de los 30 min iniciales). <u>Momento</u> : inicio (al ir a dormir) y final (al despertar) <u>Variable</u> : SDNN / rMSSD / LFP / HFP / TP	<u>GXT</u>	<b>28 semanas:</b> - <u>14 BTP</u> : ciclos 4 semanas (3↑ 1↓). Correr, ciclismo o esquí de fondo + 2-3 veces/sem fuerza. - <u>14 ITP</u> : ciclos de 3 semanas (2↑ 1↓). - <u>Rec</u> : ↓U <sub>Aeróbico</sub> - <u>Carga</u> : ↑U <sub>Anaeróbico</sub>	VAM en ergómetro mejoró 7.5% ±4.5% - <b>BTP</b> no se encontraron cambios significativos en VFC. - <b>ITP</b> índices aumentaron significativamente ( <u>HFP</u> : 1.9%, P=0.026; <u>TP</u> : 1.7%, P=0.007)
------------------	--------------------------------------	---	--	------------	---	--

VFC: Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca; VO<sub>2máx</sub>: maximal oxygen uptake; VAM: Velocity associated with maximal oxygen uptake; GXT: Graded Exercise Test; rMSSD: square root of the HRV mean sum of the squared differences between R-R intervals; Ln rMSSD: natural logarithm of the square root of mean squared differences of successive R-R intervals; hrTSS: Hate Rate Training Stress Score; ECG: Electrocardiogram; HRR: Heart Rate Recovery; HF: High frequency band; LT1: the first lactate threshold; LT2: the second lactate threshold; TTT: Total Training Time; SU: R-R interval were recorded supine; ST: R-R interval were recorded standing; BTP: Basic Training; ITP: Intensity Training Periods; TP: total spectral power; GPS: Global Positioning System; FC: Frecuencia Cardíaca; SDNN: standard deviation of RRI; LFP: low frequency power; HFP: high frequency power.

**Tabla 6.** Artículos basados en la VFC como herramienta para la prescripción del entrenamiento.

Autor	N	Instrumento VFC / Carga	Protocolo VFC	Protocolo Rendimiento	Entrenamiento realizado	Resultados
Vesterinen, 2016	40 corredores de resistencia recreativa (20 hombres y 20 mujeres) 31 sujetos acabaron el estudio.	Pro Mobile con correa 2 cables (Omegawave Ltd) / Garmin FR 610 con GPS – RPE <sub>sesión</sub> 0-10 Carga: Garmin FR 610 con GPS; RPE; Recuperación (0-10)	<u>t' registro</u> : 4 min <u>Momento</u> : al despertar <u>Variable</u> : rMMSD 7 day	<u>GXT</u>	<b>12 semanas:</b> <b>PREP</b> : 4 sem: mismo <u>Vol</u> que antes del estudio. <b>INT</b> : 2 ciclos (3↑ 1↓). 2 grupos: PREP = - <b>TRAD</b> : 50% ses ↓I (<LT1) + 50%/sesiones ↑I mod (LT1 – LT2) y alta (>LT2). - <b>EXP</b> : ↑Int hasta ver cambio en VFC que ↓Int	- <b>EXP</b> mejoró en la prueba de 3000m en comparación con TRAD. - VFC relacionado con prescripción individual del entrenamiento de resistencia. - VFC mejoró 7% VO <sub>2máx</sub> y 6% su rendimiento de carrera en EXP mientras que TRAD sólo mejoró 4% rendimiento de carrera. - VFC para ver cuando es el mejor momento para realizar entrenamiento vigoroso.

Vesterinen, 2016	40 corredores de resistencia recreativa (20H y 20M) 29 terminaron (16M, 13H)	Garmin FR 610 / Garmin FR 610 - RPE <sub>sesión</sub>	<u>t' registro</u> : mientras duermes (válido 4h después de los 30 min iniciales). <u>Momento</u> : inicio (al ir a dormir) y final (al despertar) <u>Variable</u> : LFP / HFP / TP	<u>GXT</u>	<b>16 semanas: (2 ciclos 8 sem):</b> <b>PREP</b> : mismo Vol. 1vez/sem Int mod (LT1-LT2) alta (>LT2); 1vez/sem Int baja (<LT1) <b>INT</b> : 2 grupos (2 ciclos 3↑ 1↓) - <b>HVT</b> : ↑Vol. ↑30-35% Vol - <b>HIIT</b> : ↑Int. 3 sesiones • V=cte 20-40' 80-90% FC • 4 x 4' 90-95% FC R=3' (<LT1) • 6 x 2' 100% RS <sub>pico</sub> R=2' (<LT1)	HFP <sub>nocturna</sub> correlaciona positiva con la adaptación en <b>HIT</b> (r=0.63, P=0.039) y negativa con <b>HVT</b> (r=-0.74, P=0.006)
Javaloyes, 2018	17 ciclistas bien entrenados <u>2 grupos</u> : - VFC-G: 9 - TRAD: 8	Polar H7 – App Elite HRV / PPO – Umbrales Ventilatorios – 40TT	<u>t' registro</u> : 90 s <u>Momento</u> : al despertar <u>Variable</u> : Ln rMSSD <sub>7-day</sub>	<u>GXT</u> <u>PPO</u> <u>40TT</u>	<b>12 semanas</b> - <b>BW</b> : 4 semanas - <b>TW</b> : 8 semanas. 2 ciclos (3:1) • <b>VFC-G</b> : carga guiada por VFC • <b>TRAD</b> : Carga preestablecida.	- <b>VFC-G</b> mejoró PPO (5.1 ± 4.5%; p=0.024), WVT2 (13.9 ± 8.8%; p=0.004) y 40TT (7.3 ± 4.5%; p=0.005) - <b>TRAD</b> no mejoró significativamente después de TW.

VFC: Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca; GXT: Graded Exercise Test; RPE: Rango de Esfuerzo Percibido; GPS: Global Positioning System; rMSSD<sub>7day</sub>: a 7-day rolling average of rMSSD; EXP: HRV-guided experimental training group; TRAD: Traditional, predefined training group; HIIT: High Intensity Interval Training; HVT: High volume training group; LT1: the first lactate threshold; LT2: the second lactate threshold; TP: total spectral power; LFP: Low Frequency Power; HFP: High Frequency Power; PREP: Preparation Period; INT: intense 8-week training period. WVT2: Power output at VT2; 40TT: 40-min all-out time-trial.

## 4. DISCUSIÓN

Los objetivos del presente trabajo son: 1) Valorar el efecto agudo (una sesión) sobre la VFC; 2) analizar las relaciones entre las mejoras de la VFC y el rendimiento; 3) Relacionar los cambios en VFC con la carga total de entrenamiento; 4) Valorar la posibilidad de utilizar la VFC como herramienta para la prescripción de entrenamiento.

Sobre el efecto agudo de la VFC en una sesión de alta intensidad aeróbica, se puede observar que se produce una gran disminución del Ln rMSSD después de la realización de la sesión en comparación con niveles cogidos antes del ejercicio realizado y que poco a poco van restableciéndose a valores basales vuelven a valores basales tras 24h (Perkins, Jelinek, Al-Aubaidy, & de Jong, 2017).(Cipryan, Laursen, & Plews, 2016). Ha de tenerse en cuenta el tipo de ejercicio que realizado ya que no se produce el mismo efecto sobre la VFC si comparamos un HIT de fuerza con un HIT de resistencia, donde en el HIT de fuerza la VFC sigue significativamente inferior a los valores recogidos antes de la sesión tras 1h (Kliszczewicz et al., 2016). Si tenemos en cuenta valores de VFC en una sesión de resistencia se puede ver que los valores de VFC quedan restablecidos tras 24h después de la sesión. Seguidamente de realizar el HIT, los valores de VFC relacionados con el sistema parasimpático (rMSSD) se redujeron entre 90 y 120 minutos después del ejercicio.

Si hablamos de la correlación que existe entre el cambio de la VFC y el aumento del rendimiento podemos tener en cuenta que las variaciones en la carga de entrenamiento afectan sistemáticamente a algunos aspectos fisiológicos como LnSD1 (19%  $P < 0.001$ ) lo que nos lleva a la importancia de cuantificar y organizar la carga de entrenamiento en el tiempo. LnSD1 (+0.1 (0.04; 0.06) m día<sup>-1</sup>) y rendimiento en Yo-Yo R2 (+23.7 (20.8; 26.6) m día<sup>-1</sup>,  $P < 0.001$ ) aumentan lo que nos dice que un aumento en la VFC a lo largo del tiempo nos proporciona una correlación positiva con el aumento del rendimiento (Buchheit et al., 2013). Las correlaciones se clasifican como 'grande' y 'muy grande' entre la VFC parasimpática con la VAM y  $VO_{2\text{máx}}$ . Además, un aumento longitudinal de la actividad parasimpática (rMSSD, SD1 y HF), parece estar fuertemente asociado con mejoras en el aumento de rendimiento en deportistas de alto nivel. Los cambios en el test de 5km en rendimiento de carrera presentó correlación de 0.69 con el % de cambio de rMSSD medido en reposo. Por lo tanto, se observa que el aumento de la actividad parasimpática se correlaciona no solo con el aumento de resistencia sino también con la reducción de la fatiga percibida, que nos puede decir que los cambios en la VFC parasimpática fueron positivamente correlacionados con los cambios en  $VO_{2\text{máx}}$  y la VAM (Da Silva et al., 2014). Por último, un aumento de 4% a 9% en la VFC durante los bloques de precompetición puede ser necesario para un rendimiento óptimo de competición. Se observó aumentos en Ln rMSSD de hasta el 10% durante los bloques de precompetición (Stanley, D'Auria, & Buchheit, 2015).

La relación entre la carga de trabajo y la VFC es importante ya que pequeñas variaciones de la carga de trabajo día a día hace que la VFC aumente (LnSD1, 19,0%,  $P < 0,001$ ) (Buchheit et al., 2013). Los índices de reactivación parasimpática son sensibles con la manipulación de la carga de entrenamiento donde la activación simpática se reduce y la parasimpática aumentan después de una carga de entrenamiento elevada y tras la segunda semana de tapering (Hug et al., 2014). También podemos observar que el aumento del equilibrio del SNA después del entrenamiento a baja intensidad tiene una serie de beneficios si los combinamos con entrenamientos de alta intensidad lo que nos hace que los valores de Ln rMSSD se reduzcan en reposo y el rendimiento aumente en mayor medida (por ejemplo, el mantenimiento del equilibrio del SNA durante los periodos de entrenamiento de alta intensidad). Se vio una relación positiva en entre la variación de la VFC y el tiempo dedicado por debajo de LT1 y por encima de LT2 con una correlación positiva con el aumento del rendimiento. También podemos observar que el tiempo dedicado entre LT1 y LT2 no parece tener ningún efecto en la VFC, por lo tanto entrenar en esas intensidades no nos da ninguna mejora significativa (Plews et al., 2014). Otro aspecto a tener en cuenta es la fatiga de los sujetos para proporcionar la carga de entrenamiento adecuada y así poder conseguir el rendimiento óptimo. Los valores de VFC son significativamente menores en un sujeto con fatiga que sin fatiga ( $P=0.0001$ ) tanto en posición supina como de pie (Schmitt et al., 2013). También nos pueden sugerir que una moderada y alta intensidad es necesaria para que se produzcan cambios significativos en la

actividad parasimpática del SNA y además con un aumento de la carga de entrenamiento progresiva nos conduce a una adaptación al entrenamiento de resistencia prolongado. Se observó una correlación significativa entre los índices de referencia de la VFC y la adaptación de resistencia solo con los entrenamientos de alta intensidad. Y que el entrenamiento de baja intensidad no proporciona cambios en VFC parasimpática (Vesterinen et al., 2013). Por lo tanto, todo esto tiene que estar sujeto a más investigación. Durante la primera fase del ejercicio, hay un rápido aumento de la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno, junto con un aumento de la potencia LF normalizado y una disminución de la potencia HF normalizada. En la fase de recuperación se espera el efecto contrario. Todo esto se da con intensidades moderadas y altas para conseguir un aumento del rendimiento (Hernando et al., 2017).

Podemos observar que hay muchos protocolos de medición de la VFC como por ejemplo utilizando como tiempo de registro 10 minutos cogiendo los últimos 5 minutos como válidos, el momento de medición se hace antes de la sesión y después inmediata, una, tres y veinticuatro horas después, cogiendo como variable rMSSD y Ln rMSSD (Cipryan et al., 2016). El que se ha visto más relación entre la carga de trabajo y la VFC ha sido en el protocolo de Plews et al., donde se ve que con altas intensidades la VFC baja y con cargas bajas la VFC sube.

Por último, destacamos la importancia de utilizar la VFC como herramienta para la prescripción del entrenamiento. Donde podemos ver que en la realización de 3000m se ha mejorado el rendimiento solo en el grupo de entrenamiento de la VFC ( $r=0.63$ ,  $P=0.039$ ) durante un periodo de 8 semanas por la realización de sesiones de baja y alta intensidad. El grupo de VFC guiado mostró una mejora del 7% en  $VO_{2máx}$  y una mejora del 6% en el rendimiento (Vesterinen, Hakkinen, et al., 2016). También podemos observar que los sujetos con menor HFP ( $<8.1 \text{ ms}^2$ ) mostró menor cambio en la VAM, esto puede deberse a la mejor preparación física de estos sujetos y por lo tanto el entrenamiento no haya sido suficiente para observar mejoras significativas. Por ello, la VFC puede ser una herramienta potencial para la identificación de la capacidad de entrenamiento de un individuo a priori (Vesterinen, Nummela, et al., 2016). La prescripción de entrenamiento basada en valores de VFC por la mañana podría conducir a una menor proporción de entrenamiento moderado y por lo tanto a una mayor proporción de entrenamiento de baja y alta intensidad ya que esta distribución ha demostrado una mayor mejora del rendimiento deportistas de resistencia bien entrenados y de élite. Se ha sugerido que el entrenamiento de alta intensidad podría mejorar PPO donde mejora más en el grupo donde el entrenamiento es guiado por la VFC. Además, hay que tener en cuenta las oscilaciones que presenta la VFC día a día y por lo tanto se utiliza la VFC con un promedio de 7 días para solventar esas oscilaciones. Es ese promedio el que se puede utilizar como herramienta para la prescripción del entrenamiento de resistencia (Javaloyes, Sarabia, Lamberts, & Moya-Ramon, 2018).

## 5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Mi propuesta de intervención va dirigida al entrenamiento de resistencia por montaña donde la VFC puede tener un papel importante como ayuda para la prescripción de entrenamiento. Ya que anteriormente se ha sugerido que el entrenamiento con VFC guiada muestra una mejora del 7% en  $VO_{2máx}$  y un 6% en el rendimiento utilizando sesiones de baja y alta intensidad. Se puede hacer una planificación utilizando las dos intensidades según nos marque la VFC (Vesterinen, Hakkinen, et al., 2016).

En cuanto a la medición de la VFC cabe destacar que como es día a día tenemos que buscar un protocolo cómodo para el sujeto. Hay muchos protocolos que a día de hoy se utilizan y son válidos para recoger los datos. El protocolo que más se ajusta a mi intervención será el de Javaloyes et al., 2018. La medición consta de 90 segundos, de los cuales descartamos los primeros 30 segundos, tomados al despertar justo después de vaciar la vejiga en una posición supina. La variable más fiable es rMSSD para elegirlo como índice vagal en base a nuestra conveniencia y su fiabilidad con respecto a otros índices. Los datos de la VFC se transformaron tomando el logaritmo natural (Ln rMSSD) para permitir comparaciones estadísticas paramétricas que asumen una distribución normal y un promedio móvil de 7 días (Ln rMSSD<sub>7day</sub>) se calculó con el propósito de prescripción del entrenamiento y descartar posibles oscilaciones

que presenta la VFC día a día (Javaloyes et al., 2018). He elegido este protocolo porque es el más sencillo, rápido y cómodo para el deportista.

La planificación del entrenamiento de resistencia iría encaminado a la realización de sesiones de baja y alta intensidad (como nos marca Plews et al., 2014) y puede medirse por ritmos de carrera o por acumulación de desnivel. El papel de la VFC sería decirnos en qué momento nuestro cuerpo está preparado para soportar los tipos de sesiones. Si nuestra VFC por la mañana está dentro de los valores normalizados donde esos valores se calculan a través de un registro inicial de unas 4 semanas para calcular el valor de referencia (siempre teniendo en cuenta el promedio de 7 días,  $\ln rMSSD_{7day}$ ), podremos afrontar sesiones de alta intensidad si así están planificadas. Si, por el contrario, aunque nosotros como preparadores físicos tengamos una sesión de alta intensidad planificada pero nuestra VFC está por encima o por debajo de los valores normalizados, deberemos de tomar precaución y modificar nuestra planificación porque puede deberse a que nuestro deportista esté en un estado de fatiga o sobreentrenamiento.

Por último, hay que destacar que la VFC utilizada como herramienta para la prescripción del entrenamiento de resistencia es algo muy nuevo. El avance de la tecnología ha hecho posible que esté al alcance de muchos y pueda ser fácil y sencillo de tomar las mediciones y no tener que ir a un laboratorio a tomarlas. Ese mismo beneficio tiene la limitación que no ves al deportista como realiza el protocolo de medición, pero como todo, lleva un proceso de aprendizaje.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., . . . Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J Sci Med Sport*, *16*(6), 550-555. doi: 10.1016/j.jsams.2012.12.003
- Cipryan, L., Laursen, P. B., & Plews, D. J. (2016). Cardiac autonomic response following high-intensity running work-to-rest interval manipulation. *Eur J Sport Sci*, *16*(7), 808-817. doi: 10.1080/17461391.2015.1103317
- Da Silva, D. F., Verri, S. M., Nakamura, F. Y., & Machado, F. A. (2014). Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices in endurance runners: a case study with a high-level team. *Eur J Sport Sci*, *14*(5), 443-451. doi: 10.1080/17461391.2013.832802
- Hernando, D., Hernando, A., Casajus, J. A., Laguna, P., Garatachea, N., & Bailon, R. (2017). Methodological framework for heart rate variability analysis during exercise: application to running and cycling stress testing. *Med Biol Eng Comput*. doi: 10.1007/s11517-017-1724-9
- Hug, B., Heyer, L., Naef, N., Buchheit, M., Wehrli, J. P., & Millet, G. P. (2014). Tapering for marathon and cardiac autonomic function. *Int J Sports Med*, *35*(8), 676-683. doi: 10.1055/s-0033-1361184
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2018). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability in Cycling. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-28. doi: 10.1123/ijsp.2018-0122
- Kluszczewicz, B. M., Esco, M. R., Quindry, J. C., Blessing, D. L., Oliver, G. D., Taylor, K. J., & Price, B. M. (2016). Autonomic Responses to an Acute Bout of High-Intensity Body Weight Resistance Exercise vs. Treadmill Running. *J Strength Cond Res*, *30*(4), 1050-1058. doi: 10.1519/jsc.0000000000001173
- Perkins, S. E., Jelinek, H. F., Al-Aubaidy, H. A., & de Jong, B. (2017). Immediate and long term effects of endurance and high intensity interval exercise on linear and nonlinear heart rate variability. *J Sci Med Sport*, *20*(3), 312-316. doi: 10.1016/j.jsams.2016.08.009
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Heart-rate variability and training-intensity distribution in elite rowers. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(6), 1026-1032. doi: 10.1123/ijsp.2013-0497
- 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

- 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), e71588. doi: 10.1371/journal.pone.0071588
- Stanley, J., D'Auria, S., & Buchheit, M. (2015). Cardiac parasympathetic activity and race performance: an elite triathlete case study. *Int J Sports Physiol Perform*, *10*(4), 528-534. doi: 10.1123/ijsp.2014-0196
- 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

