

Trabajo de Final de Grado

# Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca y su aplicación en las carreras de resistencia

**UA** | UNIVERSITAT D'ALACANT  
UNIVERSIDAD DE ALICANTE  
Facultat de Educació  
Facultad de Educación

Miguel Gisbert Osuna

48567603K

Tutor: Luís Fermín Sánchez García

Facultat d'Educació

Curso: 2019/2020



## ÍNDICE

---

1.	Aspectos Previos .....	3
2.	Resumen .....	4
3.	Justificación .....	4
4.	Introducción.....	4
5.	Metodología.....	5
5.1	Búsqueda de información .....	5
5.2	Resultados obtenidos .....	6
6.	Resultados.....	10
6.1	VFC como indicativo de sobreentrenamiento, fatiga o riesgo cardíaco	10
6.2	VFC como indicativo de carga o adaptación al entrenamiento .....	13
6.3	Entrenamiento guiado según VFC .....	18
7.	Conclusiones.....	21
7.1	VFC como indicativo de sobreentrenamiento, fatiga o riesgo cardíaco	21
7.2	VFC como indicativo de adaptación al entrenamiento .....	21
7.3	Entrenamiento guiado según VFC .....	22
8.	Futuras líneas de investigación.....	22
9.	Limitaciones .....	23
10.	Bibliografía.....	24

# 1. ASPECTOS PREVIOS

---

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DE LA MEMORIA DEL TFG

D. **Miguel Gisbert Osuna**, con DNI **48567603K**, estudiante del Grado **Ciencias de la Actividad Física y el Deporte**, de la Universidad de Alicante, realizado en el período **2016-2020**

DECLARO QUE:


La Memoria del Trabajo Fin de Grado denominado: **Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca y su Aplicación en las Carreras de Resistencia** ha sido desarrollado respetando la propiedad intelectual (citando las fuentes bibliográficas utilizadas en la redacción de dicho trabajo), así como cualquier otro derecho, por ejemplo, el de imagen que pudiese estar sujeto a protección del *copyright*.

En virtud de esta declaración afirmo que este trabajo es inédito y de mi autoría, por lo que me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance de la Memoria del Trabajo Fin de Grado y asumo las consecuencias administrativas y jurídicas que se deriven en caso de incumplimiento de esta declaración.

Y para que así conste, firmo la presente declaración en

Alicante, a **28 de mayo de 2020**.

Fdo.: **Miguel Gisbert Osuna**



### *Principales Abreviaturas utilizadas*

VFC: Variabilidad de Frecuencia Cardíaca.

FC: Frecuencia Cardíaca.

RFC: Recuperación de la Frecuencia Cardíaca.

FRR: Frecuencia Cardíaca en Reposo.

RMSSD: Root Mean Square Successive Differences between R-R intervals.

VAM: Velocidad Aeróbica Máxima.

t1K, t3K, t5K, t10K: Tiempo mínimo en correr 1, 3, 5 y 10 Km.

V<sub>máx</sub>: Velocidad máxima obtenida en cinta de correr.

LT1 y LT2: Umbral de lactato 1 y 2.

RPE: Ratio de Esfuerzo Percibido.

## 2. RESUMEN

---

La Variabilidad de Frecuencia Cardíaca (VFC) ha sido utilizada en la prevención de riesgos cardiovasculares durante mucho tiempo, después de que se demostrase que podía ser un indicador válido en este sentido. También se demostró que unos mayores índices de VFC estaban relacionados con un mejor control de la alternancia entre sistema nervioso autónomo simpático y parasimpático. No son pocos los estudios que han seguido esta línea para tratar de vincular altos índices de VFC también con la adaptación al entrenamiento y, por tanto, con el nivel de preparación física frente a determinados esfuerzos. También se han intentado vincular los bajos índices de VFC con sobreentrenamiento, fatiga o estrés. Incluso hay quien ha tratado de comprobar si un entrenamiento en el que definamos diariamente el nivel de intensidad a aplicar en la sesión según la medición matutina y en reposo de VFC de ese mismo día tendría mayores beneficios que un entrenamiento estándar predefinido.

## 3. JUSTIFICACIÓN

---

Puesto que la mayoría de los estudios mencionados en el punto anterior, y que pasaremos a analizar a lo largo del trabajo, han tenido éxito en sus hipótesis nos parece procedente analizar la posible aplicabilidad de estos tres grandes usos de la VFC en las carreras de resistencia tratando de incidir más en lo publicado hasta ahora en referencia a las carreras por montaña o de larga distancia que era la temática original del trabajo tal y como explicamos en el último punto “limitaciones”.

## 4. INTRODUCCIÓN

---

La FC es un índice de medición común en salud y deporte utilizado en diferentes contextos como, por ejemplo, la expresión de la carga de entrenamiento por el método TRIMP (Training Impulse) (Saboul et al., 2016). La FC, expresada en pulsaciones por minuto, se puede extraer de entre cada par de latidos multiplicando el tiempo transcurrido entre ellos, medido en segundos, por 60. De esta forma, se puede observar que esta duración es diferente para cada par de latidos y esta diferencia es la propia definición de VFC. También puede expresarse como la magnitud de la variación en las duraciones entre intervalos de onda R en un determinado periodo de tiempo (Peltola, 2012).

La VFC puede ser expresada en función de tiempo o de frecuencia (Francesco et al., 2012). Los índices basados en tiempo fueron los primeros en usarse y son los más simples, expresan estadísticamente la diferencia de las duraciones entre latidos: desviación típica de los intervalos latido-latido (SDNN), raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias entre intervalos adyacentes (RMSSD), proporción de intervalos sucesivos que difieren entre sí en más de 50 ms. respecto al total de intervalos medidos (pNN50), etc. Los índices basados en frecuencia se empezaron a utilizar para evaluar la contribución de la VFC al funcionamiento del sistema nervioso autónomo. Este método básicamente divide la frecuencia en bandas y cuenta cuántos intervalos NN (pulsación a pulsación) hay en cada banda: alta frecuencia (HF) de 0.15 a 0.4 Hz, baja frecuencia (LF) de 0.04 a 0.15 Hz, y muy baja frecuencia (VLF) de 0.0033 a 0.04 Hz.

Diferentes estudios relacionan un descenso de la VFC con el estrés (Castaldo et al., 2015), depresión (Kemp et al., 2012) o incluso riesgos cardiovasculares (Thayer et al., 2010) Así como un aumento de la misma implica un mejor equilibrio entre sistema nervioso autónomo simpático y parasimpático y una buena activación vagal (Sztajzel, 2004).

Recientemente se han estudiado también implicaciones sobre la VFC relacionadas con la actividad física y el deporte, tanto como indicativo de carga de entrenamiento, como de preparación, rendimiento o adaptación al entrenamiento (Makivić et al., 2013). El objetivo de esta revisión es analizar la bibliografía existente al respecto relacionada con las carreras de resistencia tratando de incidir más en las pocas que hemos podido encontrar con algún vínculo con el Trail Running o Carreras por Montaña.

## 5. METODOLOGÍA

---

### 5.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Para la búsqueda de artículos se han utilizado los metabuscaadores Sport Discuss, Scopus y Web of Science, en ese orden. Se han realizado dos búsquedas en cada uno con las palabras clave “HRV” AND “training” AND “running” y “HRV” AND “guided” AND “training” y se ha seguido un criterio de selección de relevancia e interés con la materia

analizada en esta revisión y, obviamente, de no repetición de artículos entre diferentes buscadores.

## 5.2 RESULTADOS OBTENIDOS

**Buscador:** Sport Discuss, Resultados: 56, Seleccionados: 15

**Búsqueda:** "HRV" and "training" and "running"

Referencia	Objetivos	Método	Conclusiones
(Baumert et al., 2006)	Evaluar los efectos cardiovasculares del sobreentrenamiento.	10 atletas (5 hombres y 5 mujeres) corredores de pista, cross y triatlón se someten a un campo de entrenamiento de 2 semanas.	Se observa una reducción importante de la VFC durante el sobreentrenamiento con recuperación parcial posterior a él. Rmssd: 68 -> 52 -> 61.
(Buchheit et al., 2010)	Evaluar relaciones entre el rendimiento en carrera y la función parasimpática. Examinar cambios en los índices de FC en un periodo de entrenamiento de 8 semanas.	14 corredores moderadamente entrenados ( $36 \pm 7$ años). La FC y VFC son medidas en reposo diariamente, así como la FC durante el ejercicio, RFC post-ejercicio y VFC quincenal.	Correlaciones ( $r > 0,60$ , $p < 0,01$ ) entre los cambios en los índices vagales (VFC) respecto a la VAM y el t10K.
(Danilo Fernandes da Silva et al., 2014)	Relacionar la evolución de la VFC en reposo con la mejoría en una carrera de 5 Km.	Seis corredores de alto nivel fueron evaluados antes y después de 7 semanas de entrenamiento. Medición de VFC en reposo y t5K en pista.	La mejoría en el t5K obtuvo correlación con el descenso de RMSSD ( $r = 0,69$ ), pero no tan significativa como la relación con la mejoría del $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ( $r = 0,95$ ).
(Danilo F. da Silva et al., 2017)	Comparar entrenamiento estándar con entrenamiento guiado por VFC en: 1. t5K, 2. $V_{\text{máx}}$ y tiempo que se mantiene ( $T_{\text{lim}}$ ), 3. actividad parasimpática y recuperación	36 mujeres no entrenadas (18-35 años): HRVG (Grupo de entrenamiento guiado por VFC), CG (Grupo Control) CG: entrenamiento predefinido que alterna MICT Y HIIT HRVG: se realiza MICT o HIIT en función de la VFC pre-entrenamiento	HRVG obtuvo mayores mejorías en t5K, $V_{\text{máx}}$ , $T_{\text{lim}}$ (sólo HRVG mejoró el $T_{\text{lim}}$ ). El entrenamiento guiado según VFC parece ser una buena herramienta para el rendimiento en 5 Km.
(Flatt & Esco, 2016)	Evaluar relaciones entre los cambios en VFC y la adaptación al entrenamiento.	12 adolescentes mujeres jugadoras de fútbol. Se les mide la VFC por la mañana en reposo y su mejora aeróbica con el test Yo-Yo.	Fuerte relación inversa entre el nivel en el test Yo-Yo y el Ln RMSSD
(Kaikkonen et al., 2012)	Investigar si la VFC post-ejercicio se puede usar para evaluar la carga de entrenamiento en ejercicios interválicos de carrera con diferentes intensidades y duraciones.	13 corredores entrenados ( $35 \pm 5$ años) realizan ejercicios interválicos en una cinta. Se mide la VFC al terminar y 15 minutos después.	Fuerte correlación negativa entre VFC post-ejercicio y el esfuerzo percibido. La VFC post también variaba si, manteniendo el trabajo total, se variaba la intensidad o la distancia recorrida.
(Kiviniemi et al., 2007)	Comprobar la utilidad de la VFC en la prescripción diaria de ejercicio de resistencia.	26 hombres sanos y moderadamente entrenados fueron aleatoriamente repartidos en 3 grupos TRA (8) y HRVg (9) y CG (9). Realizaron un entrenamiento de 4 semanas con 40 min. por sesión. TRA: 2 sesiones de baja y intensidad y 4 sesiones de alta intensidad HRVg: alta I si $VFC \geq$ , baja I si $VFC <$	TRA terminó teniendo un TRIMP semanal superior a HRVg y 4 días a alta intensidad semanales frente a los 3 de media que tuvo HRVg. La distancia media semanal fue la misma. Mayor mejoría en $V_{\text{máx}}$ de HRVg frente a TRA. También parece mejorar más en HRVg que el TRA el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ , pero no hubo significancia estadística en TRA ( $p=0,224$ ).
(Schumann et al., 2017)	Comparar dos métodos de entrenamiento: estándar y guiado según la aplicación TL de Polar.	24 corredores amateur hacen 12 semanas de entrenamiento similar + 12 de entrenamiento diferenciado.	La mejoría en $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ y t1K es similar en ambos grupos.

(Martínez-Navarro et al., 2019)	Evaluar los biomarcadores de daño cardíaco tras una ultramaratón de montaña.	46 atletas hombres de $42 \pm 7.49$ años corren la Penyagolosa Trails (118 Km., +5.439 m.) recibiendo un análisis de diferentes variables fisiológicas, pre y post carrera, entre las que se encuentra la VFC.	Los biomarcadores de daño cardíaco aumentan tras la carrera y en mayor medida en los corredores más rápidos. Los que tienen una VFC inicial más alta consiguen una VFC final más baja y mejor tiempo en carrera.
(Nuutila et al., 2017)	Comparar la mejora del rendimiento en resistencia en un grupo con entrenamiento guiado por VFC y otro con periodización de bloques clásica.	24 hombres con entrenamiento recreativo habituados al entrenamiento de resistencia y de entre 19 y 37 años. Evaluación: carrera de 3000 m.	Pequeñas o moderadas diferencias en $\dot{V}O_{2\max}$ o velocidad en LT1 y 2. Diferencia más grande en la $V_{\max}$
(Plews et al., 2013)	Comparar el estudio de FC en reposo y VFC en reposo para determinar la adaptación al entrenamiento.	10 corredores de $36 \pm 7$ años son sometidos a un entrenamiento de 8 semanas. Se les mide su rendimiento, FC y VFC en reposo diariamente.	Pequeña correlación entre VAM y t10K con respecto a FC y VFC en reposo de un día pero gran correlación si FC y VFC se promedian en una semana.
(Ramos-Campo et al., 2016)	Evaluar los cambios bioquímicos y fisiológicos tras una carrera de montaña de ultra distancia. 54 km en 6 h 44 min ( $\pm 28$ min).	11 corredores amateur de $29,7 \pm 10,2$ años. Se realiza un análisis de daño muscular, concentración de lactato, balance energético, RPE, FC, VFC, cambios en la composición corporal y rendimiento de salto antes, durante (sólo FC y VFC) y después de la carrera.	La VFC bajó al final de la carrera respecto a los valores basales medidos previamente, al igual que el resto de parámetros. La VFC se considera un indicador del estado de forma y del posible riesgo cardíaco durante la carrera.
(Saboul et al., 2016)	Determinar la validez de un índice de carga basado en VFC para definir la carga de entrenamiento en campo.	11 corredores bien entrenados de $32 \pm 6$ años realizan un entrenamiento realizan 4 ejercicios de diferentes duraciones e intensidades.	Fuerte correlación entre la diferencia porcentual de VFC 5 min. pre-ejercicio y VFC 5 min. post-ejercicio con respecto a la intensidad, pero no a la duración. No hay correlación con la medida de VFC tomada 30 minutos post-ejercicio.
(V. Vesterinen et al., 2013)	Investigar si la VFC nocturna podía ser utilizada para evaluar cambios en el rendimiento de resistencia durante 28 semanas de entrenamiento de resistencia.	28 corredores aficionados realizan 14 semanas de entrenamiento básico preparatorio y 14 de entrenamiento intensivo. Se mide la $V_{\max}$ en cinta y la VFC nocturna.	La $V_{\max}$ aumenta en $7,5 \pm 4,5$ %. La VFC no cambia durante las primeras 14 semanas, pero tras las 14 siguientes la VFC en frecuencias altas aumenta significativamente
(Ville Vesterinen et al., 2016)	Estudiar la efectividad de usar la VFC en la prescripción de entrenamiento de resistencia.	40 corredores aficionados (20 hombres y 20 mujeres), después de 4 semanas de entrenamiento preparatorio se dividen en TRAD (sesiones MOD y HIT preplanificadas) y EXP (sesiones MOD y HIT según HRV)	t3K mejora en EXP pero no en TRAD (no hay significancia estadística), pequeña diferencia entre grupos. $\dot{V}O_{2\max}$ y vLT2 mejor en ambos, pequeña diferencia entre grupos. vLT1 mejora sólo en EXP (moderada diferencia entre grupos)

**Buscador:** Sport Discuss, Resultados: 13, Seleccionados: 1

**Búsqueda:** "HRV" and "guided" and "training"

Referencia	Objetivos	Método	Conclusiones
(Kiviniemi et al., 2010)	Comprobar la utilidad de la VFC en la prescripción de entrenamiento en hombres y mujeres moderadamente activos/as.	21 hombres y 32 mujeres divididos en HRVg, ST y control. ST: 2 sesiones moderadas (70% $FC_{\max}$ ) y 3 vigorosas (80% $FC_{\max}$ ), HRVg: sesión moderada o vigorosa dependiendo de si bajaba o subía la VFC.	No hubo diferencia significativa en $\dot{V}O_{2\max}$ entre grupos. Mayor incremento de la máxima carga de trabajo en HRVg para hombres, no hubo diferencia significativa en mujeres.

**Buscador:** Scopus, Resultados: 94, Seleccionados: 1

**Búsqueda:** "HRV" and "training" and "running"

Referencia	Objetivos	Método	Conclusiones
(Cataldo et al., 2018)	Evaluar en atletas veteranos la relación entre RFC, VFC en reposo y t10K para valorar si estos índices pueden ser útiles para monitorizar el estado de entrenamiento.	10 atletas de resistencia veteranos (40-60 años) realizan un test gradual en cinta después de medir su VFC en reposo. 1 y 2 minutos después se mide su RFC. Después realizan una carrera de 10 Km. y se relaciona el tiempo con los índices RFC y VFC.	Correlación significativa entre t10K y VFC en reposo. No hay correlación significativa entre t10K y RFC.

**Buscador:** Web Of Science, Resultados: 82, Seleccionados: 6

**Búsqueda:** "HRV" and "training" and "running"

Referencia	Objetivos	Método	Conclusiones
(Danilo Fernandes da Silva et al., 2020)	Determinar el efecto de un entrenamiento de correr guiado por VFC en el estado de ánimo y recuperación en mujeres no entrenadas.	30 mujeres no entrenadas se dividen en CG (entrenamiento predefinido) y HRVG (entrenamiento con intensidad adaptada a la medida de VFC). Se les pasa un test antes y después de 11 semanas de entrenamiento.	HRVG presentó una mayor mejoría en 6 de las muchas variables que evaluaba el test: estrés social, falta de energía, tensión, ira, fatiga y estado de ánimo en general.
(Deus et al., 2019)	Evaluar los efectos en el equilibrio del sistema nervioso autónomo del entrenamiento de resistencia y sprint a largo plazo.	A 8 corredores de velocidad + 8 de resistencia (40 - 60 años), 17 no entrenados de la misma edad y 48 jóvenes se le realizaron medidas de VFC sentados para comparar la evolución de VFC según el tipo de entrenamiento o el no entrenamiento.	No hubo diferencias apreciables entre corredores de resistencia y velocidad, pero sí se observó una menor FC y VFC de ambos con respecto a los jóvenes y los no entrenados de la misma edad.
(Fazackerley et al., 2019)	Evaluar los efectos de una ultramaratón de 65 Km. en la VFC	A 13 corredores amateur de $36,6 \pm 7,6$ se les midió la VFC al despertar por la mañana durante la semana previa y durante la semana posterior a la carrera.	Se observa un incremento en FC y decremento en LnSDNN, LnRMSSD, LnLF, LnHF, y LnLF/HF en el día post-carrera que vuelve a los valores normales tras el segundo día de recuperación. La recuperación de la fatiga percibida y molestia muscular tarda 5 días.
(Kaikkonen et al., 2010)	Examinar si la medida de VFC puede ser válida para determinar la carga de entrenamiento en ejercicios de diferentes intensidades y duraciones.	13 corredores entrenados (30 - 40 años) realizaron 3 tests en una cinta: MODE (3km 60% $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ) HI (3 km 80% $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ) PRO (14 Km. 60% $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ) Se les mide VFC, RPE, Lactato y HFP antes y después del ejercicio.	La recuperación del VFC inicial fue similar en los tres ejercicios, pero se llegó a niveles más bajos en HI y PRO lo que sugiere que tanto aumentando la intensidad como el volumen decrece la VFC por lo que



			esta podría ser un indicativo objetivo válido de la carga.
(Pereira et al., 2016)	Analizar los efectos del cese de entrenamiento durante 4 semanas en rendimiento, VFC en reposo y post-ejercicio y capacidades neuromusculares en corredores de resistencia.	A 8 hombres y 10 mujeres ( $25,5 \pm 7,5$ años) se les midió la VFC en reposo y post-ejercicio y se les realizaron varias pruebas físicas: t3K y tests de salto.	La VFC disminuyó, el t3K aumentó mientras que los valores para la prueba de salto permanecieron iguales.
(Sztajzel et al., 2006)	Estudiar la VFC de espectro durante una carrera de montaña de 69 Km. y 3.700 m. de desnivel.	8 sujetos entrenados y sanos corrieron la carrera con una medición constante de VFC.	Todos los componentes de VFC disminuyeron severamente sugiriendo una extrema activación del sistema nervioso simpático.

**Buscador:** Web Of Science, Resultados: 27, Seleccionados: 2

**Búsqueda:** "HRV" and "guided" and "training"

Referencia	Objetivos	Método	Conclusiones
(Altini & Amft, 2016)	Analizar la validez a gran escala de la aplicación para móviles HRV4Training para cuantificar el estado de forma y carga de entrenamiento.	797 usuarios tomaron sus datos usando libremente la aplicación mientras entrenaban en periodos de entre 3 semanas y 5 meses.	Los resultados sugirieron una fuerte relación entre FC, VFC y la carga de entrenamiento independientemente de la edad y el género. Los cambios en VFC debidos al entrenamiento fueron mayores que en FC.
(Singh et al., 2018)	Revisión bibliográfica sobre la relación entre la VFC, el riesgo cardíaco y la adaptación al entrenamiento. También evalúa el entrenamiento guiado según la medición de VFC matinal.	Analiza estudios que asocian la baja VFC con riesgo cardíaco, otros que relacionan la alta VFC con buena adaptación al entrenamiento y otros que evalúan el entrenamiento guiado según VFC.	Concluye que la medida diaria de VFC en reposo puede ser útil para prevenir problemas cardíacos y para evaluar la correcta adaptación al entrenamiento evitando así el sobreentrenamiento.

## 6. RESULTADOS

---

### 6.1 VFC COMO INDICATIVO DE SOBREENTRENAMIENTO, FATIGA O RIESGO CARDÍACO

Son varios los estudios que vinculan la caída en los índices de VFC con el sobreentrenamiento, la fatiga o incluso el riesgo cardíaco. Empezaremos por analizar los que se realizaron en el contexto del deporte en concreto de las carreras por montaña.

En 2019, investigadores de la Universidad de Valencia, junto con el Hospital Clínico Universitario de Valencia y la Universidad Jaume I de Castellón (Martínez-Navarro et al., 2019) llevaron a cabo un análisis de los biomarcadores de daño cardíaco tras una ultra maratón de montaña, concretamente la Penyagolosa Trails de 118 Km. de recorrido con 5.439 m. de desnivel positivo. Cuarenta y seis atletas de  $42 \pm 7.49$  años formaron parte del estudio en el que se les midió, entre otros parámetros fisiológicos, la frecuencia cardíaca con información completa de los intervalos de tiempo entre cada par de ondas R. Esta medida se realizó durante la tarde del día anterior a la carrera y durante un periodo de 10 minutos estableciendo así un índice de VFC en reposo. Tras la carrera, no más tarde de 5 minutos después de cruzar la línea de meta, se les volvió a hacer una medición igual. De los 46 participantes, 30 finalizaron la carrera con posiciones entre la 30ª y la 288ª de 294 finalizadores masculinos y, tras descartar a 2 por errores técnicos, las principales conclusiones de los investigadores relativas a la VFC fueron que el índice lnRMSSD descendió amplia y significativamente durante la carrera. Además, pudieron observar una moderada e inversa relación entre lnSDNN y lnRMSSD con respecto al tiempo empleado en finalizar la carrera. Las conclusiones fueron que una ultratrail de 118 Km. dispara los bioindicadores de daño cardíaco y la afectación de la modulación autonómica cardíaca parece ser mayor en los corredores más rápidos. Finalmente, concluyeron también que aquellos que tenían mayor índice de VFC inicial obtuvieron mejores tiempos con lo que proponen la VFC como una herramienta de entrenamiento para evaluar la preparación de los atletas.

Por otro lado, un estudio similar llevado a cabo también en una ultra trail de montaña, pero esta vez bastante más suave: la VI Ruta de las Fortalezas de 54 Km. y 2.726 m. de desnivel positivo (Ramos-Campo et al., 2016) tuvo resultados equivalentes. Se les analizó, en este caso, a 11 corredores entrenados de  $29,7 \pm 10,2$  años la VFC durante 5 horas de sueño y dos días antes del evento observando también un descenso de sus índices

post-carrera respecto a los basales para SDNN. Los investigadores vincularon este descenso con una caída de la actividad parasimpática y activación del sistema nervioso simpático, así como un descenso de la modulación vagal e incremento de la modulación simpática. Concluyeron pues que este tipo de esfuerzos resulta en un alto nivel de estrés fisiológico a los participantes. Proponen, por tanto, que las mediciones de VFC pueden ayudar a los atletas a evaluar su nivel de fatiga en este tipo de eventos.

Saltando 10 años atrás en el tiempo, encontramos un estudio similar pero que nos aporta una información extra. Se realizó en la carrera Race of Hope en Mount Cameroon (Sztajzel et al., 2006) en la que se analizaron a 7 hombres y a una mujer de  $25 \pm 2$  años que subieron la cumbre de 3.700 m. de altitud en  $3,4 \pm 0,3$  horas y la descendieron en  $2,9 \pm 0,9$ . La diferencia aquí es que se obtuvieron las variables espectrales de VFC durante todo el recorrido pudiendo así observar caídas aún mayores de VFC cuando los corredores alcanzaban la cumbre del Mount Cameroon después de 3.000 m. de desnivel positivo. Los parámetros analizados fueron: VLF, LF, HF y la ratio entre LF y HF (LF/HF). Todas las variables tuvieron un decrecimiento progresivo hasta llegar a los mínimos en el punto más alto del recorrido siendo estos especialmente extremos en el caso de VLF y LF.

Los investigadores sugieren que estos descensos pueden indicar una desensibilización adrenérgica del corazón para protegerlo de los altos niveles de estimulación simpática. Conectan también este efecto con la alta reducción de los parámetros espectrales de VFC encontrados en los pacientes con fallo cardíaco severo debida probablemente a la combinación de diferentes factores entre los que incluyen: sobreactivación crónica del sistema nervioso simpático con la consecuente desensibilización de los receptores  $\beta$ -adrenérgicos, defectuosa inervación simpática, alta concentración en plasma de angiotensina II y finalmente los propios mecanismos de protección frente a la persistentemente elevada estimulación simpática (Cooley et al., 1998) y (Brunner-La Rocca et al., 2001).

Concluye finalmente el artículo diciendo que las carreras en montaña implican una técnica y unos esfuerzos por desnivel que comportan a una mayor fatiga, la cual representa un estrés cardiovascular extremo, probablemente asociado al aumento de catecolaminas, y cuyos efectos se agravan si ha de añadirse la hipoxia provocada por la altitud (Boushel et al., 2001).

Siguiendo en esta línea, y buscando un estudio que nos aporte de nuevo alguna información extra, nos vamos a la 2017 Bruny Island Ultra-Marathon de Australia

(Fazackerley et al., 2019). Una carrera de 64 Km. pero esta vez por carreteras y caminos y con un desnivel no significativo. Se analizó la VFC matinal en reposo de 13 corredores aficionados entrenados de  $36.6 \pm 7.6$  años durante la semana previa y la semana posterior a la carrera. Los índices de VFC también descendieron en las mediciones post-carrera, pero la información extra que este estudio nos aporta es la recuperación. Todos los corredores volvieron a valores basales entre las 20 y 44 horas posteriores a la carrera pese a presentar signos subjetivos de fatiga hasta 5 días después en algunos casos. Según el estudio, esto puede plantear la medida de recuperación de los niveles de VFC como medida objetiva del estado de recuperación fisiológica y ayudar al establecimiento de los tiempos óptimos de vuelta a los entrenamientos.

Si analizamos el sobreentrenamiento, tenemos el estudio de (Baumert et al., 2006) en el que 5 mujeres y 5 hombres atletas experimentados de media y larga distancia en pista y cross-country se sometieron a un campo de entrenamiento de 2 semanas en el que se incrementó la carga que venían realizando con anterioridad mediante tests incrementales máximos en cicloergómetro más entrenamientos tanto en bicicleta como en carrera. Los resultados fueron una reducción del rendimiento en los tests realizados al tiempo que decrecían también los índices de VFC (pre-entrenamiento: 68 ms.; durante el entrenamiento: 52 ms.; post-entrenamiento: 61 ms).

También existen asociaciones del descenso de VFC con la pérdida de rendimiento por cese del entrenamiento (Pereira et al., 2016). Realizaron un test de carrera de 3.000 m. en pista y los tests de salto Squat Jump (SJ) y Countermovement Jump (CMJ) antes y después de un cese del entrenamiento de 4 semanas. Los tiempos para dicho test aumentaron mientras que el lnRMSSD descendió. No se observaron diferencias significativas en los resultados de SJ ni CMJ, lo que sugiere, según los autores, que un cese en el entrenamiento en atletas de resistencia reduce su rendimiento aeróbico, pero no su fuerza máxima. Este descenso del rendimiento en términos de resistencia viene acompañado de una reducción del índice lnRMSSD pudiendo así utilizarlo como indicativo del decaimiento de este tipo de rendimiento físico, pero no así del rendimiento en fuerza máxima para atletas de resistencia.

## 6.2 VFC COMO INDICATIVO DE CARGA O ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO

### 6.2.1 Correlaciones entre VFC y rendimiento

Si intentamos buscar correlaciones entre la adaptación al entrenamiento o rendimiento deportivo y los índices de VFC tenemos los estudios de (Buchheit et al., 2010) y (Danilo Fernandes da Silva et al., 2014). El primero realizó 8 semanas de entrenamiento en 14 corredores moderadamente entrenados de  $36 \pm 7$  años obteniendo correlaciones significativas del incremento del lnRMSSD con respecto al aumento de la velocidad aeróbica máxima (VAM) y a la reducción de los tiempos en realizar una carrera de 10 Km (t10K).

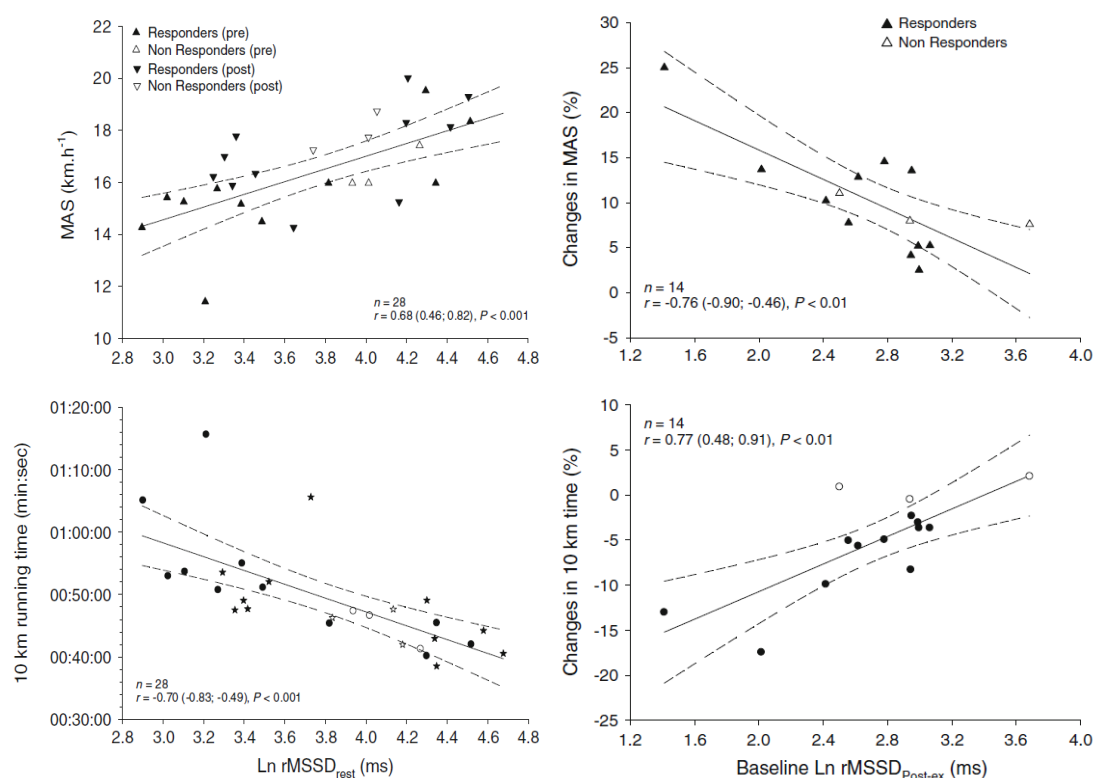


Figura 1. Relación entre VFC pre-post entrenamiento y t10K, VAM (Buchheit et al., 2010).

Mientras que el segundo obtiene correlaciones parecidas utilizando, en este caso, el índice RMSSD y el tiempo obtenido en una carrera de 5 Km. Analizan también aquí el  $\dot{V}O_{2max}$  concluyendo que tanto el consumo máximo de oxígeno como la VFC son parámetros utilizables para medir la adaptación al entrenamiento y preparación frente al rendimiento en una carrera de 5 km.

	% change RRmean	% change rMSSD
mean RPE- session (AU)	-0.39	0.05
Qualitative analysis	Moderate	Trivial
	% change s5km	% change $\dot{V}O_{2max}$
mean RPE- session (AU)	0.60	0.69
Qualitative analysis	Large	Large

Figura 2. Relación entre VFC y  $\dot{V}O_{2max}$  con la mejora en t5K (Danilo Fernandes da Silva et al., 2014).

Estos dos estudios fueron realizados en personas jóvenes, por debajo de 40 años, pero si queremos averiguar lo que podría pasar en corredores más veteranos podemos irnos al estudio de (Cataldo et al., 2018) en el que los voluntarios fueron corredores de alto nivel, pero de la categoría de edad de entre 40 y 60 años. Se trató de buscar relaciones entre los índices de VFC, la recuperación de la frecuencia cardíaca tras el esfuerzo (RFC) y el t10K. al aire libre. Al igual que en los anteriores casos, se encontró una correlación inversa significativa entre VFC y el t10K. (rMSSD,  $r = -0.710$ ,  $p = 0,021$ ). Sin embargo, no hubo correlaciones significativas con RFC (RFC<sub>+1min.</sub>  $r = -0,379$ ,  $p = 0,279$ ) y (RFC<sub>+2min.</sub>  $r = -0,58$ ,  $p = 0,078$ ).

Debido a la escasa participación de mujeres en los estudios encontrados nos tenemos que ir a un estudio realizado en deportistas de una disciplina distinta para obtener una mayor representación femenina en las evidencias antes mostradas (Flatt & Esco, 2016). Durante las 3 primeras semanas de un total de 5 que duró un programa de preparación física de jugadoras adolescentes de fútbol se midió la evolución de la VFC y el resultado en el test de carrera interválica incremental Yo-Yo. Se obtuvo, como en los casos anteriores, una significativa correlación inversa entre la mejora del rendimiento en este test y el índice lnRMSSD ( $r = -0,74$ ;  $p < 0,01$ ).

Por su parte, (V. Vesterinen et al., 2013) consiguieron establecer una correlación incluso mayor entre el incremento de la VFC y el incremento de la velocidad máxima obtenida en cinta en un test incremental. 25 corredores aficionados de  $36 \pm 6$  años completaron un entrenamiento específico para maratón de 28 semanas de las cuales 14 fueron de entrenamiento base, por debajo del umbral anaeróbico, y las 14 siguientes supusieron

un incremento en el volumen i la intensidad. Tras las primeras 14 semanas no hubo incremento significativo de la VFC, pero sí tras realizar el entrenamiento completo y este incremento tuvo una considerable correlación con el incremento de la velocidad máxima que pudieron aguantar los participantes en un test incremental en cinta de correr.

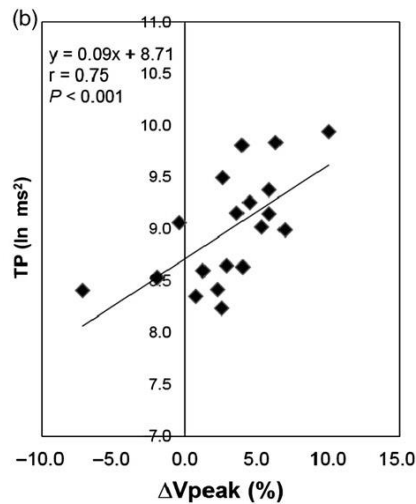


Figura 3. Relación entre la VFC y el aumento de  $V_{m\acute{a}x}$  (V. Vesterinen et al., 2013).

Un concepto interesante nos lo aporta el estudio de (Plews et al., 2013) que trata de buscar, tras un entrenamiento intervenido de 9 semanas en corredores, una relación de la VAM y el t10K con la frecuencia cardíaca en reposo (FCR) y el índice lnRMSSD. Lo curioso es que no obtiene correlaciones significativas realizando el análisis de los datos tomados en un solo día, pero sí cuando promediaron los datos diarios obtenidos a lo largo de una semana, lo cual sugiere que podría obtenerse un resultado más preciso en algunos casos si se realizan mediciones durante un cierto periodo de tiempo y se calcula su promedio.

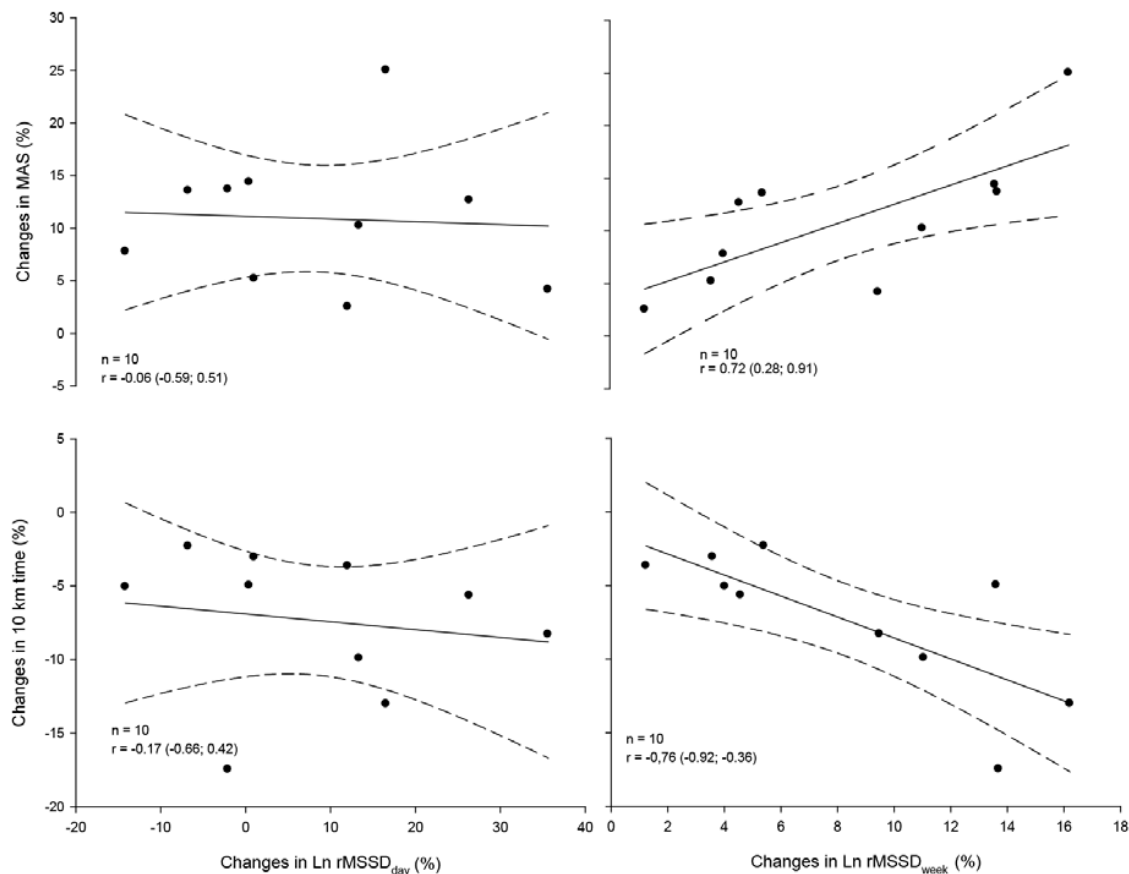


Figura 4. Relación entre cambios proporcionales en t10K y VAM y la VFC tomada en un día o promediada en una semana (Plews et al., 2013)

### 6.2.2 VFC como indicativo de carga de entrenamiento

Se han realizado muchas propuestas y estudios acerca de cómo evaluar la carga de entrenamiento, pero no existe un estándar absoluto para ello. Es por eso que (Kaikkonen et al., 2012) evaluaron si los índices de VFC podían ser un indicativo válido en este sentido. Realizaron una serie de ejercicios interválicos en cinta con 13 corredores entrenados de  $35 \pm 5$  años y obtuvieron unas correlaciones significativas de VFC, obtenida al finalizar el ejercicio y con una medición de 3 minutos de duración, con la ratio de esfuerzo percibido (RPE), el lactato en sangre (BLa) y con el EPOC. No se obtuvieron sin embargo fuertes relaciones con la carga de entrenamiento medida en TRIMP.

El mismo autor realizó también comprobaciones equivalentes con una muestra muy parecida y trabajando también en cinta de correr (Kaikkonen et al., 2010). Esta vez los ejercicios fueron de mayor duración incluyendo uno de intensidad moderada (MODE) (3 Km.  $60\% \dot{V}O_{2máx}$ ), uno de alta intensidad (HI) (3.000 m.,  $85\% \dot{V}O_{2máx}$ ) y uno de intensidad prolongada (PRO) (14 Km.,  $60\% \dot{V}O_{2máx}$ ). Esta vez estudiaron la VFC durante



un periodo mayor de tiempo, los 15 minutos posteriores al ejercicio, y también se obtuvieron correlaciones significativas con RPE y BLA. Además, pese a que la curva de recuperación de VFC fue similar en los 3 ejercicios, se alcanzaron valores inferiores en HI y PRO con lo que los autores concluyen que la VFC puede ser un indicador válido de carga de entrenamiento tanto para ejercicios de alta intensidad como de alto volumen.

Siguiendo en la línea de estas investigaciones, varios años después (Saboul et al., 2016) proponen incluso un índice para la cuantificación de la carga de entrenamiento por medio de la VFC. Se realizaron 4 sesiones de entrenamiento diferentes en 4 días separados por al menos 3 días de descanso entre ellos y los voluntarios fueron 10 corredores de larga distancia bien entrenados de  $32 \pm 6$  años. Las medidas de VFC se realizaron durante los 5 minutos previos al inicio del calentamiento (Pre5), desde el minuto 5 al 10 posteriores al entrenamiento (Post5) y desde el minuto 30 al 35 posteriores al entrenamiento (Post30). Para cuantificar la carga utilizaron TRIMP, RPE y un nuevo índice propuesto por ellos basado en la VFC:

$$TL_{HRV} = \ln \left( t \times \frac{Pre5 - Post5}{Post30 - Post5} \right)$$

No hubo diferencias significativas en los valores de VFC en Pre5 entre las 4 sesiones de entrenamiento, pero sí en Post5 y Post30. Se obtuvo una correlación indirecta importante entre el valor normalizado de Post5 expresado como un porcentaje de Pre5 y la intensidad de la sesión ( $R = -0,70$ ;  $p < 0,01$ ):

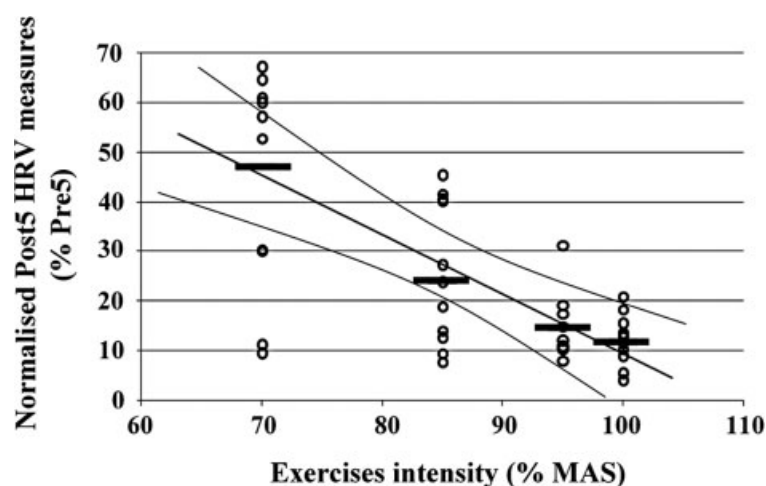


Figura 5. Relación entre la intensidad y la medida de VFC post5 en relación porcentual a pre5 (Saboul et al., 2016).

Sin embargo, no hubo relación significativa de Post5 con respecto a la duración de la sesión ni de Post30 con respecto ni a intensidad ni a volumen. Sí que se encontró una correlación significativa de los valores obtenidos con el índice propuesto  $TL_{HRV}$  y los valores de RPE ( $R = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ) y TRIMP ( $R = 0,57$ ;  $p < 0,01$ ) concluyendo así que la medida de VFC Post5, y en particular en índice  $TL_{HRV}$  propuesto, puede ser un buen indicador de la intensidad de la sesión, pero quizá no del volumen a la espera de nuevos estudios que lo utilicen y comprueben.

Por último, hablaremos de un estudio a gran escala que realizó un seguimiento de casi 800 usuarios de la aplicación de móvil HRV4Training (Altini & Amft, 2016) durante un periodo de entre 3 y 5 meses. Los/las usuarios/as utilizaron la aplicación libremente registrando sus entrenamientos y medidas de VFC tomadas por fotopletimografía por medio de la cámara y luz flash de sus teléfonos móviles. Se seleccionaron a 674 hombres y 123 mujeres según criterios de validez y suficiencia de los datos. Los análisis sugieren, al igual que en los estudios anteriores, una fuerte relación entre FC, VFC y la intensidad de los entrenamientos. Se observaron incrementos leves en FC y descensos mayores en VFC tras las sesiones de entrenamiento de alta intensidad sin grandes variaciones entre géneros o grupos de edad. Así pues, concluyen que las mediciones en teléfono móvil pueden resultar útiles para medir la intensidad de entrenamiento y factibles para trabajar con una gran población fuera de las condiciones de un laboratorio. Finalizan diciendo que podría resultar interesante en este sentido también diseñar la intensidad diaria de los entrenamientos basándonos en la medición diaria de la VFC, lo cual nos lleva al siguiente punto.

### 6.3 ENTRENAMIENTO GUIADO SEGÚN VFC

Si tratamos de evaluar ahora si hay diferencias entre un entrenamiento que se define diariamente en base a la medición matinal en reposo de VFC del mismo día con otro estándar cuyos parámetros de volumen e intensidad están ya preestablecidos, son varios los artículos que sí encuentran estas diferencias. Empezando ahora por el género femenino, (Danilo F. da Silva et al., 2017), investigó a 36 mujeres de entre 18 y 35 años no entrenadas pero capaces de correr 5 Km. en menos de 45 minutos. Se dividieron aleatoriamente en el grupo de entrenamiento guiado según VFC (HRVG) y el grupo de control (CG). El ensayo consistió en 11 semanas de entrenamiento específico para carrera de resistencia de las cuales 3 fueron de evaluación: las semanas 1, 6 y 11. Se realizaron

sesiones de ejercicio continuo de moderada intensidad (MICT) y de ejercicios interválicos de alta intensidad (HIIT). Para GC la distribución de sesiones MICT y HIIT a lo largo de la semana estaba predefinida mientras que para HRVG se les prescribía la sesión MICT si su VFC era inferior a su media - 1 o HIIT en caso contrario. Los resultados fueron un mayor descenso en el tiempo en completar los 5 Km. para HRVG frente a GC además de una mejoría para HRVG de la velocidad máxima alcanzada en cinta y el tiempo máximo en sostenerla que no experimentó GC.

Paralelamente, los mismos autores y con la misma muestra y ensayo, llevaron a cabo otro estudio (Danilo Fernandes da Silva et al., 2020) analizando el estado psicológico, anímico y de recuperación del estrés a lo largo de las 11 semanas de entrenamiento por medio de cuestionarios que pasaron a las participantes. De 65 variables analizadas, el grupo HRVG presentó un leve mejor resultado en 6 (estrés social, falta de energía, tensión, ira, fatiga y estado de ánimo general), pero GC presentó, por su parte, también un leve mejor resultado en 3 (conflictos/placer, calidad del sueño y recuperación total media) por lo que los resultados no parecen ser muy reveladores. Los autores concluyen que el entrenamiento de carrera guiado según VFC podría beneficiar el estado de ánimo y los factores relacionados con el estrés en mujeres no entrenadas, pero que no se podría generalizar a otras poblaciones o deportes y que serían necesarios futuros estudios para aportar más información.

En un estudio similar en el que se incluyen ahora 20 hombres y también 20 mujeres corredores/as aficionados/as se obtuvieron resultados parecidos para la distancia de 3 Km. (Ville Vesterinen et al., 2016). Se dividieron igualmente en dos grupos TRAD (entrenamiento tradicional predefinido) y EXP (entrenamiento prescrito diariamente según VFC). Al igual que en el estudio anterior el grupo EXP mejoró en el t3K. y en la  $V_{m\acute{a}x}$ , pero en TRAD no hubo diferencias significativas para estos parámetros. El  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  y la velocidad en LT2 mejoró levemente en ambos grupos sin diferencias significativas entre ellos, mientras que la velocidad en LT1 mejoró, de manera también leve, pero sólo en EXP.

Analizamos ahora un ensayo similar en el que también se buscaron diferencias en el rendimiento en carrera de 3 Km.,  $V_{m\acute{a}x}$ ,  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  y con la novedad de una prueba de salto CMJ. En este caso fueron 24 corredores aficionados, pero entrenados, de entre 19 y 37 años que se repartieron aleatoriamente en los dos grupos de entrenamiento. Ambos grupos

mejoraron en todas las variables analizadas, pero, de manera similar a los anteriores estudios, la  $V_{m\acute{a}x}$  fue la que experimentó mayor mejoría del grupo con entrenamiento guiado según VFC respecto al grupo con entrenamiento predefinido. Además, el primero fue el único que experimentó un incremento de la VFC en reposo. Los autores concluyen, por tanto, que el entrenamiento guiado según VFC puede hacer mejorar el rendimiento en carrera de 3 Km.

Siguiendo con esta línea de resultados, (Kiviniemi et al., 2007) también obtuvieron una mejor  $V_{m\acute{a}x}$  después de un ensayo similar a los anteriores y también quizá mayor  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  y velocidad máxima en los umbrales anaeróbicos, pero sin poder establecer una significancia estadística. En este caso, los voluntarios fueron 26 hombres moderadamente entrenados de los cuales 8 siguieron un entrenamiento preestablecido de una sesión de baja intensidad seguida de dos sesiones de alta intensidad y terminando con un día de descanso. Este ciclo que se repitió durante 4 semanas. Mientras que el grupo que siguió el entrenamiento experimental guiado por VFC programó sus sesiones de alta o baja intensidad o descanso según el siguiente diagrama de flujo:

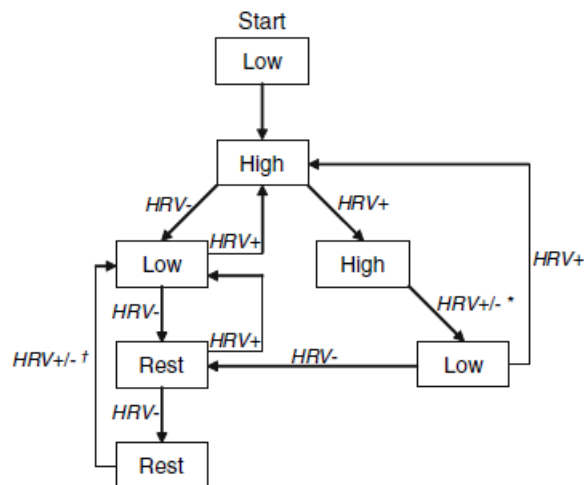


Figura 6. Esquema de entrenamiento para el grupo con intensidad prescrita según VFC (Kiviniemi et al., 2007).

El artículo concluye que la eficiencia en la resistencia cardiovascular puede mejorar utilizando un entrenamiento guiado según VFC y que introducir descansos o bajar la intensidad cuando la VFC está por debajo de la media puede ayudar en la sobrecompensación.

La tendencia general parece ser una evidente mejora de la intensidad máxima tanto en velocidad pico como en rendimiento en carreras cortas, pero sin dejar del todo claro lo que ocurriría con  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  o con los umbrales de lactato. Además de estas mismas conclusiones, el estudio de (Kiviniemi et al., 2010) aporta el interesante dato de que, en las mujeres, no se obtuvo un mejor rendimiento, pero sí la ventaja de alcanzar la misma mejora con menos carga de entrenamiento. Este también parece ser un patrón que se repite en los anteriores estudios en los que la suma de sesiones de alta intensidad o la carga de trabajo global termina siendo menor en el grupo de entrenamiento guiado según VFC que en el grupo de entrenamiento estándar predefinido.

Por último, tenemos un artículo que difiere un poco de los anteriores (Schumann et al., 2017). Siguiendo un método similar optaron por 12 semanas de entrenamiento igual y otras 12 de entrenamiento diferenciado para 24 corredores aficionados. No consiguieron encontrar diferencias estadísticamente significativas en las mejoras en  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ , ni en el t1K entre grupos. Cabe mencionar que una de las posibles diferencias entre este ensayo y los anteriores es que no modificaron sólo la intensidad de las sesiones en función de la VFC sino también el volumen.

## 7. CONCLUSIONES

---

### 7.1 VFC COMO INDICATIVO DE SOBREENTRENAMIENTO, FATIGA O RIESGO CARDÍACO

Según los estudios analizados existe una relación indirecta entre la intensidad o volumen del entrenamiento realizado con los índices de VFC al finalizarlo, por lo que esta se podría usar como un indicador objetivo de la carga. También se ha comprobado que la VFC es inferior en periodos de fatiga no recuperada o estrés, incluso se relaciona con la capacidad física para afrontar un esfuerzo o el potencial riesgo cardíaco, resultando así también un índice válido para evaluar el nivel de preparación, sobreentrenamiento o riesgo cardiovascular ante un evento deportivo o sesión de entrenamiento.

### 7.2 VFC COMO INDICATIVO DE ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO

También hemos observado las correlaciones en la mejora del rendimiento en diferentes tests físicos con el aumento en los valores de VFC en reposo. Este aumento parece un claro indicador de la mejora en la velocidad máxima y en el rendimiento en

carreras cortas. Podría ser también indicativo de la mejora en  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  y velocidades máximas en LT1 y LT2, pero harían falta más estudios para afirmarlo con seguridad. Así mismo, se establecen los índices de VFC, especialmente lnRMSSD, como mejor indicativo de estas adaptaciones que la FCR y haciendo más fiable el resultado si promediamos las medidas de toda una semana en lugar de analizar las de un solo día.

### 7.3 ENTRENAMIENTO GUIADO SEGÚN VFC

Las evidencias observadas parecen indicar que los entrenamientos con la intensidad de la sesión modificada diariamente según la medida de VFC en reposo para ese mismo día pueden hacer mejorar más a los deportistas sobre todo en la marca obtenida en carreras cortas y la velocidad máxima obtenida en cinta. No queda claro si estas mejoras se obtendrían también modificando el volumen o si se verían también reflejadas en  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  y velocidades máximas en LT1 y LT2. Así mismo, parecen indicar que con un entrenamiento guiado según VFC podrían obtenerse los mismos beneficios con una menor carga de entrenamiento y podría obtenerse un mejor estado de ánimo.

## 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

Para hacer una mejor evaluación de la aplicabilidad de lo estudiado en el caso concreto de las carreras por montaña habría sido ideal contar con un estudio de entrenamiento guiado según VFC comparando resultados en pruebas de mayor distancia o incluso circuitos de montaña. Entendemos que no se ha realizado porque en la montaña las condiciones son muy cambiantes y sería complicado realizar comparaciones válidas como se pueden realizar en las condiciones de un laboratorio o de una prueba más corta en pista. En cualquier caso, valoramos como una opción interesante a investigar en futuros ensayos, y además útil para el Trail Running, el comparar los resultados de entrenamiento tradicional con entrenamiento guiado según VFC en distancias más largas como, por ejemplo, maratón, aunque fueran en pista o asfalto.

Pese a no contar todavía con esta información, nos parecen enriquecedoras las conclusiones y evidencias arrojadas en los estudios anteriores ya que demuestran que con entrenamientos guiados según VFC podremos mejorar el rendimiento en cuanto a velocidad pico y rendimiento en cortas distancias, lo cual puede tener su aplicativo y utilidad

también en la típica larga distancia de las carreras por montaña a falta de seguir comprobándolo en futuros estudios.

Por otro lado, también consideramos útil e interesante la posibilidad de emplear los índices de VFC para monitorizar la carga de entrenamiento, el nivel de adaptación o preparación de cara a una competición o incluso la preparación de cara a un microciclo en concreto. De esta forma resulta posible adaptar los entrenamientos a los ciclos fisiológicos de cada deportista para, no sólo obtener los mejores resultados quizá incluso con menor carga de trabajo, sino también detectar y respetar los estados de mayor fatiga y estrés evitando caer en sobreentrenamiento o agotamiento tanto físico como psicológico.

## 9. LIMITACIONES

---

La idea inicial de este trabajo fue realizar un estudio que aportase información relacionando VFC con carreras por montaña dada la escasa bibliografía existente al respecto. Concretamente íbamos a estudiar cómo cambiaba la VFC antes y después de la maratón de montaña Ultra Montseny comparándola con la Zurich Maratón de Barcelona. Se preveía un descenso de la VFC en ambas carreras, pero habría sido interesante comparar estos descensos entre dos carreras de distancias similares, pero condiciones muy distintas: una urbana y la otra de montaña. Así como también relacionar estos descensos con otras variables como el tiempo empleado en finalizar la carrera, la edad, el sexo o la VFC base con la que partían antes de iniciar la prueba.

Debido al COVID19 ambas carreras se suspendieron y cambiamos la tipología del trabajo a revisión bibliográfica en la que encontramos, como decíamos, escasos estudios al respecto por lo que se amplió la temática a VFC relacionada con las carreras de resistencia en general.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

---

- Altini, M., & Amft, O. (2016). HRV4Training: Large-scale longitudinal training load analysis in unconstrained free-living settings using a smartphone application. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2016-Octob(May)*, 2610–2613.  
<https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591265>
- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J., Hermsdorf, M., Wolff, R., Baier, V., & Voss, A. (2006). Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16(5), 412–417.  
<https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07>
- Boushel, R., Calbet, J. A. L., Rådegran, G., Sondergaard, H., Wagner, P. D., & Saltin, B. (2001). Parasympathetic neural activity accounts for the lowering of exercise heart rate at high altitude. *Circulation*, 104(15), 1785–1791.  
<https://doi.org/10.1161/hc4001.097040>
- Brunner-La Rocca, H. P., Esler, M. D., Jennings, G. L., & Kaye, D. M. (2001). Effect of cardiac sympathetic nervous activity on mode of death in congestive heart failure. *European Heart Journal*, 22(13), 1136–1143.  
<https://doi.org/10.1053/euhj.2000.2407>
- 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. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1153–1167. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1317-x>
- Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 18, 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
- Cataldo, A., Bianco, A., Paoli, A., Cerasola, D., Alagna, S., Mesina, G., Zangla, D., & Traina, M. (2018). *Resting sympatho-vagal balance is related to 10 km running performance in master endurance athletes*. 28(6), 79–86.



- Cooley, R. L., Montano, N., Cogliati, C., van de Borne, P., Richenbacher, W., Oren, R., & Somers, V. K. (1998). Evidence for a central origin of the low-frequency oscillation in RR- interval variability. *Circulation*, *98*(6), 556–561.  
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.98.6.556>
- da Silva, Danilo Fernandes, Peixoto, E. M., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B., & Machado, F. A. (2020). Changes in mood state and recovery-stress perception after an HRV-guided running program in untrained women. *Revista de Psicologia Del Deporte*, *29*(1), 83–94.
- da Silva, Danilo Fernandes, 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. *European Journal of Sport Science*, *14*(5), 443–451. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.832802>
- da Silva, Danilo F., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B., & Machado, F. A. (2017). Endurance running training individually guided by HRV in untrained women. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 33, Issue 3).  
<https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002001>
- Deus, L. A., Sousa, C. V., Rosa, T. S., Filho, J. M. S., Santos, P. A., Barbosa, L. D., Silva Aguiar, S., Souza, L. H. R., & Simões, H. G. (2019). Heart rate variability in middle-aged sprint and endurance athletes. *Physiology and Behavior*, *205*, 39–43.  
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.10.018>
- Fazackerley, L. A., Fell, J. W., & Kitic, C. M. (2019). The effect of an ultra-endurance running race on heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(9), 2001–2009. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04187-6>
- Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2016). Evaluating individual training adaptation with smartphone-derived heart rate variability in a collegiate female soccer team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(2), 378–385.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001095>
- Francesco, B., Maria Grazia, B., Emanuele, G., Valentina, F., Sara, C., Chiara, F., Riccardo, M., & Francesco, F. (2012). Linear and nonlinear heart rate variability indexes in clinical practice. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, *2012*. <https://doi.org/10.1155/2012/219080>

- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *European Journal of Applied Physiology*, *108*(3), 435–442. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1240-1>
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., Nummela, A., & Linnarsson, D. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(3), 829–838. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2031-z>
- Kemp, A. H., Quintana, D. S., Felmingham, K. L., Matthews, S., & Jelinek, H. F. (2012). Depression, comorbid anxiety disorders, and heart rate variability in physiologically healthy, unmedicated patients: Implications for cardiovascular risk. *PLoS ONE*, *7*(2), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030777>
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissilä, 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cd5f39>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Makivić, B., Nikić, M. D., & Willis, M. S. (2013). Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of Exercise Physiology Online*, *16*(3), 103–131.
- Martínez-Navarro, I., Sánchez-Gómez, J. M., Collado-Boira, E. J., Hernando, B., Panizo, N., & Hernando, C. (2019). Cardiac damage biomarkers and heart rate variability following a 118-km mountain race: relationship with performance and recovery. *Journal of Sports Science and Medicine*, *18*(4), 615–622.
- Nuutila, O. P., 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. <https://doi.org/10.1055/s-0043-115122>

- Peltola, M. A. (2012). Role of editing of R-R intervals in the analysis of heart rate variability. *Frontiers in Physiology*, 3 MAY(May), 1–10.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00148>
- Pereira, L. A., Nakamura, F. Y., Castilho, C., Kitamura, K., Kobal, R., Calabad, C. C., & Loturco, I. (2016). The impact of detraining on cardiac autonomic function and specific endurance and muscle power performances of high-level endurance runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(12), 1583–1591.
- 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.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.8.6.688>
- Ramos-Campo, D. J., Ávila-Gandía, V., Alacid, F., Soto-Méndez, F., Alcaraz, P. E., López-Román, F. J., & Rubio-Arias, J. Á. (2016). Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 41(8), 872–878.  
<https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>
- 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.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1004373>
- Schumann, M., Botella, J., Karavirta, L., & Häkkinen, K. (2017). Training-load-guided vs standardized endurance training in recreational runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 295–303.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0093>
- Singh, N., Moneghetti, K. J., Christle, J. W., Hadley, D., Froelicher, V., & Plews, D. (2018). Heart rate variability: An old metric with new meaning in the era of using mHealth technologies for health and exercise training guidance. Part two: Prognosis and training. *Arrhythmia and Electrophysiology Review*, 7(4), 247–255.  
<https://doi.org/10.15420/aer.2018.30.2>

- Sztajzel, J. (2004). Heart rate variability: A noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system. *Swiss Medical Weekly*, *134*(35–36), 514–522. <https://doi.org/2004/35/smw-10321>
- Sztajzel, J., Atchou, G., Adamec, R., & Bayes De Luna, A. (2006). Effects of extreme endurance running on cardiac autonomic nervous modulation in healthy trained subjects. *American Journal of Cardiology*, *97*(2), 276–278. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.08.040>
- Thayer, J. F., Yamamoto, S. S., & Brosschot, J. F. (2010). The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal of Cardiology*, *141*(2), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.09.543>
- 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*, 171–180.
- Vesterinen, Ville, Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 48, Issue 7). <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000910>