



Vásquez-Stuardo, J.; Morales-Flores, H; Cofré-Bolados, C. (2021). Monitorización del entrenamiento deportivo con variabilidad de la frecuencia cardiaca. Una revisión narrativa. *Journal of Sport and Health Research*. 13(Supl 1): 15-32.

## Review

# MONITORIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO CON VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA. UNA REVISIÓN NARRATIVA

## MONITORING SPORTS TRAINING WITH HEART RATE VARIABILITY. A NARRATIVE REVIEW

Vásquez-Stuardo, J.<sup>1,2</sup>; Morales-Flores, H.<sup>3</sup>; Cofré-Bolados, C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magíster de Medicina y Ciencias del Deporte, Facultad de Ciencias, Universidad Mayor, Chile

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias de la Actividad Física, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de Santiago, Chile

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Sebastián sede Patagonia, Chile

---

Correspondence to:  
**Juan Vásquez Stuardo**  
Universidad de Santiago de Chile  
Av. Las Sophoras N° 175, Santiago, Chile  
Email: [juan.vasquez.st@usach.cl](mailto:juan.vasquez.st@usach.cl)

---

*Edited by: D.A.A. Scientific Section  
Martos (Spain)*



Received:12/05/2021  
Accepted:12/06/2021



## RESUMEN

El objetivo de esta revisión es presentar las recomendaciones actuales sobre el uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca controlada en reposo en la monitorización del entrenamiento deportivo. Se realizó una búsqueda en la literatura de trabajos relacionados con monitorización del entrenamiento y variabilidad de la frecuencia cardiaca registrada en reposo, en sujetos de diferente nivel, edad y deporte. Además, se revisó el protocolo y resultados generados por el entrenamiento guiado por variabilidad de la frecuencia cardiaca. Los principales hallazgos fueron que la métrica de elección de variabilidad de la frecuencia cardiaca para utilizar en la monitorización del entrenamiento se obtiene a través de la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR sucesivos y su interpretación se debe complementar con frecuencia cardiaca de reposo, parámetros de bienestar, fatiga y carga externa. Se concluye que se pueden obtener registros cortos de buena calidad de variabilidad de la frecuencia cardiaca a través de dispositivos móviles, los que pueden ser utilizados en la monitorización del entrenamiento deportivo para conocer el nivel de preparación psicofisiológica del atleta para rendir frente a un estímulo estresor.

**Palabras clave:** Rendimiento deportivo, sistema nervioso autónomo, estrés fisiológico, dispositivos portátiles, respuesta al entrenamiento.

## ABSTRACT

The objective of this review is to present current recommendations on the use of controlled resting heart rate variability in monitoring sports training. A search was carried out in the literature of works related to training monitoring and heart rate variability recorded at rest, in subjects of different levels, ages and sports. In addition, the protocol and results generated by training guided by heart rate variability were reviewed.

The main findings were that the metric of choice of heart rate variability to use in training monitoring is obtained through the square root of the mean value of the sum of the squared differences of all successive RR intervals and its interpretation. It should be complemented with resting heart rate, well-being parameters, fatigue and external load. It is concluded that good quality short records of heart rate variability can be obtained through mobile devices, which can be used in the monitoring of sports training to know the level of psychophysiological preparation of the athlete to perform in the face of a stressful stimulus.

**Keywords:** Sports performance, autonomic nervous system, physiological stress, wearable devices, training response.



## INTRODUCCIÓN

El entrenamiento deportivo es un proceso sistemático de ejercicios (estímulos) para el desarrollo de cualidades físicas o destrezas deportivas. Cuando el estímulo es apropiado se genera una respuesta fisiológica y psicológica adaptativa que es única en cada individuo (Gronwald et al., 2020; Halson, 2014; Impellizzeri et al., 2018). Los componentes claves que determinan la magnitud de la respuesta adaptativa al entrenamiento son; volumen, intensidad y frecuencia (Hawley, 2008). La dosis adecuada de entrenamiento a nivel individual puede permitir mejoras óptimas en la condición física y el rendimiento (Impellizzeri et al., 2018; Laursen & Buchheit, 2019). La individualización del entrenamiento tiene como objetivo maximizar la eficiencia de una intervención teniendo en cuenta la heterogeneidad interindividual en atletas, poblaciones sanas y pacientes (Gronwald et al., 2020). Una forma no invasiva de conocer la respuesta al estímulo de entrenamiento es utilizando medidas provenientes del ritmo cardíaco como la frecuencia cardíaca (FC) y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC).

VFC es la fluctuación en los intervalos de tiempo entre latidos cardíacos adyacentes, representando la influencia del sistema nervioso autónomo sobre el corazón (Shaffer & Ginsberg, 2017; Singh et al., 2018). En el contexto deportivo se puede utilizar para valorar; fatiga aguda y crónica, identificar estados de sobrecarga funcional y no funcional, estimar umbrales ventilatorios, guiar el entrenamiento deportivo e identificar factores estresantes no relacionados con el deporte que puedan estar afectando al atleta (Altimi & Amft, 2016; Chandola et al., 2010; Da Silva et al., 2014; Flatt & Esco, 2016; Javaloyes et al., 2019; Plews et al., 2017; Rogers et al., 2021).

La aparición de teléfonos inteligentes con funciones relacionadas a salud y deporte ha facilitado la monitorización del entrenamiento deportivo utilizando herramientas como la VFC (Dobbs et al., 2019). La evidencia científica reciente asociada a las tecnologías de monitoreo biológico ha despertado gran interés sobre la VFC por parte del entrenamiento deportivo, ya que permite monitorizar de forma rápida y objetiva el nivel de estrés global de un deportista.

Una problemática asociada a esta medición es la gran cantidad de métricas, protocolos y momentos de medición que muchas veces dificultan la correcta

interpretación y aplicación (Catai et al., 2020). Esto genera conclusiones contradictorias o inconsistentes en algunos trabajos, debido a la gran diversidad de métricas y protocolos que se pueden utilizar, por lo tanto, es necesario analizar la evidencia relacionada con la VFC controlada en condiciones de reposo en el deporte.

El objetivo de esta revisión es presentar las recomendaciones actuales del uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en la monitorización del entrenamiento deportivo, con el fin de orientar una adecuada interpretación y toma de decisiones.

## *SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO Y VFC*

El sistema nervioso autónomo (SNA) o vegetativo tiene como función asegurar que se mantenga la integridad fisiológica de las células, tejidos y órganos de todo el cuerpo (homeostasis) y ejecutar las respuestas de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno. Se distribuye por el sistema nervioso central (SNC) y sistema nervioso periférico (SNP). Realiza sus funciones sin requerir un esfuerzo consciente, por lo que en ocasiones se le denomina sistema nervioso involuntario. Está integrado por el sistema nervioso simpático (SS), el sistema nervioso parasimpático (SP) y sistema nervioso entérico (SE) (Gibbons, 2019; Wehrwein et al., 2017). Las divisiones del SNA son anatómica y funcionalmente distintas, pero pueden funcionar de manera antagónica, sinérgica o independiente para controlar sus múltiples efectores autónomos (Wehrwein et al., 2017).

El SS permite al organismo responder a retos de supervivencia (lucha o huida), situaciones de colapso hemodinámico o insuficiencia respiratoria. Las respuestas simpáticas incluyen un aumento de la FC, la presión arterial y el gasto cardíaco, redistribución del flujo sanguíneo desde la piel y los vasos espláncnicos hacia el músculo esquelético, broncodilatación y una disminución de la actividad metabólica. Sin embargo, también puede presentar actividad en condiciones de reposo. La señal del SS puede dirigirse a objetivos funcionalmente específicos, ejerciendo ciertas funciones de forma selectiva (Singh et al., 2018; Wehrwein et al., 2017).

El SP es conocido por su participación en procesos de conservación y restauración de la energía al provocar una reducción de la FC y la presión arterial,



facilita la digestión y absorción de nutrientes y la eliminación de desechos. El nervio vago (décimo par craneal) transporta fibras al corazón y los pulmones (entre otros órganos) y es la inervación parasimpática principal de estos órganos. La actividad del nervio vago disminuye con el envejecimiento y el ejercicio aeróbico regular es el principal estímulo que lo aumenta (Singh et al., 2018; Wehrwein et al., 2017). Un corazón sano no es un metrónomo, las oscilaciones que presenta son complejas y no lineales. La variabilidad de los sistemas no lineales, proporcionan flexibilidad para adaptarse rápidamente a un ambiente incierto y cambiante. Un nivel óptimo de VFC está asociado con mejor salud, mejor capacidad de autorregulación y mayor adaptabilidad o resiliencia. Valores más altos en los índices relacionados con el nervio vago de VFC están asociados a mayor desempeño de funciones ejecutivas como la atención y el procesamiento emocional por parte de la corteza prefrontal (Shaffer & Ginsberg, 2017). El corazón presenta mayor VFC y menor FC cuando hay mayor predominio del SP. Al contrario, frente a un estímulo del SS hay menor VFC y mayor FC (Gibbons, 2019).

Para que una persona se pueda enfrentar y adaptar adecuadamente a una situación de estrés, requiere de una respuesta fisiológica mediada por el sistema nervioso autónomo, entre otros sistemas (Gibbons, 2019). El síndrome general de adaptación fue desarrollado en 1936 y hace referencia a que existe una respuesta independiente de la naturaleza del agente nocivo, con el objetivo de adaptarse a las nuevas condiciones a la que es sometido (Selye, 1936). Posteriormente introduce el término de estrés para referirse a esta respuesta (Selye, 1955). Por lo tanto, frente a un estímulo estresor (independiente de su origen) habrá una respuesta fisiológica y psicológica global, mediada por el sistema nervioso autónomo. La VFC refleja estos cambios y es considerado un marcador sensible de estrés agudo global (Dong, 2016).

La pérdida en el balance entre el SS y SP (estrés) puede ser causado por el ejercicio físico, pero también por condiciones fisiológicas y relacionadas con el estilo de vida (Tabla 1) (Catai et al., 2020; Chandola et al., 2010; Kokts-Porietis et al., 2019; Natarajan et al., 2020; Taralov et al., 2015).

**Tabla 1.** Condiciones que afectan la VFC

<b>Edad</b>	Disminuye VFC desde los 20 años
<b>Sexo</b>	Mujeres presentan mayor VFC (RMSSD) que los hombres a partir de los 30 años
<b>Ciclo menstrual</b>	En mujeres eumenorreicas la fase folicular presenta mayor actividad PS y la fase lútea del SS. El RMSSD va disminuyendo de forma no lineal a lo largo del ciclo menstrual
<b>Condición física</b>	A mayor condición física mayor VFC
<b>Enfermedades</b>	Enfermedades crónicas no transmisibles y cardiovasculares disminuyen la VFC
<b>Composición corporal</b>	Obesidad disminuye valores de VFC
<b>Tabaco y Alcohol</b>	Disminuyen VFC
<b>Viajes</b>	Disminuyen VFC
<b>Otros estresores</b>	Emociones, estrés psicológico, estrés laboral, condiciones ambientales como temperaturas extremas y altura.

### MEDIDAS DE VFC

Las mediciones de la VFC se pueden clasificar en medidas del dominio del tiempo, dominio de frecuencia y no-lineales (Task Force, 1996).

*Medidas del dominio del tiempo:* cuantifican la cantidad de variabilidad en las mediciones del intervalo entre latidos (tiempo entre latidos sucesivos). Son expresados en las unidades originales o en logaritmo natural para lograr una distribución más normal (Shaffer & Ginsberg, 2017; Task Force, 1996) y se pueden evaluar desde registros ultracortos (<1 minuto) a registros largos (24 horas). Las métricas más utilizadas son el SDNN (desviación estándar de todos los intervalos NN), RMSSD (raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR sucesivos), pNN50 (porcentaje de intervalos RR consecutivos que difieren más de 50 milisegundos entre sí), SDNN (media de las desviaciones estándar de todos los intervalos NN para cada segmento de 5



minutos en una grabación de 24 horas de VFC). Los intervalos NN son intervalos entre latidos donde se han eliminado los artefactos y los intervalos RR son todos los intervalos entre latidos de todos los latidos sucesivos (Shaffer & Ginsberg, 2017).

*Medidas del dominio de frecuencia:* Analizan la distribución de potencia absoluta o relativa en cuatro bandas de frecuencia dando información sobre cómo se distribuye la potencia (la varianza) como una función de la frecuencia. Se dividen en bandas de frecuencia ultracorta, muy corta, corta y alta (Shaffer & Ginsberg, 2017; Task Force, 1996)

*Medidas no lineales:* permiten cuantificar la imprevisibilidad y complejidad de una serie de tiempo, que resulta de la complejidad de los mecanismos que regulan la VFC (Shaffer & Ginsberg, 2017).

El RMSSD ha cobrado particular interés en el deporte. Se calcula primero obteniendo sucesivamente cada diferencia de tiempo entre los latidos del corazón, luego cada valor se eleva al cuadrado y el resultado se promedia antes de obtener la raíz cuadrada del total. Refleja la varianza entre cada latido y es la principal medida del dominio del tiempo utilizada para conocer cambios en la VFC relacionados con el nervio vago (Shaffer & Ginsberg, 2017). Es una representación del sistema nervioso parasimpático (actividad nervio vago), no entrega información de la rama simpática y generalmente se expresa transformándolo en logaritmo natural (LnRMSSD). Es considerado el marcador de VFC más confiable para monitorizar el estado de entrenamiento de un deportista, debido al menor coeficiente de variación en comparación con otros índices, la falta de influencia de la frecuencia respiratoria, los datos pueden recopilarse en poco tiempo y calcularse fácilmente (Bellenger et al., 2016; Buchheit, 2014; Plews et al., 2013).

#### RECOMENDACIONES E INSTRUMENTOS DE REGISTRO DE LA VFC

*Tiempo de registro:* Convencionalmente el RMSSD se calcula con registros de 5 minutos con una estabilización previa otros 5 minutos (Task Force, 1996). Sin embargo, para la monitorización del entrenamiento, la medición de 60 segundos tomada en reposo, sin estabilización postural previa, es

suficiente para evaluar la función autonómica relacionada con el nervio vago, tanto para atletas como no atletas (Chen et al., 2021; Esco & Flatt, 2014).

*Frecuencia de registro:* se recomienda medir al menos 3 veces por semana en sujetos entrenados, pero debido a que los deportistas recreativos presentan una mayor variación día a día de VFC, la recomendación generalizada de registro es de al menos 5 veces por semana en todas las personas (Flatt & Esco, 2015; Plews et al., 2014-A).

*Momento del registro:* en reposo (después de despertar) presenta la ventaja que permite evaluar al deportista antes de realizar la sesión de entrenamiento y además permite tener un control y registro de estrés global del deportista de todos los días (independiente de los días que haya entrenado en una semana).

*Instrumentos de medición:* Tradicionalmente la VFC es determinada registrando datos de frecuencia cardiaca de un electrocardiograma y posteriormente se realizan cálculos matemáticos por medio de softwares especializados. El electrocardiograma es considerado el estándar de oro, pero este proceso es relativamente costoso y poco práctico para el uso diario, quedando limitado para evaluaciones en laboratorios o contexto clínico (Dobbs et al., 2019). Una alternativa es obtener datos mediante una banda de frecuencia cardiaca (con ciertas limitaciones como el costo y la necesidad de instalar la banda en el pecho del individuo en cada medición). Otra opción es a través del uso de fotoplethismografía. Teléfonos inteligentes, relojes de pulsera (Apple Watch® o Polar® V800) y anillos (Oura Ring®) utilizan esta tecnología, ofreciendo una alternativa práctica y un marco de monitoreo adecuado que permite ajustes sensibles a la prescripción del ejercicio (Düking et al., 2019; Giles et al., 2016; Hernando et al., 2018; Kinnunen et al., 2020). La fotoplethismografía detecta los cambios de volumen en un capilar sanguíneo generados por la actividad cardiaca, a través de la reflexión de luz emitida por el led del teléfono inteligente (el flash de las fotografías). La luz reflejada se detecta mediante la cámara que está junto al led (actuando como un fotodetector) (Altini & Amft, 2016; Plews et al., 2017). Se necesita apoyar (generalmente durante 1 minuto) el pulpejo de un dedo sobre la cámara y el led del teléfono para



detectar los cambios en la intensidad de luz, generados por las variaciones del volumen sanguíneo en el capilar sanguíneo (Altini & Amft, 2016; Plews et al., 2017). Varias aplicaciones han sido validadas para el registro y análisis de la VFC (Flatt & Esco, 2013; Pereira et al., 2020; Plews et al., 2017). La aplicación para teléfonos móviles HRV4Training® utiliza la fotopletiografía y es un ejemplo de aplicación móvil validada que registra y analiza la VFC (representada por RMSSD), permitiendo su uso en la monitorización del entrenamiento deportivo (Plews et al., 2017).

La posibilidad de registrar la VFC a través de un teléfono móvil en poco tiempo representa una opción cómoda y práctica para los atletas. Un reciente metaanálisis que estudió la precisión de los dispositivos portátiles para medición de VFC, concluye que pueden ser considerados como una alternativa válida para su medición a pesar del pequeño error absoluto en comparación con el electrocardiograma, el cual es aceptable cuando se considera lo práctico de su uso (Dobbs et al., 2019).

Respecto al procesamiento de los datos, la ausencia de un latido cardíaco o uno ectópico, puede cambiar los índices de VFC hasta en un 50%, sin embargo, los softwares de análisis de VFC incorporan un filtro automático que detecta la mayoría de estas alteraciones. Si bien aún pueden ocurrir algunos errores al usar estos filtros automáticos, esto no es un problema importante para la monitorización del entrenamiento cuando su uso es consistente en el tiempo (Buchheit, 2014).

La tabla 2, sintetiza las principales recomendaciones que se deben considerar en el registro de la VFC para la monitorización del entrenamiento deportivo.

**Tabla 2.** Recomendaciones para el registro de VFC

Indicador	Recomendación
Métrica	RMSSD
Tiempo	≥ 60 segundos
Frecuencia	≥ 5 veces por semana
Posición	Acostado (de preferencia) o sentado
Momento	En reposo, al despertar
Instrumento medición	Teléfono o reloj inteligente, utilizando fotopletiografía o banda de FC

### VFC EN EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

La carga de entrenamiento es la variable de entrada para obtener la respuesta de entrenamiento deseada y suele describirse como externa o interna dependiendo de si nos referimos a aspectos medibles que ocurren interna o externamente al deportista. Tanto la carga externa como la interna no tienen una medida única o medida de oro, sino que estos pueden ser cuantificados por una multitud de variables (Impellizzeri et al., 2018).

La carga externa se define como el trabajo realizado por el individuo independientemente de las características internas, por ejemplo: distancia, tiempo, potencia, velocidad, acelerometría o medidas de GPS (Gronwald et al., 2020; Impellizzeri et al., 2018). Si bien los parámetros de carga externa permiten programar el entrenamiento de forma inteligente, no aportan mucha información sobre cómo exactamente los atletas han reaccionado o respondido al estímulo de entrenamiento, el resultado y dónde se encuentra realmente el atleta desde una perspectiva de disposición para entrenar (Gabbett, 2017; Laursen & Buchheit, 2019).

La carga interna es la respuesta fisiológica, psicológica, motora y biomecánica durante el ejercicio y puede ser medida por escala de esfuerzo percibido, frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio, consumo de oxígeno, lactato en sangre, etc. Las medidas que se registren después de la sesión de ejercicio deben ser consideradas como medidas indirectas de carga interna (frecuencia cardíaca de recuperación, marcadores de daño muscular, variabilidad de la frecuencia cardíaca de recuperación y de reposo) (Gronwald et al., 2020; Impellizzeri et al., 2018).

Lo que finalmente determina el resultado funcional del entrenamiento es la carga interna, por lo que se recomienda utilizar parámetros de respuesta interna como medida principal para monitorizar a los atletas (Impellizzeri et al., 2018).

Por lo tanto, comprender la respuesta individual de un atleta al entrenamiento ayuda a: estimar el potencial de aptitud física, fatiga y rendimiento; determinar si los atletas se están adaptando a los programas de entrenamiento; y minimizar el riesgo de sobrecarga no funcional, lesiones y enfermedades (Laursen & Buchheit, 2019; Bourdon et al., 2017). En este contexto, la VFC es una herramienta que



permite monitorizar la respuesta psicológica y fisiológica del entrenamiento, con el objetivo de individualizar y maximizar la eficiencia de un estímulo considerando la respuesta heterogénea interindividual (Gronwald et al., 2020).

#### RESPUESTAS AGUDAS DE LA VFC AL ENTRENAMIENTO

Para evaluar los cambios positivos y negativos generados por el entrenamiento, se recomienda calcular el promedio móvil de los últimos 7 días del LnRMSSD (LnRMSSD 7-d). Esta medida es superior en comparación a la evaluación de su valor en un solo día aislado. Además, se recomienda calcular el cambio mínimo detectable para establecer los límites superior e inferior de normalidad del LnRMSSD. Se calcula a través del promedio del LnRMSSD  $\pm$  (0,5 x la desviación estándar), para el límite superior e inferior respectivamente (figura 1). Generalmente si el valor del LnRMSSD está bajo el nivel de normalidad calculado para una persona, es un indicador de fatiga y genera una señal de alerta para el entrenador y deportista. Un aumento sostenido del LnRMSSD sobre el límite superior demuestra adaptación, pero si la subida es muy abrupta puede demostrar fatiga (Plews et al., 2012; Plews et al., 2013).

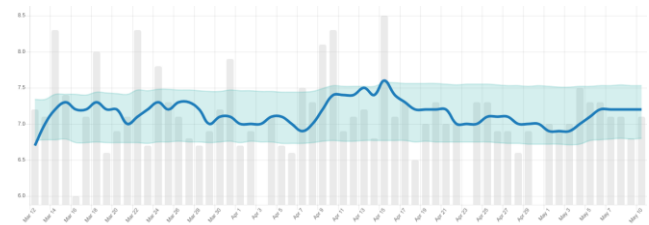
Las variaciones en la carga de entrenamiento generan alteraciones del SNA en un 10-20% medida con LnRMSSD (Buchheit, 2014). La disminución aguda en los índices de VFC relacionados con el nervio vago están relacionados con fatiga, mientras que los aumentos a largo plazo están relacionados con una adaptación positiva al entrenamiento de resistencia aeróbica (Bellenger et al., 2016; Vesterinen, et al., 2013).

Generalmente el entrenamiento de intensidad disminuye los índices de VFC relacionados con la actividad del nervio vago (como el RMSSD) por 24 - 48 hrs, lo que puede coincidir con la restauración de la homeostasis y los niveles de percepción de la recuperación. Bajo este análisis, las variaciones diarias de VFC se han utilizado con gran éxito en la prescripción de entrenamiento, reservando los entrenamientos de alta intensidad en días que se presente una actividad parasimpática adecuada (Buchheit, 2014; Düking et al., 2020; Granero-Gallegos et al., 2020; Plews et al. 2014-B). Por otro lado, el ejercicio de baja intensidad está relacionado

con un aumento de los índices de VFC relacionados con la actividad del nervio vago, posterior a 24 hrs del ejercicio (Buchheit, 2014; Plews et al., 2014-B). Altini & Amft, 2016 estudiaron el comportamiento del LnRMSSD y FC tomados en reposo (utilizando fotopleitismografía) y la carga de entrenamiento en 797 deportistas de diferentes niveles realizando un seguimiento entre 3 semanas y 5 meses, observando que posterior a entrenamientos de alta intensidad la VFC (LnRMSSD) disminuye y la FC aumenta levemente. Los cambios en la frecuencia cardíaca fluctuaron entre 1-1,9%, en cambio los valores de LnRMSSD oscilaron entre 5,7 a 11%, destacando un poder discriminativo de la VFC más alto en comparación a la FC en el contexto de la monitorización de la carga de entrenamiento.

Otra consideración son las condiciones ambientales y estado de hidratación. Esto debido al aumento del volumen plasmático (respuesta común en situaciones como la aclimatación al calor o por ejercicio aeróbico intenso) que genera un aumento de los valores de VFC independiente de los niveles de fatiga o condición física (Buchheit, 2014).

Con respecto al entrenamiento de fuerza, algunos autores afirman que genera una influencia mínima o nula sobre el control autónomo del corazón en sujetos sanos (registrada en reposo, al despertar), sin embargo, presenta una respuesta positiva en sujetos con ciertas enfermedades (Bhati et al., 2016). La falta de sensibilidad frente a algunas perturbaciones neuromusculares, metabólicas o psicométricas puede estar relacionada con el hecho de que la VFC es solo un marcador de SNA cardíaco (Task Force, 1996).



**Figura 1:** Registro de variabilidad de la frecuencia cardíaca en un deportista de resistencia aeróbica durante 60 días donde la media móvil del LnRMSSD (LnRMSSD 7-d) se mantiene dentro de los rangos de normalidad. La línea de color azul representa el LnRMSSD 7-d, la banda color verde el cambio mínimo detectable y columnas color gris el valor diario del LnRMSSD. El registro es de 1 minuto, evaluado en reposo (decúbito supino) e inmediatamente después de despertar. Datos obtenidos por el autor en plataforma HRV4Training®



## RESPUESTAS CRÓNICAS DE LA VFC AL ENTRENAMIENTO

Las medidas del dominio del tiempo son más consistentes que las del dominio de la frecuencia para describir las adaptaciones autonómicas cardiovasculares crónicas en los atletas (Da Silva et al., 2014). Los índices de VFC relacionados con el nervio vago (como el RMSSD) tomados en reposo aumentan cuando hay adaptaciones positivas al entrenamiento, permitiendo mejoras en el rendimiento (Bellenger et al., 2016). Las variaciones en la carga de entrenamiento generan fluctuaciones en estos índices de VFC, según los cambios en la periodización de entrenamiento (Buchheit, 2014; Nieto-Jiménez et al., 2020). Las cargas de entrenamiento moderadas generalmente se asocian con mayor VFC, mientras que las cargas de entrenamiento altas con valores disminuidos (Buchheit, 2014).

Generalmente deportistas de resistencia aeróbica realizan mesociclos de gran acumulación de volumen de entrenamiento en zonas aeróbicas durante ciertos momentos de una temporada, con una tendencia a aumentar los índices de VFC relacionados con el nervio vago, mientras que durante las semanas anteriores a una competencia tiende a disminuir. Esto se ha observado tanto en atletas de categoría mundial y en deportistas recreativos. Esto es importante considerar, porque el rendimiento sigue mejorando a pesar de la baja en la actividad PS. Sin embargo, la situación inversa también puede darse, es decir que el aumento de rendimiento está asociado a mayores niveles de actividad del SP al final de la preparación de una planificación deportiva. Probablemente estos cambios responden más a las variaciones de la intensidad del entrenamiento (común en fases de puesta a punto), que a los niveles de fatiga de ese momento. Se puede sugerir que un aumento del 4-9% en los índices de VFC relacionados con el nervio vago, durante la fase de construcción, puede ser necesario para que los atletas compitan de manera óptima después de la puesta a punto (Buchheit., 2014).

En futbolistas profesionales la medición en reposo del RMSSD es efectivo para conocer la disposición o preparación diaria de los jugadores para entrenar en términos de distancia e intensidad de entrenamiento. Es decir, cuando presentan mayores niveles de RMSSD pueden ser sometidos a mayor carga de

entrenamiento y en consecuencia logran mayores adaptaciones y mejoras en rendimiento (Christmas et al., 2019). Además, se relaciona con el nivel de aptitud física percibida en futbolistas profesionales, por lo que puede representar un marcador válido de aptitud física en esta población (Ravé et al., 2020).

Otro enfoque prometedor es el uso de las variaciones diarias de los índices de VFC relacionados con el nervio vago, que se ha demostrado que disminuyen antes de un estado de sobrecarga no funcional (Plews et al., 2012).

*Coefficiente de Variación:* una limitación de promediar los datos de la VFC es que no refleja la magnitud de la fluctuación en la VFC que se produce durante la semana (fluctuación día a día). La fluctuación se cuantifica a través del coeficiente de variación (CV) calculado como la desviación estándar de los datos del RMSSD dividido por el promedio de los datos del RMSSD y es expresado como un porcentaje. Este valor se relaciona de forma inversa con los parámetros de aptitud física: los deportistas que están en una mejor condición física tienden a mostrar menores fluctuaciones diarias de VFC, o sea un menor valor de CV. Esto puede explicarse en parte por el hecho de que las personas con mejor condición física cardiorrespiratoria demuestran una reactivación PS acelerada después de un ejercicio intenso en comparación con sujetos de menor condicionamiento físico. Los valores de CV se pueden ir comparando semana a semana, esperando valores en disminución en el caso de una respuesta positiva al entrenamiento y lo contrario en caso de una mala respuesta (Flatt & Esco, 2015; Flatt & Esco, 2016).

Un valor más bajo de CV indica una perturbación reducida en la homeostasis y se relaciona con mejores niveles de condición física. Frente a un alto nivel de CV se podría beneficiar de una reducción en la carga de entrenamiento. Existe una fuerte relación entre el grado de cambio en el CV y el nivel de condición física (Flatt & Esco, 2015).

Flatt & Esco, 2017 estudiaron futbolistas universitarias, donde aquellas que presentaron una disminución en el CV durante las primeras 3 semanas (de un mesociclo de 5 semanas), fueron las que mayor alza de rendimiento desarrollaron (en Yo-Yo test).

En deportistas olímpicos de Rugby 7 se analizó el RMSSD y su CV durante 3 semanas de entrenamiento. Esta población presentó mínimas





variaciones en el CV semanal, demostrando una mejor tolerancia a las cargas de entrenamiento y por consecuencia mayor habilidad para mantener homeostasis autonómica del corazón. Esto se traduce en una respuesta favorable al estímulo de entrenamiento, pero también a que estos atletas se pueden adaptar con mayor facilidad al estar altamente entrenados. Además, los sujetos que experimentaron menor CV posterior a la primera semana de entrenamiento mostraron mayores alzas en pruebas de rendimiento (Flatt & Howells, 2019).

Fenómenos similares se observaron en triatletas profesionales durante un mesociclo de entrenamiento en altura, en que los sujetos más respondedores presentaron menores alzas en la FC de reposo cuando llegaron a entrenar a la altura en comparación con los no respondedores. Además, los respondedores mostraron menores reducciones del RMSSD, sin aumentos en el CV cuando llegaron a la altura. Se pueden realizar varias estrategias manipulando la carga de entrenamiento en los sujetos que presentan mayores incrementos en la FC y el CV de RMSSD para optimizar el entrenamiento (Altini et al., 2020). Lógicamente, para su interpretación, siempre hay que evaluar el contexto, el entrenamiento y los factores relacionados con el estilo de vida que pueden afectar el CV (Flatt et al., 2017).

Flatt & Esco, 2015 al estudiar el CV LnRMSSD semanal en jugadoras profesionales de fútbol, observaron que es más sensible a los cambios en la carga de entrenamiento que la media del RMSSD. Mayores cargas de entrenamiento (más estrés y fatiga) se relaciona a mayores variaciones día a día del LnRMSSD, mientras que durante periodos de menor carga de entrenamiento hay menor variación diaria del LnRMSSD

Monitorizar los cambios del CV del LnRMSSD (figura 2) entrega información objetiva sobre el impacto fisiológico que genera el entrenamiento y los procesos de adaptación asociados éste, siendo así una herramienta útil para valorar los cambios en la carga de entrenamiento, el nivel del atleta, rendimiento y estados de sobrecarga no funcional.

*Fenómeno de saturación:* una caída de los índices de VFC relacionados con el nervio vago es esperable en contextos de fatiga o estrés causado por el estilo de vida. Sin embargo, cuando los deportistas presentan una tendencia en disminución de la VFC en ausencia de fatiga o sobrecarga puede deberse a dos fenómenos. La primera causa generada por los

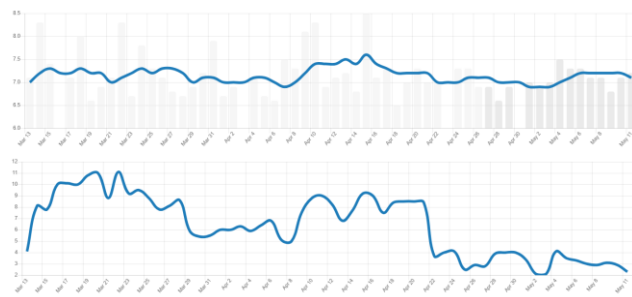
cambios propios de la carga de entrenamiento (principalmente por entrenamientos de alta intensidad) y en situaciones donde hay estrés precompetitivo (en este caso por una mayor actividad SS). Este último punto es beneficioso debido a que puede permitir mayor mantención de intensidad de ejercicio durante una competencia (Buchheit, 2014). La segunda es causada por el fenómeno de saturación que ocurre independiente de la fatiga o hiperactividad del SS y es frecuente en deportistas de alto rendimiento o de nivel recreativo muy entrenados que presentan FC basales inferiores a 50 latidos por minuto. Esta disminución de la VFC cursa con bajos niveles de FC de reposo y es consecuencia de una actividad aumentada del nervio vago en el corazón (y no disminuida como uno esperaría). Este fenómeno se debe a la saturación de los receptores de acetilcolina (Buchheit, 2014; Plews et al., 2017). Una elevación de la actividad del nervio vago puede dar lugar a un aumento sostenido del control PS sobre el nodo sinusal, eliminando la modulación respiratoria del corazón, resultando en una reducción de los índices de VFC relacionados con el nervio vago. Debido a que estos índices reflejan la magnitud de la modulación del PS a nivel del corazón, se observa una disminución en la VFC a pesar del aumento general de la actividad del nervio vago. La forma para diferenciar si la caída en la VFC es por sobreactividad SS o por fenómeno de saturación es conociendo la FC de reposo (Buchheit, 2014; Plews et al., 2017).

En la práctica con atletas, se recomienda calcular la relación LnRMSSD/R-R, en que un R-R más largo está asociado a FC más baja y un R-R más corto, a una FC más alta. En caso de disminución del LnRMSSD mediada por aumento del SS, los intervalos R-R probablemente se acortarán (FC más alta), manteniendo o eventualmente aumentando la relación (Plews et al., 2012; Plews et al., 2013; Plews et al., 2017). Si bien los aumentos moderados pueden ser óptimos, los aumentos extremos pueden reflejar una mala adaptación al entrenamiento y a su vez una baja en el rendimiento. En el caso de la saturación, el intervalo R-R aumenta (FC más baja) y la relación se reduce sustancialmente. La relación LnRMSSD/R-R también depende del ciclo de entrenamiento, lo que sugiere que se requiere un seguimiento longitudinal durante meses o años para optimizar el proceso de seguimiento general de cada atleta (Plews et al., 2013). Cuando un atleta muestra un perfil de



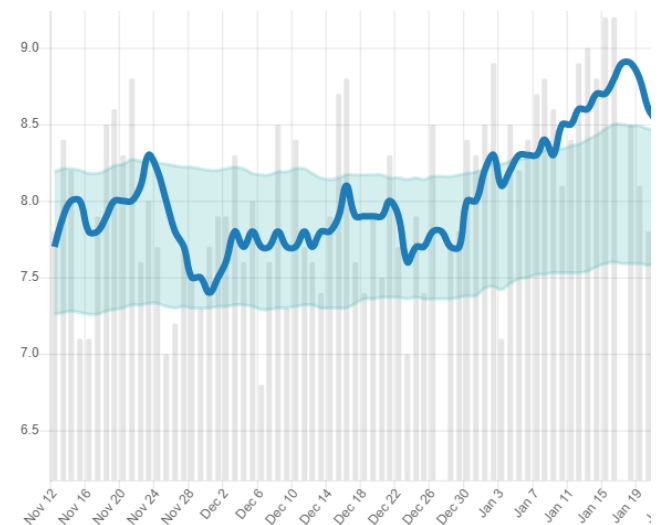
saturación, ya sea por una adaptación positiva o negativa al entrenamiento, aparte de considerar la magnitud del aumento en la relación LnRMSSD/R-R, el análisis debe contemplar el uso de escalas de bienestar, fatiga, condición neuromuscular y carga externa de entrenamiento (Plews et al., 2017).

En resumen, se deben considerar cuatro variables claves: las tendencias en el LnRMSSD 7-d, el cambio mínimo detectable, el CV y la FC de reposo, para monitorización del entrenamiento deportivo (tablas 3 y 4). Una reducción en el CV y un aumento del LnRMSSD 7-d, evidencia una respuesta favorable, resultando en mejores adaptaciones y por lo tanto en el rendimiento (figura 3). En cambio, si hay aumento en el CV y disminución del LnRMSSD 7-d, es una señal de atención para investigar y realizar una intervención (figura 4). Por ejemplo, se puede bajar la carga de entrenamiento, maximizar la recuperación (sueño, tiempos de descanso, alimentación, hidratación) y manejar los factores estresores relacionados con el estilo de vida. Por lo tanto, las modificaciones con el objetivo de mantener un perfil favorable en la modulación autónoma sobre el corazón, sobre el entrenamiento y los factores relacionados con estilos de vida, ayudaría apoyando las adaptaciones fisiológicas del entrenamiento.

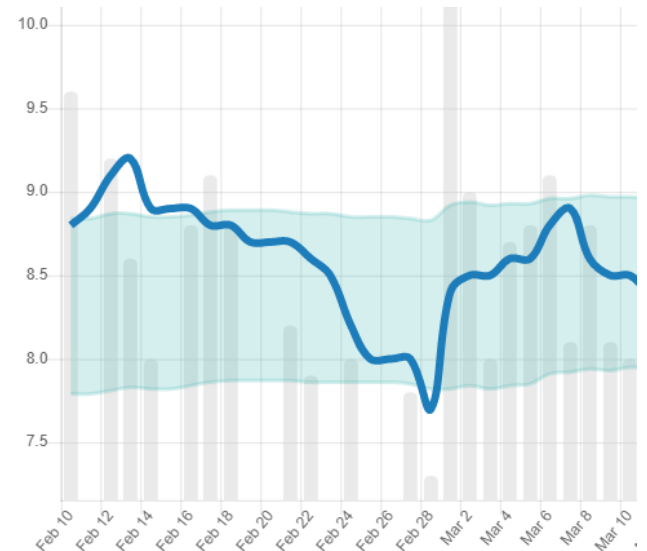


**Figura 2:** Coeficiente de variación (CV LnRMSSD) durante 60 días en un deportista de resistencia aeróbica. LnRMSSD

(superior) y CV LnRMSSD (inferior). Datos obtenidos por el autor en plataforma HRV4Training®



**Figura 3:** Ejemplo de adaptación positiva al entrenamiento en un deportista de resistencia aeróbica. Datos obtenidos por el autor en plataforma HRV4Training®



**Figura 4:** Ejemplo de adaptación negativa al entrenamiento en un deportista de resistencia aeróbica. Datos obtenidos por el autor en plataforma HRV4Training®

**Tabla 3.** Adaptaciones positivas al entrenamiento

Situación	Interpretación	Toma de decisión
Tendencia LnRMSSD 7-d en aumento, poca fluctuación CV LnRMSSD y reducción FC reposo	Respuesta positiva al entrenamiento con buena tolerancia a la carga. Puede ocurrir en periodos de puesta a punto o descarga secundaria a periodos de alta carga. Común en entrenamiento aeróbico asociado a mejora en condición física	Mantener la planificación y continuar monitorizando
Tendencia LnRMSSD 7-d estable con valores dentro del cambio mínimo detectable y poca fluctuación CV LnRMSSD	El estrés del entrenamiento es bajo y/o es adecuado y bien tolerado. Indicador de buena adaptación al entrenamiento	Mantener planificación y continuar monitorizando
Tendencia LnRMSSD 7-d estable con valores dentro del cambio mínimo detectable y alta fluctuación CV LnRMSSD	El estrés del entrenamiento es alto, pero bien tolerado. Podría presentarse al inicio de una nueva fase o ciclo de entrenamiento	Mantener planificación, optimizar las medidas de recuperación y/o modificar el entrenamiento en caso necesario
Tendencia LnRMSSD 7-d en disminución y aumentos moderados FC de reposo	Relacionado con aumento de rendimiento en puestas a punto y aumento de actividad simpática. Indicador de fatiga sino está relacionado con puesta a punto	Mantener planificación en caso de estar en una puesta a punto

**Tabla 4.** Adaptaciones negativas al entrenamiento

Situación	Interpretación	Toma de decisión
Tendencia LnRMSSD 7-d en disminución y aumento FC reposo	Fatiga, recuperación inadecuada o adaptación negativa al entrenamiento. Señal de altera de un posible estado de sobrecarga no funcional. Pérdida de condición física cuando se acompaña de desentrenamiento. Puede ocurrir en periodos de alta intensidad, puesta a punto o al inicio de un ciclo de entrenamiento.	Identificar agentes causales, optimizar las medidas de recuperación y/o modificar el entrenamiento
Aumento CV LnRMSSD, tendencia LnRMSSD 7-d en disminución y/o aumento FC reposo	Fatiga o mala capacidad para adaptarse al entrenamiento con mayor actividad del sistema simpático en respuesta al estrés. Común en periodos de alta intensidad o carga de entrenamiento	Identificar agentes causales, optimizar las medidas de recuperación y/o modificar el entrenamiento
Tendencia LnRMSSD 7-d en disminución y reducción FC reposo	Puede indicar fatiga si persiste por varias semanas o ser generado por fenómeno de saturación por aumento sostenido de actividad del sistema parasimpático (común en deportistas de alto nivel)	Diferenciar si es causado por fenómeno de saturación o fatiga apoyarse en otros parámetros de monitorización



### ENTRENAMIENTO GUIADO POR VFC

Los programas de entrenamiento predefinidos distribuyen cambios en volumen, intensidad y frecuencia a lo largo de la temporada con el objetivo de aumentar el rendimiento deportivo y evitando la acumulación excesiva de fatiga (Granero-Gallegos et al., 2020; Javaloyes et al., 2019). Sin embargo, los programas de entrenamiento muestran gran variación interindividual en la respuesta al entrenamiento. Al aplicar, sobre varios individuos, el mismo programa de entrenamiento, algunos responden aumentando el rendimiento, otros se mantienen y otros incluso pueden disminuirlo (Skinner et al., 2000). Frente a esta situación, una forma de contrarrestar la baja respuesta a un estímulo es ajustando la dosis (volumen e intensidad) de entrenamiento físico (Gronwald et al., 2020, Montero et al., 2017).

El entrenamiento guiado por VFC permite a los entrenadores adaptar la recuperación y cargas de entrenamiento de cada deportista con el objetivo de lograr un mayor rendimiento (Javaloyes et al., 2019). Esto se fundamenta en que mayores valores de VFC, son indicativo de mayor activación del sistema parasimpático y por lo tanto mayor recuperación y preparación para enfrentarse a un entrenamiento de alta intensidad (Düking et al., 2020). Con el entrenamiento tradicional los sujetos pueden mejorar el rendimiento deportivo, pero el entrenamiento guiado por VFC es una propuesta más individualizada que genera en la mayoría los sujetos una mejora en el rendimiento deportivo y parámetros submáximos (Düking et al., 2020; Granero-Gallegos et al., 2020). En deportistas de resistencia aeróbica de nivel aficionado, 8 semanas de entrenamiento guiado por VFC son suficientes para mejorar el  $VO_{2max}$  (Granero-Gallegos et al., 2020).

En general los protocolos propuestos en la literatura de entrenamiento guiado por VFC (Carrasco-Poyatos et al., 2020; Düking et al., 2020; Granero-Gallegos et al., 2020) duran 12 semanas. Las primeras 4 se realiza un periodo de preparación con aumento de cargas progresivas donde se obtienen valores diarios del RMSSD (se crea una línea de base) y en los 8 restantes se realiza el entrenamiento guiado por VFC. Se utiliza el  $\ln RMSSD_{7-d}$  y el mínimo cambio detectable para establecer límites superior e inferior de normalidad del  $\ln RMSSD_{7-d}$  (Javaloyes et al.,

2019, Plews et al., 2013). El mínimo cambio detectable se actualiza periódicamente (semanal o mensualmente) y se utiliza para interpretar los cambios en el  $\ln RMSSD_{7-d}$  y así realizar la prescripción de entrenamiento (Carrasco-Poyatos et al., 2020; Javaloyes et al., 2019).

El entrenamiento se rige según el valor diario de VFC, tomado cada mañana, utilizando un esquema de toma de decisiones (Carrasco-Poyatos et al., 2020; Kiviniemi et al., 2007). Si el valor diario del  $\ln RMSSD_{7-d}$  está dentro del rango de normalidad, se realiza entrenamiento de alta o mediana intensidad y en el caso que esté bajo el rango se realiza un entrenamiento de baja intensidad o se descansa. Se puede realizar un máximo de dos sesiones consecutivas de alta o moderada intensidad, además no se realizan más de dos días consecutivos de descanso (Carrasco-Poyatos et al., 2020). Esto intenta evitar la sobrecarga de un deportista cuando no está listo para rendir.

Diferentes autores han utilizado el entrenamiento guiado por VFC en atletas profesionales y aficionados en deportes como carrera a pie (Kiviniemi et al., 2007; Nuutila et al., 2018; Vesterinen et al., 2016), ciclismo (Javaloyes et al., 2018; Javaloyes et al., 2019) y esquí nórdico (Schmitt et al., 2018). En estos estudios se muestra un mayor rendimiento deportivo en los deportistas sometidos a este tipo de periodización, en comparación a un programa predefinido. Otro punto importante es que se logra una mayor respuesta global en todos los sujetos, es decir, se reduce la población no respondedora (Javaloyes et al., 2019).

Dos recientes metaanálisis (Düking et al., 2020; Granero-Gallegos et al., 2020) que comparan el entrenamiento guiado por VFC con la periodización tradicional, muestran que los atletas de resistencia aeróbica de nivel recreativo y la población femenina son los que presentan una mayor respuesta en términos de aumento del  $VO_{2max}$ , parámetros submáximos (1er y 2do umbral) y pruebas de rendimiento.

En deportistas profesionales de ciclismo y esquí nórdico (Javaloyes et al., 2018; Schmitt et al., 2018), el entrenamiento guiado por VFC no genera aumentos significativos en el valor del  $VO_{2max}$ , pero presentan una mayor respuesta general al entrenamiento en comparación con los grupos de



control a nivel de la potencia asociada al  $VO_{2max}$ , parámetros submáximos y pruebas de rendimiento. Esto indica que esta forma de planificar el entrenamiento es una buena alternativa tanto a nivel recreativo como profesional, aunque aún faltan estudios que incluyan más deportes, de mayor duración y con mayor población.

La gran variabilidad interindividual en la respuesta a un programa de entrenamiento está asociada, en parte, a la influencia entre los factores propios del entrenamiento y de otros como la recuperación y la capacidad de adaptación. En este sentido, la VFC representa un acercamiento al entrenamiento autorregulado. Se intenta optimizar el estímulo de entrenamiento según la capacidad de afrontamiento actual del individuo.

### CONCLUSIÓN

La métrica de elección para evaluar VFC en el contexto deportivo es el RMSSD, representando el nivel de preparación psicofisiológica del atleta para rendir frente a un estímulo estresor o de entrenamiento.

Para la monitorización del entrenamiento debe examinarse el contexto general y una gran cantidad de fenómenos que pueden influir sobre la VFC y se recomienda evaluar las tendencias en el  $\ln RMSSD_{7d}$ , el CV  $\ln RMSSD$  y FC de reposo.

El entrenamiento guiado por VFC es una herramienta individualizada de gran valor para la periodización del entrenamiento, permitiendo a los entrenadores adaptar la recuperación y cargas de entrenamiento de cada deportista en base a los registros obtenidos, con el objetivo de optimizar el rendimiento.

Cada vez hay mayor acceso al registro de VFC debido a relojes o teléfonos inteligentes por medio de tecnologías como la fotoplethismografía, lo que permitirá extender su uso en población general, considerando población infantil y personas mayores, en áreas de salud y enfermedad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altini, M., Berk, S., & Janssen, T. (2020). Heart rate variability during the first week of an altitude training camp is representative of individual training adaptation at the end of the camp in elite triathletes. *Sport Performance & Science Reports*, 1(125).
- Altini, M., & Amft, O. (2016). HRV4Training: Large-scale longitudinal training load analysis in unconstrained free-living settings using a smartphone application. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2610–2613.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1461–1486.
- Bhati, P., Moiz, J. A., Menon, G. R., & Hussain, M. E. (2019). Does resistance training modulate cardiac autonomic control? A systematic review and meta-analysis. *Clinical autonomic research. Official journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 29(1), 75–103.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-161-S2-170.
- Buchheit M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Frontiers in physiology*, 5, 73.
- Carrasco-Poyatos, M., González-Quílez, A., Martínez-González-Moro, I., & Granero-Gallegos, A. (2020). HRV-Guided Training for Professional Endurance Athletes: A Protocol for a Cluster-Randomized Controlled Trial. *International journal of environmental research and public health*, 17(15), 5465.
- Catai, A. M., Pastre, C. M., Godoy, M. F., Silva, E. D., Takahashi, A., & Vanderlei, L. (2020). Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian journal of physical therapy*, 24(2), 91–102.
- Chandola, T., Heraclides, A., & Kumari, M. (2010). Psychophysiological biomarkers of



- workplace stressors. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35(1), 51–57.
10. Chen, Y. S., Pagaduan, J. C., Bezerra, P., Crowley-McHattan, Z. J., Kuo, C. D., & Clemente, F. M. (2021). Agreement of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Recordings During Overseas Training Camps in Under-20 National Futsal Players. *Frontiers in psychology*, 12, 621399.
  11. Christmas, B., Taylor, L., Thornton, H., Murray, A., & Stark, G. (2019). External training loads and smartphone-derived heart rate variability indicate readiness to train in elite soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19:2, 143-152,
  12. Da Silva, V. P., de Oliveira, N. A., Silveira, H., Mello, R. G., & Deslandes, A. C. (2015). Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review. *Annals of noninvasive electrocardiology. The official journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc*, 20(2), 108–118.
  13. Dobbs, W. C., Fedewa, M. V., MacDonald, H. V., Holmes, C. J., Cicone, Z. S., Plews, D. J., & Esco, M. R. (2019). The Accuracy of Acquiring Heart Rate Variability from Portable Devices: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(3), 417–435.
  14. Dong J. G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and therapeutic medicine*, 11(5), 1531–1536.
  15. Düking, P., Achtzehn, S., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2018). Integrated Framework of Load Monitoring by a Combination of Smartphone Applications, Wearables and Point-of-Care Testing Provides Feedback that Allows Individual Responsive Adjustments to Activities of Daily Living. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(5), 1632.
  16. Düking, P., Zinner, C., Reed, J. L., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2020). Predefined vs data-guided training prescription based on autonomic nervous system variation: A systematic review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(12), 2291–2304.
  17. Esco, M. R., & Flatt, A. A. (2014). Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *Journal of sports science & medicine*, 13(3), 535–541.
  18. Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2013). Validity of the ithlete™ Smart Phone Application for Determining Ultra-Short-Term Heart Rate Variability. *Journal of human kinetics*, 39, 85–92.
  19. Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2015). Smartphone-Derived Heart-Rate Variability and Training Load in a Women's Soccer Team. *International journal of sports physiology and performance*, 10(8), 994–1000.
  20. 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.
  21. Flatt, A. A., & Howells, D. (2019). Effects of varying training load on heart rate variability and running performance among an Olympic rugby sevens team. *Journal of science and medicine in sport*, 22(2), 222–226.
  22. Flatt, A. A., Esco, M. R., Nakamura, F. Y., & Plews, D. J. (2017). Interpreting daily heart rate variability changes in collegiate female soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 57(6), 907–915.
  23. Gabbett, T. J., Nassis, G. P., Oetter, E., Pretorius, J., Johnston, N., Medina, D., Rodas, G., Myslinski, T., Howells, D., Beard, A., & Ryan, A. (2017). The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *British journal of sports medicine*, 51(20), 1451–1452.



24. Gibbons C. H. (2019). Basics of autonomic nervous system function. *Handbook of clinical neurology*, 160, 407–418.
25. Giles, D., Draper, N., & Neil, W. (2016). Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European journal of applied physiology*, 116(3), 563–571.
26. Granero-Gallegos, A., González-Quílez, A., Plews, D., & Carrasco-Poyatos, M. (2020). HRV-Based Training for Improving VO<sub>2max</sub> in Endurance Athletes. A Systematic Review with Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 7999.
27. Gronwald, T., Törpel, A., Herold, F., & Budde, H. (2020). Perspective of Dose and Response for Individualized Physical Exercise and Training Prescription. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 5(3), 48.
28. Halson S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44 Suppl 2(Suppl 2), S139–S147.
29. Hawley J. A. (2008). Specificity of training adaptation: time for a rethink?. *The Journal of physiology*, 586(1), 1–2.
30. Hernando, D., Roca, S., Sancho, J., Alesanco, Á., & Bailón, R. (2018). Validation of the Apple Watch for Heart Rate Variability Measurements during Relax and Mental Stress in Healthy Subjects. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(8), 2619.
31. Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2018). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270-273.
32. Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2018). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability in Cycling. *International journal of sports physiology and performance*, 1–28. Advance online publication.
33. Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2019). Training Prescription Guided by Heart Rate Variability Vs. Block Periodization in Well-Trained Cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 34(6), 1511–1518.
34. Kinnunen, H., Rantanen, A., Kenttä, T., & Koskimäki, H. (2020). Feasible assessment of recovery and cardiovascular health: accuracy of nocturnal HR and HRV assessed via ring PPG in comparison to medical grade ECG. *Physiological measurement*, 41(4), 04NT01.
35. 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.
36. Kokts-Porietis, R. L., Minichiello, N. R., & Doyle-Baker, P. K. (2020). The effect of the menstrual cycle on daily measures of heart rate variability in athletic women. *Journal of Psychophysiology*, 34(1), 60–68.
37. Laursen, P., & Buchheit, M. (2019). Science and Application of High-Intensity Interval Training. United States of America: Human Kinetics.
38. Montero, D., & Lundby, C. (2017). Refuting the myth of non-response to exercise training: 'non-responders' do respond to higher dose of training. *The Journal of physiology*, 595(11), 3377–3387.
39. Natarajan, A., Pantelopoulos, A., Emir-Farinas, H., & Natarajan, P. (2020). Heart rate variability with photoplethysmography in 8 million individuals: a cross-sectional study. *The Lancet. Digital health*, 2(12), e650–e657.
40. Nieto-Jiménez, C., Ruso-Álvarez, J.F., Pardos-Mainer, E., Schnettler-Ramírez, M., & Naranjo-Orellana, J. (2020). Basal and post-exercise heart rate variability correlates with training load in endurance athletes. *Revista Portuguesa De Pneumologia*, 13, 71-75.



41. Nuuttila, 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.
42. Pereira, R. A., Alves, J., Silva, J., Costa, M., & Silva, A. S. (2020). Validity of a Smartphone Application and Chest Strap for Recording RR Intervals at Rest in Athletes. *International journal of sports physiology and performance*, 15(6), 896–899.
43. Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European journal of applied physiology*, 112(11), 3729–3741.
44. 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.
45. Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment?. *International journal of sports physiology and performance*, 9(5), 783–790.
46. Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Heart-rate variability and training-intensity distribution in elite rowers. *International journal of sports physiology and performance*, 9(6), 1026–1032.
47. Plews, D. J., Laursen, P. B., & Buchheit, M. (2017). Day-to-Day Heart-Rate Variability Recordings in World-Champion Rowers: Appreciating Unique Athlete Characteristics. *International journal of sports physiology and performance*, 12(5), 697–703.
48. Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E., & Laursen, P. B. (2017). Comparison of Heart-Rate-Variability Recording With Smartphone Photoplethysmography, Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. *International journal of sports physiology and performance*, 12(10), 1324–1328.
49. Ravé, G., Zouhal, H., Boulosa, D., Doyle-Baker, P. K., Saeidi, A., Abderrahman, A. B., & Fortrat, J. O. (2020). Heart Rate Variability is Correlated with Perceived Physical Fitness in Elite Soccer Players. *Journal of human kinetics*, 72, 141–150.
50. Rogers, B., Giles, D., Draper, N., Hoos, O., & Gronwald, T. (2021). A New Detection Method Defining the Aerobic Threshold for Endurance Exercise and Training Prescription Based on Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability. *Frontiers in physiology*, 11, 596567.
51. Selye, H. (1936). A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*, 138, 32.
52. Selye, H. (1955). The stress concept in 1955. *Journal of chronic diseases*, 2(5), 583–592.
53. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in public health*, 5, 258.
54. 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 & electrophysiology review*, 7(4), 247–255.
55. Skinner, J. S., Wilmore, K. M., Krasnoff, J. B., Jaskólski, A., Jaskólska, A., Gagnon, J., Province, M. A., Leon, A. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H., & Bouchard, C. (2000). Adaptation to a standardized training program and changes in fitness in a large, heterogeneous population: the HERITAGE Family Study. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 157–161.
56. Schmitt, L., Willis, S. J., Fardel, A., Coulmy, N., & Millet, G. P. (2018). Live high-train low





- guided by daily heart rate variability in elite Nordic-skiers. *European journal of applied physiology*, 118(2), 419–428.
57. Taralov, Z. Z., Terziyski, K. V., & Kostianev, S. S. (2015). Heart Rate Variability as a Method for Assessment of the Autonomic Nervous System and the Adaptations to Different Physiological and Pathological Conditions. *Folia medica*, 57(3-4), 173–180.
58. 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 & science in sports*, 23(2), 171–180.
59. Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(7), 1347–1354.
60. Wehrwein, E. A., Orer, H. S., & Barman, S. M. (2016). Overview of the Anatomy, Physiology, and Pharmacology of the Autonomic Nervous System. *Comprehensive Physiology*, 6(3), 1239–1278.

