

Capítulo 4

Monitoreo de la carga de entrenamiento y recuperación en atletas de resistencia: Clave para la adaptación y el rendimiento

Carlos Artemio Favela Ramírez
Joel Alejandro Oloño Meza

Introducción

El entrenamiento duro, una dieta balanceada y un descanso adecuado son los elementos necesarios de todas las recetas de éxito en cualquier deporte, incluido el *running*. Por lo tanto, al administrar un entrenamiento preciso y efectivo, el personal de entrenamiento debe evaluar no sólo la carga y efectividad de las sesiones de entrenamiento, sino también monitorear la recuperación de los deportistas como respuesta a estas sesiones. Una herramienta válida y práctica que permita realizar ajustes de las cargas de entrenamiento durante la preparación y competencias es la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC).

En primer lugar, el análisis de la VFC ha resultado ser un instrumento eficaz para realizar un seguimiento de la recupera-

ción en los deportistas, ya que permite evaluar la buena o mala adaptación a las cargas de entrenamiento, facilitando el control del equilibrio entre la salud y el rendimiento deportivo. En los últimos años, la medición rutinaria de la VFC, como un predictor del estado de forma y nivel de entrenamiento en el ámbito del deporte, ha crecido en popularidad, esto se debe principalmente a la aparición de nuevos dispositivos de bajo costo económico, versatilidad, facilidad de uso, inmediatez y validez que han facilitado la accesibilidad y su manejo por parte de atletas y entrenadores (Singh et al., 2018).

Sin embargo, inconsistencias técnico metodológicas en la puesta en marcha de esta herramienta puede llevar a la toma de decisiones no favorables durante la fase de implementación del programa de entrenamiento y resultados indeseables. En el presente capítulo se abordará el uso y aplicación de la VFC como herramienta para la detección de los estados de adaptación y prescripción del entrenamiento, basado en la evidencia científica más reciente y enfocada en el *running*.

Conceptualización de la VFC y la adaptación al entrenamiento del *running*

La VFC es la variación en los intervalos de tiempo (intervalos R-R) de la frecuencia cardiaca (FC) (Pérez-Gaido et al., 2021), y representa una medición indirecta del equilibrio del sistema nervioso autónomo (SNA), que se correlaciona muy bien con las adaptaciones fisiológicas y el rendimiento físico en diversas pruebas de carrera (Da Silva et al., 2019). El SNA se divide en los sistemas parasimpáticos y simpáticos, en función de las diferencias anatómicas y funcionales que presentan (Singh *et al.*, 2018). El sistema nervioso parasimpático, también denominado vagal, se ocupa en gran medida de la conservación y la restauración de la energía al reducir la FC y la presión arterial, también se encarga de facilitar la digestión y la absorción de nutrientes. En contraste, el sistema simpático permite que el cuerpo responda a los desafíos de supervivencia (lucha o huida) o situaciones de colapso hemodinámico o insuficiencia respiratoria (Singh *et al.*, 2018).

En términos sencillos, el sistema parasimpático actúa como un freno que permite recuperar al organismo de diversos estresores, mientras que el sistema simpático se comporta como el acelerador que se activa para hacer frente a estos estresores, entre ellos, el estímulo o carga de entrenamiento. Como es el caso, durante una sesión de entrenamiento e inmediatamente al término de ésta, el sistema simpático predominará sobre la rama vagal, hasta que las reservas del organismo logren recuperarse retomando la homeostasis. Sin embargo, si el estímulo aplicado es demasiado excesivo para el corredor (gran kilometraje, elevada intensidad), puede generar una reactivación parasimpática retrasada aguda, aplazando los tiempos de recuperación y por lo tanto, los mecanismos de supercompensación (Bellenger *et al.*, 2016).

De esta manera, si los estímulos excesivos de entrenamiento se suscitan con regularidad en el tiempo y se combinan con pobres medidas de recuperación, pueden generar una reducción vagal a largo plazo, lo que resulta en un desequilibrio en la actividad del SNA, llevando al control simpático del ritmo cardiaco (Dong, 2016). Es por ello que, en dependencia de la distancia de competencia en carrera, se deben respetar ciertos tiempos de recuperación, por ejemplo, en atletas de ultramaratón (64 km) se ha observado que requieren de 20 a 44 horas para que la actividad cardiaca parasimpática se recupere después de un evento de esta naturaleza (Fazackerley, Fell y Kitic, 2019). Por esta razón, el monitoreo diario de la VFC ha demostrado ser una herramienta potencial para vigilar las fluctuaciones en la actividad parasimpática entre personas corredoras para la prescripción del entrenamiento (Da Silva *et al.*, 2019).

Como parte de las adaptaciones favorables al entrenamiento del *running*, se ha demostrado que deportistas de élite de resistencia tienen un tono parasimpático elevado en comparación con quienes entrenan de forma recreativa y no son atletas; confirmando que el acondicionamiento deportivo es una variable importante que influye en el control autónomo del corazón (Dong, 2016). Además, se ha constatado que los cambios favorables en el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y en los índices relacionados con la actividad parasimpática en corredores y corredoras de resistencia

durante la fase de preparación, fueron capaces de predecir el rendimiento en la carrera de 5 km (Fernandes Da Silva et al., 2014). En este sentido, se ha validado la utilización del método de la VFC para determinar el primero y segundo umbral de lactato durante una prueba de carrera máxima progresiva en cinta ergométrica (Nascimento et al., 2017).

Metodología para el monitoreo del estado de entrenamiento con la VFC

Para el propósito del monitoreo del estado de entrenamiento, el índice de la VFC mediado por la rama parasimpática con mayor respaldo para su uso práctico en el ámbito deportivo es la raíz cuadrada de la media, al cuadrado de las diferencias de los intervalos R-R normales sucesivos (RMSSD), ya que permite evaluar de manera confiable los cambios diarios en el estado de la función nerviosa vagal y el estado de entrenamiento del deportista (Bellenger *et al.*, 2016). En este sentido, un valor más alto de la RMSSD generalmente indica mayor actividad parasimpática, que se asocia con la recuperación y la adaptación después de un esfuerzo físico, como lo puede ser la sesión de entrenamiento o una competencia. Por el contrario, un descenso en la RMSSD puede ser indicativo de fatiga acumulada o estrés excesivo, por lo que monitorizar regularmente este indicador de la VFC puede colaborar en la identificación de patrones de fatiga, antes de que afecten el rendimiento, y permitir así al personal de entrenamiento realizar ajustes en la carga o buscar medidas de recuperación.

Al evaluar los cambios a largo plazo, se sugiere analizar los promedios semanales de por lo menos tres a cuatro mediciones por semana de RMSSD para aumentar la validez y expresar las fluctuaciones del día a día como el coeficiente de variación semanal ($RMSSD_{cv}$) (Flatt y Esco, 2016). Como en cualquier sistema de monitoreo, entre mayor cantidad de datos se recaben, la información será más consistente y se podrán tomar mejores decisiones para la retroalimentación del proceso de entrenamiento. Las y los atletas que se encuentran en mejor forma física tienden a mostrar menor fluctuación en sus valores diarios de la VFC; es decir, un índice

RMSSD_{cv} más pequeño (Flatt y Esco, 2016). Esto puede ser explicado, en parte, porque deportistas en mejor forma o mayor estado de entrenamiento han demostrado una reactivación del sistema parasimpático acelerado después del ejercicio intenso, en comparación con individuos en menor forma física (Fernandes Da Silva *et al.*, 2014). El RMSSD_{cv} se relaciona de manera inversa con los parámetros de aptitud física, como la velocidad aeróbica máxima, rendimiento de carrera intermitente y VO_{2max}, lo que se traduce en que menores valores de este indicador indican (al menos a nivel correlacional) mejores tiempos de carrera y condición física (Flatt y Esco, 2016).

Para identificar valores dentro de los rangos normales, Corrales *et al.* (2012) determinaron percentiles de la VFC en reposo de jóvenes deportistas en México con salud sana y activa de entre 18 y 24 años, y sugieren utilizar los percentiles del 75 al 90 como zona de alarma para promover acciones preventivas en el proceso de entrenamiento. En la tabla 1 se muestran los percentiles de RMSSD para hombres y mujeres tanto deportistas como activos. Este rango de percentiles propuesto puede servir de referencia para sugerir que se encuentra en un estado favorable de recuperación, lo que permite planificar sesiones de entrenamiento con mayor intensidad o frecuencia en un determinado ciclo de entrenamiento. De igual forma, utilizar la RMSSD y sus percentiles puede ayudar al personal de entrenamiento y deportistas a gestionar el proceso de preparación de manera efectiva para reducir el riesgo de lesiones. En este sentido, quien se encuentre por debajo del percentil 75 puede ser indicativo de un entrenamiento excesivo, y por encima del percentil 90 pudiera reflejar un estímulo de adiestramiento ínfimo, que se traduce en estancamiento de la mejora del rendimiento. Resulta relevante observar las diferencias entre las poblaciones analizadas tanto en hombres como en mujeres, siendo mayor en la población deportista, por lo que se pudieran tomar como referencia para indicar un estado de forma adecuado; sin embargo, estos percentiles pueden variar entre individuos, lo que hace que su interpretación sea más efectiva cuando se tiene en cuenta la línea de base personal de cada atleta al momento de iniciar una temporada o programa de entrenamiento.

Tabla 1

Percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 de RMSSD para hombres y mujeres deportistas y activos

	Percentiles de RMSSD (ms)						
	5	10	25	50	75	90	95
Hombres deportistas	37.61	39.65	48.13	63.26	98.11	140.25	159.54
Hombres activos	24	31.74	34.94	44.01	64.85	105.6	132.55
Mujeres deportistas	38.73	46.53	62.12	80.68	109.21	141.23	188.01
Mujeres activas	17.44	23.69	29.82	41.64	61.74	97.55	123.74

Fuente: Adaptado de Corrales et al. (2012).

Es importante señalar que estos datos son de un grupo poblacional y de rango de edad muy específico, por lo que se debe tener cautela al extrapolarlos a otro contexto. Diferencias en el tiempo de medición, la hora del día, la posición y el lugar, son algunos factores que pueden influir en los resultados de la VFC. Con relación al tiempo de grabación, se han validado las métricas de la VFC en reposo del dominio de tiempo ultra cortas (un minuto de estabilización y un minuto de grabación) comparadas con las grabaciones criterio (cinco minutos de estabilización y cinco minutos de grabación) tanto en posición acostada, sentada y de pie (Holmes *et al.*, 2020). Se recomienda ser consistente con la posición de grabación, es decir, mantener la misma posición durante todo el programa de entrenamiento, así como en la hora de grabación; por ejemplo, en la mañana, inmediatamente al despertar y de haber vaciado la vejiga urinaria (Flatt y Esco, 2016). Debido a que la respiración afecta a la FC, se recomienda durante las grabaciones no alterar voluntariamente ésta y mantener una respiración espontánea (Vesterinen *et al.*, 2016). Por último, se deben evitar movimientos durante las tomas de registro.

Otro punto importante a considerar es el dispositivo y aplicación con el que se realizará la medición de la VFC; en este sentido, existen diversas aplicaciones móviles y herramientas que permiten medirla, entre las que destacan: HRV4Training, Elite HRV, Kubios HRV, BioForce HRV y SweetBeat HRV. Es fundamental recalcar que, al utilizar estas aplicaciones, es esencial contar con un monitor de FC de calidad para obtener mediciones preci-

sas. Se han validado diversas correas de pecho de pulso cardiaco, como las bandas Polar H7 y H10, que en conjunto con alguna de las aplicaciones móviles señaladas para el procesamiento de las métricas son una solución viable para personal de entrenamiento y preparadores físicos. Por otra parte, también se pueden hacer grabaciones sin la necesidad de una banda de FC, esto es, a través de la fotopletismografía (PPG), la cual es una técnica no invasiva que permite medir la VFC mediante reflexión, a través de la iluminación del cambio de coloración de la piel por el flash y la cámara del teléfono celular, detectando el pulso cardiaco. La aplicación HRV4Training utiliza esta técnica y ha sido validada con el estándar de oro que es el electrocardiograma (Plews *et al.*, 2017). Otra solución tecnológica que se ha validado recientemente es el anillo *Oura ring* (Kinnunen *et al.*, 2020). La mayoría de estas aplicaciones móviles utilizan la RMSSD o una métrica derivada de éste dentro del algoritmo utilizado por su software, por lo que es fácil recabar el día a día en un sistema de monitoreo en corredores.

Entrenamiento del *running* guiado por la VFC

El entrenamiento óptimo depende de igualar la capacidad específica de una persona atleta, su músculo, fuerza, resistencia, explosividad, flexibilidad y adaptabilidad a la capacidad aeróbica, carga de entrenamiento y recuperación. Para este propósito, el uso de la VFC es una solución adecuada para el control de la carga que se aplica a quienes corren, ya que refleja los principales procesos reguladores después del ejercicio físico. Se ha observado en un grupo de atletas gran variación individual en la adaptación al entrenamiento después del entrenamiento de resistencia estandarizado (Vesterinen *et al.*, 2016). Es por ello que el principio de individualización de la planificación del entrenamiento es un factor clave para conseguir las cotas de rendimiento con eficacia.

En un estudio realizado por Nuuttila *et al.* (2017), compararon la periodización en bloque guiada por la VFC contra el entrenamiento periodizado de forma predeterminada por bloques de alta intensidad (HIT) para determinar los efectos sobre el rendimiento en carrera de resistencia, en la capacidad neuromuscular,

en la VFC y en las concentraciones sérica de testosterona. Para ello, 24 corredores hombres entrenados recreacionalmente fueron divididos en un grupo guiado por la VFC y en otro grupo de entrenamiento por bloques (EPB). Ambos grupos tuvieron un periodo de control de tres semanas y un periodo de entrenamiento de ocho semanas. Durante el periodo de control, todas las mañanas el grupo de VFC realizó el test de recuperación rápida para tomar como valores de referencia el promedio individual de cada corredor. En el grupo de EPB, el programa se dividió en semanas de bloque HIT y semanas de recuperación, mientras que en el grupo de VFC tenía los mismos modos de entrenamiento, pero el programa se dividió en seis bloques. Solo las sesiones de baja intensidad se realizaron en el grupo de VFC, siempre que el resultado de la prueba rápida de recuperación estuviera por debajo de los valores de referencia individuales. Ambos grupos mejoraron significativamente la velocidad máxima de la cinta de correr (V_{max}) y el rendimiento de carrera de 3 km, aunque en el grupo guiado por la VFC los cambios fueron mayores.

En otro estudio más reciente llevado a cabo por da Silva *et al.* (2019), con corredoras mujeres desentrenadas, encontraron que los efectos del entrenamiento guiado por la VFC fueron mayores que en un entrenamiento estandarizado tradicional. Para ello, reclutaron 30 mujeres de entre 18 y 35 años y las dividieron en dos grupos de 15 cada uno. Un grupo fue entrenado guiado con la VFC (VFCG) y el grupo de control (GC), siguiendo un programa previamente planificado, alternando entrenamiento continuo de intensidad moderada y entrenamiento interválico de alta intensidad. El grupo VFCG se basó en la VFC previo al entrenamiento para determinar si realizaba entrenamiento moderado o de alta intensidad; por ejemplo, si la VFC promedio presentaba <1 desviación estándar a las medidas previas se realizaba entrenamiento moderado para favorecer la recuperación y evitar la fatiga acumulada. Las mejoras en los tiempos de la prueba de 5 km fueron mayores en el grupo que fue entrenado mediante la VFC que en el grupo control.

Consideraciones finales

Debido a la variabilidad en la respuesta de atletas a programas de entrenamiento estandarizados, la individualización es el principio rector del que se dispone para evitar estímulos insuficientes que no consigan obtener la adaptación y el rendimiento deseado o cargas de entrenamiento excesivas que produzcan un estado de sobrecarga no funcional e incluso el sobreentrenamiento. En este sentido, diversos estudios demostraron que la VFC de cada deportista es una herramienta exitosa al momento de guiar la programación del entrenamiento. De la misma manera, con el uso de la VFC se puede obtener información que determine si el corredor está en condiciones adecuadas para confrontar una sesión de entrenamiento de elevada intensidad. Además, es recomendable interpretar estos resultados en el contexto individual y considerar otros factores, como la calidad de sueño, estrés psicosocial, alimentación y bienestar general. En este sentido, es relevante, que este tipo de monitorización fisiológica se complemente con el trabajo de un equipo multidisciplinario que permita abordar de manera holística las necesidades psicológicas, nutricionales, médicas, bioquímicas, biomecánicas y de rehabilitación.

En la actualidad existen escasos estudios que señalan la posibilidad de la programación del entrenamiento en intervalos de alta intensidad mediante la VFC, pero los datos preliminares muestran un notable resultado con perfeccionamientos en las adaptaciones cardiorrespiratorias y de rendimiento, además de reducir la variabilidad en los resultados y permitiendo un elevado nivel de individualización. También existen recursos tecnológicos (pulsómetros con registro R-R y softwares competentes para su análisis, aplicaciones para móviles, entre otros) que pueden facilitar el acceso al empleo de la VFC para la optimización del entrenamiento. Por último, el seguimiento de la VFC puede ser una herramienta poderosa, siempre y cuando su aplicación atienda a la individualidad de la persona deportista, la consistencia en las mediciones con equipo fiable, consideración de factores contextuales y asesoramiento de profesionales en las ciencias del deporte.

Referencias

- Bellenger, C.R.; Fuller, J.; Thomson, R.; Davison, D.; Robertson, E.Y 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: 1461-1486. DOI: 10.1007/s40279-016-0484-2
- Medina Corrales, M.; De la Cruz Torres, B.; Garrido Esquivel, A.; Garrido Salazar, M.A. y Naranjo Orellana, J. (2012). Normal Values of Heart Rate Variability at Rest in a Young, Healthy and Active Mexican Population. *Health*, 4: 377-385. DOI: 10.4236/salud.2012.47060
- Fernandes Da Silva, D.; Ferraro, Z.M.; Adamo, K.B. y Machado, F.A. (2019). Endurance Running Training Individually Guided by HRV in Untrained Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3): 736-746.
- Fernandes Da Silva, D.; Manzano Verri, S.; Yuzo Nakamura, F. y Andrade Machado, F. (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: 443-451. DOI: 10.1080/17461391.2013.832802
- Dong, J.-G. (2016). The Role of Heart Rate Variability in Sports Physiology. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11: 1531-1536.
- Fazackerley, L.A.; Fell, J.W. y Kitic, C.M. (2019). The Effect of an Ultra-Endurance Running Race on Heart Rate Variability. *European Journal of Applied Physiology*, 119: 2001-2009.
- Flatt, A.A. y 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: 378-385.
- Holmes, C.J.; Fedewa, M.; Dobbs, W.C.; Liu, Y.; Flatt, A.A.; Nakamura, F.Y. y Escoa, M. (2020). The Effects of Different Body Positions on the Accuracy of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Indexes. *The Journal of High Technology Management Research*, 100375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2020.100375>
- Kinnunen, H.; Rantanen, A.; Kenttä, T. y 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. DOI: 10.1088/1361-6579/ab840a

- Fernandes Nascimento, E.M.; Pedutti Dal Molin Beso, M.A.; Mireles Santos, T.; Lambert, M. y Olivares Pires, F. (2017). Determination of Lactate Thresholds in Maximal Running Test by Heart Rate Variability Data Set. *Asian Journal of Sports Medicine*, 8(3). DOI: <https://doi.org/10.5812/asjasm.58480>
- Nuutila, O.-P.; Nikander, A.; Polomoshnov, D.; Laukkanen, J.A. y Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-Guided *vs* Predetermined Block Training on Performance, HRV and Serum Hormones. *International Journal of Sports Medicine*, 38: 909-920. DOI: 10.1055/s-0043-115122
- Perez-Gaido, M.; Lalanza, J.F.; Parrado, E. y Capdevila, L. (2021). Can HRV Biofeedback Improve Short-Term Effort Recovery? Implications for Intermittent Load Sports. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 46(2): 215-226.
- Plews, D.J.; Scott, B.; Altini, M.; Mate, M.; Kilding, A.E. y Laursen, P. (2017). Comparison of Heart-Rate-Variability Recording with Smartphone Photoplethysmography, Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12: 1324-1328. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0668
- Singh, N.; Moneghetti, K.J.; Christle, J.W.; Hadley, D.; Frölicher, V. y Plews, D. (2018). Heart Rate Variability: An Old Metric with New Meaning in the Era of Using Health Technologies for Health and Exercise Training Guidance. Part Two: Prognosis and Training. *Arrhythmia & Electrophysiology Review*, 7: 247-255. DOI: 10.15420/aer.2018.30.2
- Vesterinen, V.; Nummela, A.; Heikura, I.; Laine, T.; Hynynen, E.; Botella, J. y Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48: 1347-1354. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000910