

<https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06802>

Actividad cardíaca vagal, volumen e intensidad de entrenamiento en una atleta de fondo keniana

Cardiac vagal activity, training mileage, and intensity in a Kenyan female distance athlete

Santiago Sanz-Quinto^{1,2}, Andrew Flat³, Gabriel Brizuela⁴, Raúl López-Grueso⁵ y Manuel Moya-Ramón^{2,6}

1. Comité Paralímpico Español. Madrid, España.
2. Departamento de Ciencias del Deporte, Universidad Miguel Hernández. Elche, Alicante, España.
3. Departamento de Ciencias de la Salud y Kinesiología, Georgia Southern University. Savannah, Georgia, Estados Unidos.
4. Departamento de Educación Física y Deportes. Universidad de Valencia, Valencia, España.
5. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Isabel I, Burgos, España.
6. Instituto para la Salud e Investigación Biomédica (ISABIAL-FISABIO Fundación), Alicante, España.

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar las oscilaciones de la actividad cardíaca parasimpática (ACP) en un mesociclo de una atleta keniana. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) se midió durante tres semanas. En la primera semana (W1) el volumen de entrenamiento fue 120,55 km, en la segunda (W2) 96,71 km y en la tercera (W3) 79,45 km. Se analizó la media semanal de los intervalos (R-R), la expresión logarítmica (Ln) del cuadrado de la raíz media de la unión de los intervalos R-R adyacentes (LnrMSSD), la desviación estándar de los intervalos R-R (LnSDNN), la frecuencia cardíaca media (FC) de cada sesión y las fluctuaciones diarias de LnrMSSD (LnrMSSDCV). Se observaron incrementos significativos en LnrMSSD y LnSDNN de W1 a W3. El LnrMSSDCV fue mayor en W1 comparado a W2 y W3. Este estudio de caso demostró que tanto el volumen como la intensidad de entrenamiento afectaron la ACP de la atleta. Esta monitorización podría ser una valiosa herramienta para prevenir el sobreentrenamiento.

Palabras clave: Sistema nervioso autónomo, Actividad cardíaca parasimpática, Runners kenianas, Atletismo, Resistencia, Mujer.

Abstract

The purpose of this study was to analyze cardiac-parasympathetic activity (CPA) oscillations in a Kenyan female distance athlete during a training mesocycle. Daily Heart Rate Variability (HRV) was assessed daily throughout a 3-week mesocycle. The training volume was 120.55 km, 96.71 km, and 79.45 km in the first (W1), second (W2), and third week (W3) respectively. Outcome measurements included the weekly averages of the beat-to-beat consecutive interval (R-R), the logarithmic expression (Ln) of the root mean square of successive R-R interval differences (LnrMSSD), the standard deviation of normal-to-normal R-R intervals (LnSDNN), the average heart rate (HR) of each workout, and the day-to-day fluctuations of the LnrMSSD (LnrMSSDCV). Significant increases were observed in LnrMSSD and LnSDNN from W1 to W3. LnrMSSDCV was greater in W1 compared to W2 and W3. This case study demonstrated that training volume and intensity affected athlete's CPA. Monitoring and tracking HRV might be a useful strategy to prevent from overtraining syndrome.

Key words: Autonomous nervous system, Parasympathetic cardiac activity, Kenyan runners, Athletics, Endurance, Women.

Correspondencia/correspondence: Manuel Moya-Ramón

Departamento de Ciencias del Deporte, Universidad Miguel Hernández. Elche, Alicante, España.

Email: mmoya@umh.es

Introducción

Los atletas de África Oriental de Etiopía y Kenya consiguen los mejores tiempos en medias maratonés y maratonés internacionales, a pesar de representar menos del 0,1 % de los competidores (Knechtle, Nikolaidis, Onywera, Zingg, Rosemann, y Rüst, 2016). Resulta sorprendente que desde el 1 de enero de 2020 hasta hoy, las mujeres que dominan el ranking de “*World Athletics*” en la prueba de maratón (<https://www.worldathletics.org>) son casi en su totalidad kenianas, pertenecientes a la etnia “*kalenjin*” (1^a, 4^a y 5^a posición). El dominio es abrumador si se considera que la segunda mujer del ranking “*Lonah Chemtai Salpeter*”, de nacionalidad israelita, nació en Kenya y pertenece a la etnia *kalenjin*. A ello hay que sumar que en la Maratón de Chicago de 2019, la atleta *kalenjin* “*Brigid Kosgei*”, estableció una nueva plusmarca en la distancia (02:14:04 h:min:s). Por otra parte, en el ranking masculino de maratón del mismo período, los atletas kenianos de la etnia *kalenjin* ocupan la 1^a, 2^a, 3^a, 5^a, 6^a, 7^a y 9^a posición. Además, la tribu *kalenjin* en Kenya, que cuenta con menos de cinco millones de personas (~10 % de los kenianos) es la etnia que representa a los mejores atletas kenianos (p.ej. *Eliud Kipchoge* y *Peres Jepchirchir*), los cuales, han sido estudiados al detalle por diversos investigadores (Saltin y col., 1995; Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, y Koralsztein, 2001). Al respecto, hay que destacar que las diez mejores marcas de maratón realizadas por atletas kenianos, pertenecen a los atletas *kalenjin*, con muy pocas excepciones como la de Catherine Ndereba (etnia *kikuyu*).

Por otro lado, una práctica común en el entrenamiento de resistencia llamada entrenamiento polarizado (EP), se caracteriza por alternar alto volumen con ejercicios de baja intensidad (HV) intensidades por debajo del umbral láctico, (Uan) y bajo volumen con entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) (Stöggl y Sperlich, 2014). Aproximadamente el 75 % de todo el volumen de entrenamiento se realiza por debajo del Uan y el 15-20 % del volumen total de entrenamiento se realiza a intensidad del Uan o por encima de éste (Stöggl y Sperlich, 2014). Estos autores alemanes, reportaron que el EP provoca mayores mejoras en variables clave de rendimiento en resistencia, por ejemplo, la mejora en el consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_{2max}$), comparado a los modelos HV, Uan y HIIT (Stöggl y Sperlich, 2014). En un estudio con atletas de élite kenianos, Billat y colaboradores declararon que el 78 % del entrenamiento se fundamentaba en alto volumen y baja intensidad de entrenamiento, el 4 % se realizaba cercano al Uan y el 18 % era realizado a intensidad del Uan o por encima de éste (Billat y col., 2001).

En el entrenamiento de deportistas de resistencia, es muy común la medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), la cual aporta información sobre la modulación autonómica del corazón (Buchheit y Gindre, 2006), reflejando las oscilaciones en los intervalos entre sucesivos latidos (R-R). Al respecto, se ha demostrado que la VFC se ve alterada significativamente durante períodos de entrenamiento de resistencia intensivos, tanto en triatletas, como en atletas (Uusitalo, Uusitalo, y Rusko, 2000). La VFC puede medirse fácilmente con registros breves de intervalos R-R, usando análisis del dominio temporal o dominio frecuencial (Task-Force, 1996). El análisis del dominio temporal incluye la medición del cuadrado de la raíz media de la unión de los intervalos R-R adyacentes (rMSSD), el cual, es el índice más usado en ciencias del deporte (Buchheit, 2014). La rMSSD se puede calcular con registros de breve duración (Al Haddad, Laurusse, Chollet, Ahmaidi, y Buchheit, 2011), siendo considerado un marcador de actividad parasimpática (Task-Force, 1996). La VFC se usa en ocasiones para monitorizar el estatus de entrenamiento de deportistas de resistencia (Plews, Laursen, Stanley, Kilding, y Buchheit, 2013; Sanz-Quinto, López-Grueso, Brizuela, Flatt, y Moya-Ramón, 2019), de hecho, la rMSSD ha sido identificada como un marcador importante de recuperación para la monitorización atlética día a día y el seguimiento de los

cambios a largo plazo del estado de forma (Buchheit y col., 2010; Flatt y Esco, 2016). En atletas entrenados, deben de obtenerse un mínimo de tres registros de VFC por semana para una apropiada evaluación de la respuesta al entrenamiento (Plews y col., 2013).

Por otro lado, la desviación estándar de todos los intervalos normales (NN) (SDNN) refleja los componentes cíclicos responsables de la variabilidad en el período del registro (Task-Force, 1996), habiéndose observado reducciones en este parámetro durante períodos de entrenamiento intensivo en corredores de media distancia (Pichot y col., 2000).

La actividad cardíaca parasimpática (ACP) se ve disminuida inicialmente tras el ejercicio (Seiler, Haugen, y Kuffel, 2007), retornando a los niveles previos al ejercicio en un plazo de 24 a 72 horas (Buchheit, Laursen, Al Haddad, y Ahmaidi, 2009). La línea temporal y amplitud de la respuesta cardíaca parasimpática posterior al ejercicio depende fundamentalmente de la intensidad del ejercicio. Por ejemplo, tras una sesión de componente aeróbico extensivo de baja intensidad, retorna en 24 horas, tras una sesión de intensidad al Uan lo hace en 24 a 48 horas y tras un ejercicio de máxima intensidad retorna en 48 horas o más (Stanley, Peake, y Buchheit, 2013), aunque la reactivación cardíaca parasimpática tras el entrenamiento de alta intensidad puede retrasarse en mujeres (Kiviniemi y col., 2010).

En individuos que exhiben fatiga, o una pobre respuesta al entrenamiento, se han observado reducciones y mayores fluctuaciones diarias en marcadores vagales de la VFC (Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2012; Flatt y Esco, 2016; Flatt, Hornikel, y Esco, 2017; Sanz-Quinto y col., 2019). Un estudio reciente con jugadores de rugby mostró que individuos que experimentaban menores fluctuaciones día a día en la rMSSD (representada por el coeficiente de variación, rMSSDCV) durante un período de entrenamiento intensificado, respondieron más favorablemente al estímulo (Flatt y Howells, 2019). Finalmente, una adaptación exitosa a un programa de entrenamiento de resistencia se refleja por un incremento en algunos índices vagales del dominio temporal de la VFC (Hynynen, Uusitalo, Konttinen, y Rusko, 2016), acompañado de un menor rMSSDCV (Flatt y Esco, 2016).

Cabe destacar que no ha sido aún analizada la respuesta de la VFC al entrenamiento en atletas kenianas, por lo que, en el presente estudio de caso, se midió la VFC en una atleta de fondo keniana durante un mesociclo de tres semanas en la temporada precompetitiva primaveral, con el objetivo de observar si variaciones en la distribución del volumen e intensidad de entrenamiento, afectaban la modulación cardíaca parasimpática.

Método

Participantes

El caso se centró en una atleta keniana de la tribu *kalenjin* (edad = 29 años; estatura = 1,51m; masa corporal = 47,0 kg; $\dot{V}O_{2max} = 58,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; $\dot{V}O_2$ en el segundo umbral ventilatorio (VT2) = $54,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; marca personal en 10 km ruta = 0h 40min 06s, conseguida a ~ 2400 m de altitud). La participante dio su consentimiento por escrito para la publicación del estudio de caso, que siguió los principios aprobados por el Comité de Investigación Ética de la Universidad Miguel Hernández, habiendo leído el manuscrito antes de la fecha de envío.

Diseño del estudio

Un estudio de caso de un único sujeto, presentando una atleta fondista keniana, fue llevado a cabo para determinar los efectos de un mesociclo (dos semanas de carga seguidas de una semana de tapering) sobre la actividad cardíaca autonómica. Los marcadores vagales de la VFC se midieron diariamente con una aplicación de un Smartphone. Los detalles, tales como los entrenamientos diarios, la estructura del programa de entrenamiento, la distancia diaria recorrida y la fluctuación de la VFC en el período de observación se presentan en la Figura 1.

SEMANA	DÍA	SESIONES (Nº)	DISTANCIA (Km)	ENTRENAMIENTO	DISTANCIA SEMANAL (Km)	LnrMSSDCV (%)	VFC
W1	1	2	22,4	Sesión Mañana: 16 km (VT1-VT2) Sesión Tarde: 30 min (<VT1) + Gym + Pliom	120,55	7,5	
	2	2	27,4	15,4 km Fartlek (1min-1min) 60 Min elíptica (<VT1)			↑
	3	2	16	9 km (<VT1) 7 km (<VT1)			↑
	4	2	22,4	16,4 km Fartlek (5min VT2 - 2min VT1) 30 min (<VT1) + Gym + Pliom			↓
	5	1	9	9 km (<VT1)			↑
	6	1	23,4	4 km (<VT1) + 5 x 80m + 17 km (VT2) + 2 km (<VT1)			↑
	7	0	0				↓
W2	8	2	25	19 Km (VT1-VT2) 30 min (<VT1) + Gym + Pliom	96,71	6,1	↑
	9	2	19,9	4,5 Km (<VT1) + 6,4 Km Fartlek (1min >VT2 - 1min <VT1) + 2.07 km (<VT1) 35 min Elíptica (<VT1)			↓
	10	2	17	11 Km (<VT1) 30 min elíptica (<VT1)			↓
	11	1	17,6	4,3 Km (<VT1) + 11,3 Km Fartlek (3min VT2-1min <VT1) + 2 Km (<VT1)			↓
	12	1	6	30 Min elíptica (<VT1)			=
	13	1	11,25	1,3 Km (<VT1) + 8 Km (VT2) + 2 Km (<VT1)			↑
	14	0	0				
W3	15	0	0		79,45	4,8	=
	16	2	21,4	5,4 Km (<VT1) + 2 x 4 Km (>VT2) + 4 Km (<VT1) 3 Km (<VT1) + Gym + Pliom			=
	17	1	8,7	8,7 Km (<VT1)			↑
	18	1	17,1	3,6 Km (<VT1) + 11,2 Km Fartlek (2min VT2 + 1min VT1) + 2,3 Km (<VT1)			=
	19	1	11	11 Km (<VT1)			↓
	20	1	21,3	1,9 Km (<VT1) + 12 Km (VT2) + 7,5 Km (<VT1)			↑
	21	0	0				↓

Figura 1. Estructura del programa de entrenamiento.

VFC en referencia a las oscilaciones diarias del LnrMSSD. El LnrMSSDCV se calculó de acuerdo con la fórmula (DE/Media) x 100 (Flatt y Esco, 2016).

Test incremental

Se realizó siete días antes del mesociclo de observación en el tapiz rodante de un gimnasio (Iten, Kenya) a 2370 m de altitud (equivalente a una $FiO_2 = 0,153$ %). La frecuencia cardíaca (FC) se grabó de manera continua usando un pulsómetro (M400 Polar Electro, Kempele, Finland). El consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$) se midió respiración a respiración durante el test, usando un ergoespirómetro portátil (K4 b², COSMED, Rome, Italy). Se estimó el máximo consumo de oxígeno ($\dot{V}O_{2max}$), y la velocidad aeróbica máxima (VAM). El primer umbral ventilatorio (VT1) fue estimado cuando la atleta estaba corriendo a 11 km·h⁻¹, con un $\dot{V}O_2$ relativo de 33,4 ml·kg⁻¹·min⁻¹ y una FC de 143 latidos·min⁻¹. El segundo umbral ventilatorio (VT2) fue estimado cuando la atleta estaba corriendo a 15 km·h⁻¹, con un $\dot{V}O_2$ relativo de 54,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹ y una FC de 166 latidos·min⁻¹. Además, la VAM se estimó a 19 km·h⁻¹, alcanzando la meseta del $\dot{V}O_{2max}$ con un $\dot{V}O_2$ relativo de 58,3 ml·kg⁻¹·min⁻¹ y una FC de 183 latidos·min⁻¹. Tras analizar todos los datos, se fijó la siguiente distribución de intensidades de carrera: <VT1 = por debajo de 143 latidos·min⁻¹; VT1+5% = entre 143 y 150 latidos·min⁻¹; VT1-VT2 = entre 151 y 165 latidos·min⁻¹; VT2+5% = entre 166 y 174 latidos·min⁻¹; >VT2 = por encima de 174 latidos·min⁻¹. La distancia y FC fueron analizadas durante cada sesión de entrenamiento, usando el mismo pulsómetro que en el test incremental.

Estructura de entrenamiento

El volumen de entrenamiento y número de sesiones disminuyeron progresivamente de la primera a la tercera semana (W1, W2, W3). Se diseñó una estructura de EP, alternando rodajes moderados entre (VT1, VT2), rodajes mixtos (p. ej. fartlek), rodajes regenerativos (<VT1) y rodajes de larga duración a VT2 (p. ej. carrera continua intensiva) (Figura 1).

Medición de la VFC

La VFC fue medida diariamente al levantarse en ayunas durante cinco minutos en posición decúbito supino, como se recomienda en la literatura (Task-Force, 1996), aunque no se controló la temperatura de la habitación. La VFC se grabó con una banda de pecho con Bluetooth (H7 Polar Electro, Kempele, Finland), sincronizada con una aplicación de smartphone gratuita (Elite HRV, Asheville, North Carolina, USA), previamente validada (Flatt y Howells, 2019). La rMSSD fue elegida el índice principal para medir VFC (Buchheit, 2014). El rMSSDCV se calculó de acuerdo a la fórmula (DE/Media) x 100 para W1 a W3, usándose como un indicador de adaptación al entrenamiento (Flatt y Esco, 2016). Para el análisis de la VFC también se consideró el intervalo de un latido a otro latido consecutivo (R-R) y la SDNN.

Análisis estadístico

Se examinó la distribución de cada variable con la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Se aplicaron transformaciones logarítmicas naturales (Ln), tanto a la rMSSD como a la SDNN. Todos los datos se expresan como media ± desviación estándar.

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas para todas las variables (volumen de entrenamiento diario, duración de entrenamiento diario, LnMSSD, R-R, LnSDNN, FC durante el entrenamiento (FC_{ex}), tiempo por debajo de VT1 (<VT1), un 5 % por encima de VT1 (VT1+5%), entre VT1 y VT2 (VT1-VT2), un 5 % por encima de VT2 (VT2+5%) y por encima de VT2 (>VT2), incluyendo el factor TIEMPO con los niveles W1, W2 y W3. Un test post hoc LSD de rango múltiple determinó diferencias entre los niveles de factores. La magnitud de cambio (W1-W2;

W2-W3; W1-W3) para el volumen diario semanal, el LnrMSSD, el intervalo R-R, el LnSDNN y la FCex fueron calculados usando la “d” de Cohen, interpretándola como trivial ($d \leq 0,19$), pequeña (0,20-0,49), mediana (0,50-0,79) y grande ($d \geq 0,80$) (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para el LnrMSSD, el intervalo R-R y el LnSDNN con el volumen de entrenamiento del día previo, duración del entrenamiento del día previo y tiempo invertido en entrenamiento el día previo en $<VT1$, $VT1+5\%$, $VT1-VT2$, $VT2+5\%$ y $>VT2$. Para todos los tratamientos estadísticos se consideró un Alpha = 0,05 y se utilizaron los paquetes estadísticos SPSS (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) versión 22.0 y Statgraphics (STSC, Inc., Rockville, MD, US) versión 16.1.17.

Resultados

Como se muestra en la Figura 1, el mayor volumen de entrenamiento semanal se obtuvo en W1 (120,55 km) seguido de W2 (19,8 % menos que en W1) y de W3 (17,9 % menos que en W2). La distancia diaria cubierta disminuyó de W1 ($20,1 \pm 5,9$ km) a W2 ($16,1 \pm 6,1$ km) ($d = 0,66$) y de W1 a W3 ($15,5 \pm 6,3$ km) ($d = 0,75$ km). No se encontraron diferencias entre el tiempo de entrenamiento invertido, aunque sí se ha observado que el 73,5 % (60877 s) de todo el entrenamiento se realizó por debajo de VT2, mientras que el 26,5 % (21915 s) se hizo a intensidad igual o superior a VT2.

En la Tabla 1 se muestran los valores de marcadores vagales de la VFC y la FCex.

Tabla 1. Índices del dominio temporal de la VFC semanales y FC durante el entrenamiento.

Parámetro VFC	W1	W2	W3	d Cohen W1-W2	d Cohen W2-W3	d Cohen W3-W1
R-R (ms)	$1010,3 \pm 26,5$	$1069,7 \pm 35,6^*$	$1026,7 \pm 59,9$	-1,89	0,87	0,35
LnrMSSD (ms)	$3,9 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,25$	$4,3 \pm 0,21^*$	-0,72	-0,87	1,54
LnSDNN (ms)	$4,2 \pm 2,9$	$4,3 \pm 3,0$	$4,6 \pm 3,1^*$	-0,03	-0,09	0,13
FCex ($\text{lat} \cdot \text{min}^{-1}$)	$154,1 \pm 15,0$	$148,0 \pm 18,8^{\&}$	$153,6 \pm 20,6^{\&\#}$	0,36	-0,28	-0,02

* Diferencias desde W1 ($p < 0,05$); & Diferencias desde W1 ($p < 0,01$); #Diferencias desde W2 ($p < 0,01$).

En la Figura 2 se observa un gráfico de dos marcadores de la VFC relacionados con la distribución de la intensidad y distancia de la sesión realizada el día anterior. En la misma se observan disminuciones significativas del LnrMSSD, cuando el día anterior se han realizado sesiones a alta intensidad (p. ej. fartlek del duodécimo día o repeticiones por encima de VT2 en el decimoctavo día). Este marcador vagal, no fue tan sensible a días con grandes volúmenes de entrenamiento, realizados el día anterior (véase en la figura los días 3, 5, 7, 9, 10, 17 y 21 de registros).

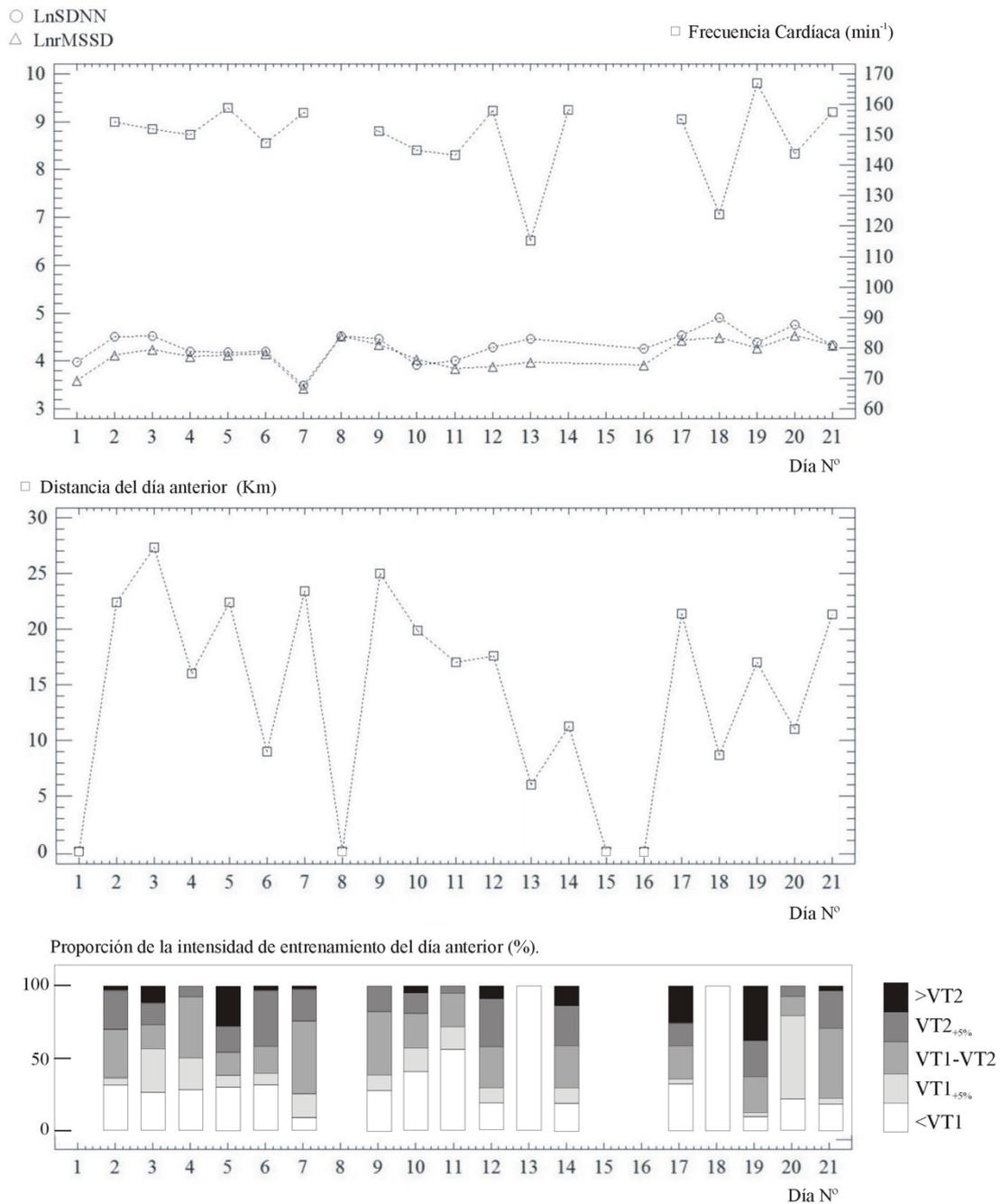


Figura 2. Oscilación de la VFC y la distribución de intensidades más volúmenes del entrenamiento del día anterior.

En la Figura 3 se muestra un gráfico del LnrMSSD, el LnrMSSDCV, la distancia total semanal y la distribución de la intensidad de entrenamiento. Cabe destacar el descenso progresivo a lo largo del mesociclo del LnrMSSDCV (7,5 % en W1; 6,1 % en W2; 4,8 % en W3), aun no observándose diferencias significativas ($p > 0,05$) en el LnrMSSD entre los distintos microciclos.

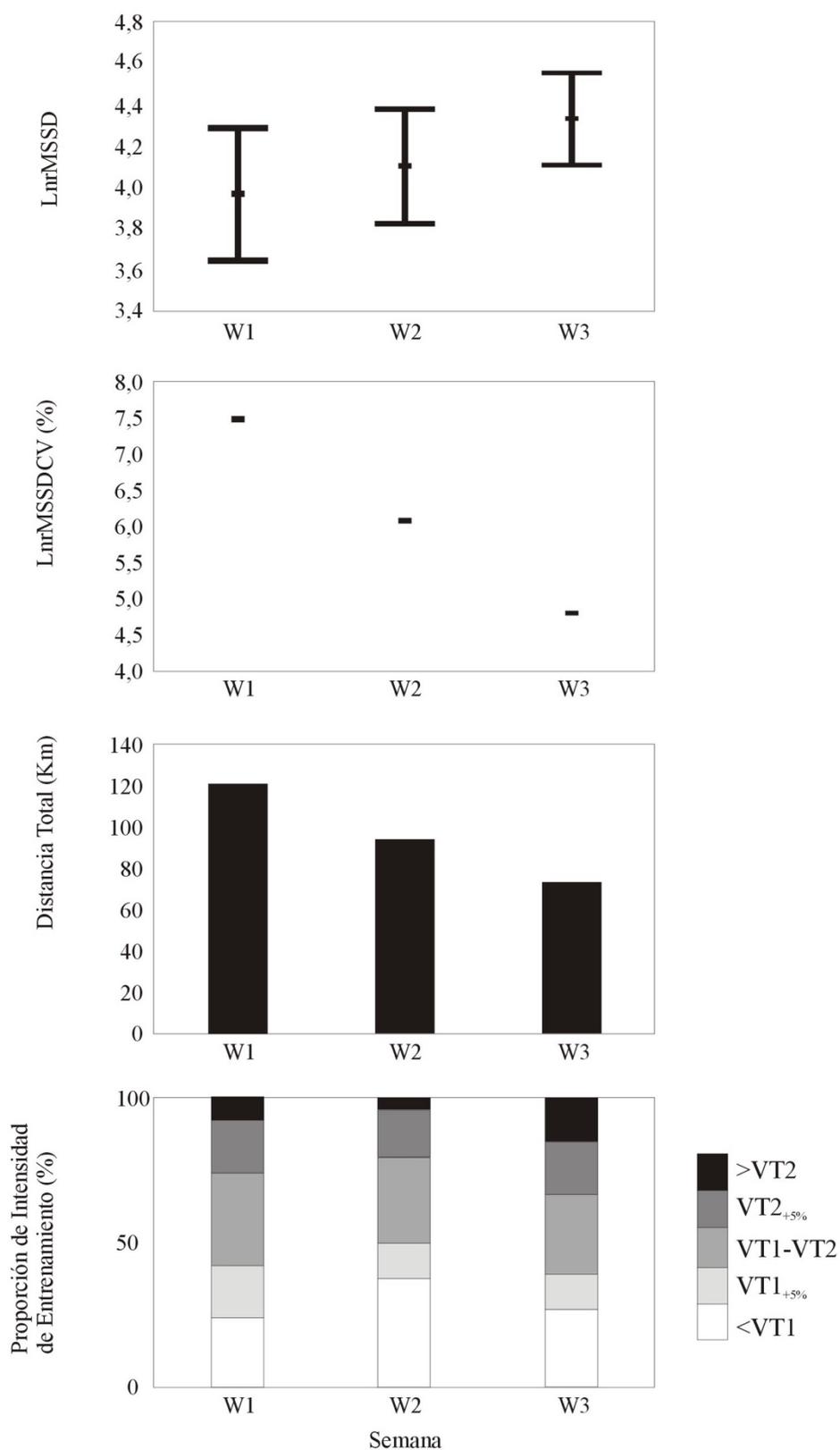


Figura 3. LnrMSSD, LnrMSSDCV, distancia semanal de entrenamiento y distribución semanal de entrenamiento.

No se encontró correlación significativa entre ningún parámetro de la VFC y el tiempo de ejecución (a cualquier intensidad de entrenamiento) del día anterior. Sin embargo, se encontró una correlación negativa entre el intervalo R-R y la cantidad de kilómetros realizada el día anterior ($r = -0,57$; $P = 0,011$), así como entre el intervalo R-R y la duración del entrenamiento del día anterior ($r = -0,48$; $P = 0,0398$). El intervalo R-R también resultó sensible al tiempo de entrenamiento realizado el día anterior en VT1-VT2 ($r = -0,47$; $P = 0,041$) y VT2_{+5%} ($r = -0,49$; $P = 0,033$).

Discusión

Este estudio de caso demuestra que el volumen e intensidad de entrenamiento durante un mesociclo de tres semanas afectó la ACP en una atleta de fondo keniana.

Resulta interesante el incremento significativo observado en el intervalo R-R cuando el volumen de entrenamiento descendió casi un 20 % desde W1 a W2, pudiendo reflejar un aumento del tono cardíaco vagal. Una respuesta similar ha sido observada entre diez atletas sanos expuestos a un entrenamiento físico de máxima demanda fisiológica durante una concentración de dos semanas, donde el intervalo R-R se redujo significativamente, regresando a valores similares a la línea basal después de una semana de recuperación (Baumert y col., 2006).

El LnrMSSD fue significativamente mayor en W3 comparado a W1, con una magnitud de cambio grande ($d = 1,54$), algo que interpretamos como un aumento del tono cardíaco vagal y una adaptación positiva al programa de entrenamiento (Uusitalo y col., 2000). El menor LnrMSSD observado en W1 se explica, dada una mayor intensidad de entrenamiento que la prescrita por el entrenador (22 % más del tiempo en VT2_{+5%} y 18 % más del tiempo por encima de VT2). Por ejemplo, en el segundo día la atleta corrió un 39,3 % en VT2_{+5%} mientras que la intensidad prescrita fue entre VT1 y VT2. En el cuarto día se prescribió entrenamiento a intensidad por debajo de VT1, sin embargo, el 72 % fue realizado por encima de VT1. De forma similar, el sexto día la atleta completó el 39,3 % del entrenamiento entre VT1 y VT2, en lugar de la intensidad prescrita por debajo de VT1. Las sesiones a intensidad por debajo de VT1 se prescribieron el día posterior a una sesión exigente y precedían sesiones intensas (Figura 1) con el fin de facilitar la restauración del tono cardíaco vagal, como recomiendan algunos investigadores (Seiler y col., 2007), de hecho, en el decimoctavo día, tras completar una sesión en su totalidad por debajo de VT1, el LnrMSSD fue un 6,3 % mayor que el observado el día previo, alcanzando el valor más elevado del mesociclo. Esto también ocurrió en el decimotercer día tras un rodaje de recuperación por debajo de VT1, donde el LnrMSSD fue un 2,1 % mayor que el día previo (Figura 2). Finalizar las sesiones a intensidades más elevadas que la prescrita, fue debido al hecho de que la atleta entrena con un grupo avanzado y se esforzaba para mantener el ritmo del grupo. Dado que las sesiones intensas no se combinaron con sesiones livianas de recuperación por debajo de VT1, la estructura de entrenamiento seguida no fue la caracterizada por el EP, tal como se ha reportado previamente en un estudio con atletas keniatas de élite (Seiler y col., 2007), sin embargo, en línea con nuestros hallazgos, el porcentaje de trabajo realizado por debajo del Uan (73,5 %) va en concordancia a la distribución de la intensidad del EP en deportistas de resistencia (Stöggl y Sperlich, 2014).

Debemos considerar que un signo de adaptación positiva al entrenamiento es mostrar una disminución menor en el LnrMSSD cuando los deportistas se exponen a estímulos similares (Flatt y Esco, 2016; Flatt y Howells, 2019). De esta forma, sesiones de entrenamiento similares se realizaron el segundo día (16 km, 47,1 % entre VT1 y VT2,

el siguiente día el LnrMSSD fue 4,12) y noveno día (19 km, 52,2 % entre VT1 yVT2, el siguiente día el LnrMSSD fue 4,24). La atleta también completó sesiones similares de fartlek en el duodécimo día (11,2 km, 8,3 % por encima de VT2, el siguiente día el LnrMSSD fue 3,89) y el decimonoveno día (11,3 km, 37,2 % por encima de VT2, el siguiente día el LnrMSSD fue 4,27). En ambas ocasiones el LnrMSSD del día posterior a la sesión fue mayor tras la segunda exposición, teniendo en cuenta que en la segunda sesión de fartlek, el porcentaje de tiempo por encima de VT2 fue un 28,9 % superior al mismo fartlek, realizado una semana antes.

Conforme el volumen semanal fue disminuyendo, las fluctuaciones diarias de la VFC disminuyeron, lo que podría reflejar una mejor adaptación al programa de entrenamiento, debido a una menor perturbación en la homeostasis de la modulación cardíaca vagal. El mayor LnrMSSDCV en W1 estuvo bastante influenciado por la reducción (17,6 %) en el LnrMSSD tras la sesión más larga de alta intensidad, realizada el séptimo día (17 km a 2400 m altitud) (Figura 2). Recientemente se han publicado respuestas similares en un maratoniano de élite en silla de ruedas que mostró una reducción del LnrMSSD del 17,5 % tras una maratón realizada a nivel del mar, donde la intensidad de la prueba osciló el VT2 (Sanz-Quinto y col., 2018), indicando que la supresión del tono cardíaco vagal puede ser reflejo de una disminución del LnrMSSD tras rodajes intensos de larga duración. La posterior reducción del LnrMSSDCV en W3, teniendo en cuenta el incremento significativo de la FCex en esta semana, indicó que el atleta experimentó una menor fluctuación en el LnrMSSD, a pesar de una mayor intensidad del entrenamiento, aunque debemos ser cautos, pues la atleta realizó una sesión menos de entrenamiento.

En línea con nuestros hallazgos, Pichot y colaboradores (Pichot y col., 2000) encontraron una reducción del 21,9 % en la SDNN al final de tres semanas de sobrecarga ($167,8 \pm 51,5$, $155,2 \pm 33,2$, $148,5 \pm 43,5$ ms) comparado a la semana de tapering ($190 \pm 67,7$ ms) en siete mediofondistas bien entrenados. En la atleta del presente estudio, el LnSDNN fue un 30 % más elevado en W3 comparado a W1 (-37,7 % kilometraje semanal), sin embargo, la SDNN no es un marcador puramente vagal como la rMSSD, habiendo sido descrito como un marcador simpático-vagal en humanos (Stanley y col., 2013).

Conclusión

La mayoría de los atletas keniatas, etíopes, ugandeses y eritreos, no monitorizan sus entrenamientos con pulsómetros. La falta de datos fisiológicos objetivos podría limitar sus respuestas adaptativas al entrenamiento, lo que podría conllevar a un aumento de riesgo de sobreentrenamiento, de hecho, en este estudio se pone de manifiesto que la valoración subjetiva del entrenamiento en una atleta de fondo keniana, puede conllevar a respuestas desadaptativas, no deseadas por el entrenador (p.ej. días de carga liviana con objetivo de recuperación, se convierten en días de sobrecarga, por entrenar a intensidades más elevadas, no prescritas por el entrenador). Por tanto, la implementación de registros de FC en el entrenamiento y durante el reposo podría ser útil para los entrenadores, de cara a conocer de forma precisa la distribución de la carga de entrenamiento y las alteraciones del control del tono cardíaco vagal, permitiendo a estos, diseñar estructuras de entrenamiento que se ajusten a la respuesta adaptativa/desadaptativa del deportista, además de que este sistema, permitiría a los atletas, ajustar su intensidad de entrenamiento a la que se especifica en el programa.

Por último, cabe destacar que este es el primer estudio de caso en analizar la actividad cardíaca autonómica vagal en una corredora africana oriental, abriendo la puerta a estudios con mayores muestras que podrían incrementar la eficacia de programas de entrenamiento de las/los atletas de larga distancia más rápidas/os del mundo.

Referencias

- Al Haddad, H.; Laursen, P.B.; Chollet, D.; Ahmaidi, S., & Buchheit M (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598-605. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275356>
- 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>
- Billat, V.L.; Demarle, A.; Slawinski, J.; Paiva, M., & Koralsztein, J.P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(12), 2089-2097. <https://doi.org/10.1097/00005768-200112000-00018>,
- Buchheit, M., & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(1), H451-H458. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00008.2006>
- Buchheit, M.; Laursen, P.B.; Al Haddad, H., & Ahmaidi, S. (2009). Exercise-induced plasma volume expansion and post-exercise parasympathetic reactivation. *European Journal of Applied Physiology*, 105(3), 471-481. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0925-1>
- 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>
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5 FEB(February), 1-19. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- 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>
- Flatt, A.A.; Hornikel, B., & Esco, M.R. (2017). Heart rate variability and psychometric responses to overload and tapering in collegiate sprint-swimmers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(6), 606-610. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.10.017>
- Flatt, A.A., & Howells, D. (2019). Effects of varying training on heart rate variability and running performance among an Olympic rugby sevens team. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(2), 222-226. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.07.014>

- Hopkins, W. G.; Marshall, S. W.; Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-1.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hynynen, E.S.; Uusitalo, A.; Konttinen, N., & Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(2), 313-317.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000184631.27641.b5>
- 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>
- Knechtle, B.; Nikolaidis, P.T.; Onywera, V.O.; Zingg, M.A.; Rosemann, T., & Rüst, C.A. (2016). Male and female Ethiopian and Kenyan runners are the fastest and the youngest in both half and full marathon. *Springerplus*, 29 FEB(February), 223.
<https://doi.org/10.1186/s40064-016-1915-0>
- Pichot, V.; Roche, F.; Gaspoz, J. M.; Enjolras, F.; Antoniadis, A.; Minini, P.; ... Barthélémy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729-1736.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00011>
- 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.
<https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Plews, D. J.; Laursen, P. B.; Stanley, J.; Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773-781.
<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Saltin, B.; Larsen, H.; Terrados, N.; Bangsbo, J.; Bak, T.; Kim, C.K.;... Rolf, C.J. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 209-221.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1995.tb00037.x>
- Sanz-Quinto, S.; Brizuela, G.; López-Grueso, R.; Flatt, A.A.; Aracil-Marco, A.; Reina, R., & Moya-Ramón, M. (2018). Monitoring heart rate variability before and after a marathon in an elite wheelchair athlete: A case study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(4): 557-562.
<https://doi.org/PMC6243632>
- Sanz-Quinto, S.; López-Grueso, R.; Brizuela, G.; Flatt, A.A., & Moya-Ramón, M. (2019). Influence of training models at 3,900-m altitude on the physiological response and performance of a professional wheelchair athlete: A case study. *Journal of Strength Conditioning and Research*, 33(6): 1714-1722.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002667>
- Seiler, S.; Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1366-1373.
<https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d>

Sanz-Quinto, S.; Flat, A.; Brizuela, G.; López-Grueso, R., y Moya-Ramón, M. (2022). Actividad cardíaca vagal, volumen e intensidad de entrenamiento en una atleta de fondo keniata. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 68(18), 86-98. <https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06802>

Stanley, J.; Peake, J. M., & Buchheit, M. (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sports Medicine*, 43(12), 1259–1277.

<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>

Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high-volume training. *Frontiers in Physiology*, 4 FEB(February), 33.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00033>

Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17, 354–381.

<https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>

Uusitalo, A.L.; Uusitalo, A.J., & Rusko, H.K. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1) 45-53.

<https://doi.org/10.1055/s-2000-8853>