

Training load and heart rate variability in acute exposure to hypobaric hypoxia: A case study

Carga de entrenamiento y variabilidad de la frecuencia cardiaca en una exposición aguda a la hipoxia hipobárica: Estudio de caso

Claudio Nieto-Jiménez^{1*}, A. Espinoza-Salinas¹, Diego Valenzuela Pérez¹, Raimundo Sánchez²,
Manuela Besomi³

¹ Laboratorio de Análisis del Movimiento Humano, Escuela de Kinesiología, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile.

² Universidad Adolfo Ibáñez, Chile.

³ Universidad del Desarrollo, Chile.

* Corresponding author name: Claudio Nieto-Jiménez; claudionietojimenez@gmail.com

ABSTRACT

Aim: To analyze the control of training load for an acclimatization strategy employed by two amateur athletes (female and male) prior to a successful ascent to 5460 meters. **Methodology:** Baseline heart rate variability (HRV) measurements were taken for 195 consecutive days. Four blood samples were taken the week before the main event (Pre), pre-ascent (Pre A), post-ascent (Post A), and one-week post-ascent (Post C). **Results:** Daily morning HRV recordings were useful for monitoring the state of sympathetic-parasympathetic balance in mountaineers prior to tackling training sessions. Both subjects had increased leukocytes and neutrophil levels, exhibiting variations over 60% between pre-A and post-B conditions. Erythrocytes, hematocrit, and haemoglobin decreased after acute exposure to 5460 m, coinciding with changes in platelet levels between both subjects (-3% and -51%). **Conclusions:** Daily morning and 5-min HRV recordings are a useful way for monitoring the state of sympathetic-parasympathetic balance. Significant changes were observed in some white blood cells.

KEYWORDS

HRV; Hypobaric hypoxia; Trail runners

RESUMEN

Objetivo: Analizar el control de la carga de entrenamiento en la estrategia de aclimatación empleada por dos atletas amateur (mujer y hombre) antes de una ascensión exitosa a 5460 metros. **Metodología:** Durante 195 días consecutivos se realizaron mediciones basales de variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC). Se obtuvieron cuatro muestras de sangre durante la semana previa al evento principal (Pre), inmediatamente antes de la ascensión (Pre A), después (Post A) y una semana de recuperación (Post C). **Resultados:** Los registros diarios de VFC matutinos parecen ser una forma útil para monitorizar el estado de equilibrio simpático-parasimpático en montañistas antes de abordar las sesiones de entrenamiento. Se observó que ambos sujetos aumentaron sus niveles de leucocitos y neutrófilos exhibiendo variaciones sobre 60% entre las condiciones pre A y post B. Eritrocitos, hematocrito y hemoglobina presentaron tras la exposición aguda a 5460 m disminuciones, lo que coincide con las diferencias porcentuales en plaquetas entre ambos sujetos (-3% y -51%). **Conclusiones:** Los registros diarios de VFC matutinos y de 5 minutos de duración parecen ser una forma útil para monitorizar el estado de equilibrio simpático-parasimpático. Se observaron cambios significativos en algunas células de la serie blanca.

PALABRAS CLAVE

VFC; Hipoxia hipobárica; Corredores de senderos

1. INTRODUCCIÓN

Completar un ascenso y un descenso a gran altura en el menor tiempo posible requiere el control de la cargas de entrenamiento, distinguiéndose por una parte la carga administrada o carga externa (CE) y por otra, como cada sujeto responde a ella, denominada carga interna (CI) (Nieto et al 2020) especialmente cuando se realiza en condiciones de altitudes sobre 5000 metros. Una exposición aguda a estas altitudes impondrá un estrés metabólico severo, provocando respuestas inmunológicas, hematológicas y cardiovasculares, siendo las respuestas respiratorias las inmediatas para asegurar un suministro energético adecuado debido al nivel de demanda física (Nieto et al 2019).

Algunos estudios han informado que los atletas frente a los sujetos no entrenados pueden mostrar anomalías hematológicas en condiciones de hipoxia hipobárica y niveles reducidos de hemoglobina, cerca o debajo del límite inferior del rango normal (Muza, 2007). Otros estudios han demostrado que algunas células de la serie roja aumentan después de tres semanas de entrenamiento de biatlón

(Heinicke et al., 2005). En cuanto a las respuestas leucocitarias, Klokker y colaboradores (1993) observaron un aumento de las concentraciones de leucocitos en condiciones hipobáricas durante un periodo de 20 minutos debido a una mayor concentración de linfocitos. Asimismo, según Niess y colaboradores (2003), la concentración de neutrófilos aumenta tras un entrenamiento intermitente extensivo a 1.800 m de altitud, en comparación con dicho entrenamiento a nivel del mar.

Al existir alteración homeostática en la altitud inducida por fatiga aguda (Hematy et al, 2014), el equilibrio simpático-parasimpático también se comprometerse. Bajo esta perspectiva, la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) resulta ser un método no invasivo útil para determinar la implicación del sistema nervioso autónomo en estados de fatiga y asimilación de cargas de entrenamiento (Michel et al 2017; Nieto et al, 2022). De las variables de VFC, la RMSSD (raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes) (Task Force, 1996) es el estadístico más utilizado en el deporte debido al menor coeficiente de variación en comparación con otros índices (Michael et al., 2016, Nieto et al, 2022). Además, el gráfico de dispersión de Poincaré proporciona información acerca de las ramas simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo (Tulppo et al., 1996) a través de sus diámetros transversal (SD1) y longitudinal (SD2). Dado que el SD2 es un indicador inverso de actividad simpática, se puede calcular el índice de estrés (SS) como el inverso de SD2 multiplicado por 1000 como un indicador directo de actividad simpática (Naranjo Orellana et al., 2015).

Actualmente, las tecnologías digitales han permitido analizar las sesiones de entrenamiento y la fatiga de los atletas. Uno de los sistemas disponibles es un software denominado Training Peaks™ (Boulder, CO) (Halsón, 2014, Ryba, J. 2022) que proporciona información sobre la sesión de entrenamiento. Además, utiliza la calificación del esfuerzo percibido de la sesión de entrenamiento (sRPE) (Foster C. 1995) y la puntuación de carga de entrenamiento (TSS). El TSS se puede calcular a partir de medidores de potencia en ciclismo, ritmo en min/km para la carrera y utiliza un factor de intensidad (IF) basado en un número compuesto que tiene en cuenta la duración y la intensidad de un entrenamiento (Coggan 2006, Skiba, P. F. 2006, Halsón, 2014, Ryba, J. 2022). Por definición, una hora dedicada a una prueba de carga constante se denomina umbral de potencia funcional (por sus siglas en inglés FTP) equivale a 100 puntos.

Comparar la monitorización del entrenamiento y la estrategia de aclimatación empleada por dos atletas amateur antes de una ascensión exitosa 5460 metros diferenciando en su preparación en uno de ellos una competencia de 1000 km en ciclismo de montaña y el otro atleta con una metodología de entrenamiento basada en Trail runners (TR), requiere del control y monitorización de las cargas de

entrenamiento. Es por esta razón, que el presente estudio de caso describe una metodología de seguimiento durante cinco meses de dos atletas amateur utilizando las variables del SS y de la RMSSD como medidas de control de carga para analizar la preparación para una ascensión a 5460 metros explorando las variables inmunológicas y hematológicas pre y post ascensión.

2. MÉTODOS

2.1. Participantes

Se monitorizó a dos atletas (mujer y hombre) de categoría amateur nacional (23 años, 54 kg, 163 cm y 34 años, 53kgs y 172 cm) durante una temporada competitiva de 5 meses preparativas para el evento principal de una ascensión a 5460 metros en formato TR. Estas temporadas incluyeron competencias previas al evento principal, para el caso de la mujer (sujeto 1), consideró una ascensión previa a 6500 metros y para el caso del hombre (sujeto 2) una competencia previa de 1000 km en ciclismo. Ambas pruebas precedentes al evento principal fueron planificadas bajo un diseño diferenciado de entrenamiento, es decir, ocurrieron con la misma anticipación (dos semanas) del evento principal (ascensión a 5460 metros).

Los sujetos fueron informados del procedimiento que se seguiría y dieron su consentimiento por escrito para participar en el estudio, que siguió los principios expresados en la Declaración de Helsinki (The World Medical Association, 2018).

2.2. Procedimiento

Durante 5 meses, cada día al despertar se realizaron mediciones basales de VFC a las 06:00 am en posición supino durante 5 minutos. Se utilizó un pulsómetro Polar V800 (Polar, Kempele, Finland) con banda torácica, validado para mediciones de VFC (Giles, Draper, & Neil, 2016). La serie de tiempo RR de este dispositivo fue descargada mediante cable USB utilizando la correspondiente aplicación de la marca Polar FlowSync (versión 3.0.0.1337) y posteriormente analizada con el software Kubios HRV (versión 3.1.0, University of Eastern Finland, Kuopio, Finland). Cada registro se analizó previamente para detectar la posible presencia de artefactos y/o latidos anómalos, aplicando los filtros correspondientes en caso necesario.

Como variable del dominio de tiempo para evaluar la actividad parasimpática se calculó la RMSSD en ms (Task Force, 1996). Por otra parte, a partir del SD2 del gráfico de dispersión de Poincaré

(Tulppo et al., 1996) se calculó el índice de estrés (SS) (Naranjo Orellana et al., 2015) como indicador de actividad simpática. Por último, el cociente entre el SS y SD1 nos informó de la relación entre el sistema nervioso simpático y parasimpático (Ratio S/Ps) (Naranjo Orellana et al., 2015).

2.3. Uso de la plataforma Training Peaks™

Se realizaron evaluaciones de VO₂max y de umbrales ventilatorios previos al mesociclo de preparación. Para el atleta 1 fue de 64 ml/min/kg (186 l.p.m), primer umbral ventilatorio (VT1) de 33 ml/min/kg (129 l.p.m) y segundo umbral ventilatorio (VT2) de 56 ml/min/kg (165 l/m). El atleta 2 fue de 63 ml/min/kg (181 l.p.m), primer umbral ventilatorio (VT1) de 28 ml/min/kg (118 l/m) y segundo umbral ventilatorio (VT2) de 53 ml/min/kg (160 l.p.m). Lo anterior, permitió establecer sus zonas de entrenamiento con prioridad en el VT1.

La CE se programó y quedó representada por el sumatorio semanal (en cada microciclo) en el tiempo (horas) y la distancia (km). Se obtuvo la puntuación de carga de entrenamiento (TSS) como variable del software Trainingpeaks (TrainingPeaks Help Center, 2016). Para el ciclismo se calculó el TSS mediante la siguiente fórmula:

$$TSS = \frac{duracion \cdot NP \cdot IF}{FTP \cdot 3600} \cdot 100$$

Donde la potencia normalizada (NP), es una estimación de la potencia de una prueba de carga constante en un ergómetro. El factor de intensidad (IF) es la relación entre la NP y el umbral de potencia funcional del ciclista (FTP), que entrega una intensidad relativa en relación con su umbral de potencia (mejor potencia media en una prueba de una hora).

Dado que la velocidad de carrera es función de la potencia, y la velocidad o el ritmo es la medida de mayor interés de un atleta, se cuantificó la variable del entrenamiento en carrera calculando el rTSS mediante la siguiente fórmula (McGregor, 2008; TrainingPeaks Help Center, 2016):

$$rTSS = \frac{duracion \cdot NGP \cdot IF}{FTP * 3600} \cdot 100$$

Los elementos del ritmo graduado normalizado (NGP), relativos al ritmo umbral funcional (FTP) junto con la duración del entrenamiento (segundos), se determinó una puntuación (rTSS) adecuada para cada sesión de entrenamiento.

2.4. Toma de muestras sanguíneas

Se obtuvieron cuatro muestras de sangre durante la semana previa al evento principal (Pre), inmediatamente antes de la ascensión (Pre A), después (Post A) y una semana de recuperación (Post C) para su posterior análisis. Todas las muestras fueron obtenidas por tecnólogos médicos a través de venopunción en el antebrazo utilizando el sistema Venoject®, siguiendo el procedimiento estipulado del Laboratorio Clínico Green Lab. El procesamiento analítico fue a través de la plataforma de automatización total LAB CELL (Siemens) en interfase con los equipos Advia 2120, Advia 1800 y Advia Centauro XP.

Para el hemograma la muestra se almacenó en BD Vacutainer con EDTA y procesó en equipo Advia 2120, mediante citometría de flujo, óptico-láser e impedancia. A los objetos de este estudio se consideró el número de hematíes (Hmt), hemoglobina (Hb), hematocrito (Htto) y volumen corpuscular medio (VCM).

2.5. Análisis Estadístico

Los datos se presentan como media y desviación estándar (DE) con su correspondiente coeficiente de variación (CV) expresado en porcentaje. Se midió el tamaño del efecto (TE) mediante el cálculo de la “d” de Cohen para un intervalo de confianza del 90% y utilizando los rangos de interpretación propuestos por Hopkins (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009): trivial (menor de 0.2); pequeño (de 0.20 a 0.59); moderado (de 0.6 a 1.2) y grande (mayor de 1.2).

3. RESULTADOS

El volumen de entrenamiento semanal para los atletas para el período de monitorización fue de acuerdo con la Tabla 1. En la Tabla 1 se presentan los resultados de TSS, rTSS, IF, CE y de VFC para cada sujeto y mesociclo. En el caso del sujeto 1, una mayor cantidad de rTSS se observó hacia la carrera, superando por el doble al sujeto 2 en sus registros semanales. El sujeto 2 tiene mayores valores de TSS y tiempo en ciclismo, superando el 50% de su carga semanal, y aumentando las semanas previas a la competición de ultra ciclismo. Se puede observar que el tamaño de efecto en los volúmenes y distancia es mayor en el sujeto 1 que en sujeto 2, situación que se amplifica hasta el tercer mesociclo, y luego decae en las 3 semanas previas al evento principal.

Tabla 1. Promedio de la variable TSS y rTSS del software Trainingpeaks para cada mesociclo, tiempo de entrenamiento (horas), distancia (km), factor de intensidad (IF) y las variables de VFC (RMSSD y SS) expresados en sus logaritmos naturales. Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar. En cada celda se presenta la media semanal de carga de entrenamiento durante cada mesociclo, junto a \pm desviación estándar, y en una segunda fila su coeficiente de variación (expresando en porcentaje). A partir del segundo mesociclo se presenta el tamaño de efecto (*d* de cohen) para la comparación entre los valores de un mesociclo y el anterior.

		Sujeto 1				Sujeto 2				
Mesociclo		I	II	III*	IV	I	II	III*	IV	
Semanas		1 a 6	7 a 12	13 a 18	19 a 22	1 a 6	7 a 12	13 a 18	19 a 22	
TSS rTSS	Ciclismo	103 \pm 73	83 \pm 23	67 \pm 16	-	135 \pm 29	239 \pm 243	531 \pm 676	164 \pm 29	
		70%	27% - 0.36	24% - 0.72	-	21%	102% - 0.55	127% - 0.55	18% - 0.6	
	Carrera	591 \pm 148	750 \pm 251	483 \pm 187	411 \pm 270	248 \pm 162	292 \pm 153	214 \pm 163	220 \pm 109	
		25%	33% - 0.72	39% - 1.03	66% - 0.33	65%	52% - 0.28	76% - 0.48	50% - 0.04	
	PF	43 \pm 19	53 \pm 17	45 \pm 16	32 \pm -	-	-	-	-	
		44%	32% - 0.54	35% - 0.47	-	-	-	-	-	
	Total	698 \pm 191	859 \pm 240	539 \pm 204	422 \pm 287	345 \pm 201	497 \pm 321	710 \pm 625	302 \pm 203	
		27%	28% - 0.7	38% - 1.16	68% - 0.48	58%	64% - 0.55	88% - 0.43	67% - 0.76	
	Tiempo (horas)	Ciclismo	2.26 \pm 1.46	1.63 \pm 0.56	1.37 \pm 0.48	-	1.85 \pm 0.68	6.44 \pm 5.65	15.97 \pm 31.24	2.51 \pm 0.72
			65%	35% - 0.55	35% - 0.47	-	37%	88% - 0.96	196% - 0.42	29% - 0.49
Carrera		7.07 \pm 2.21	9.54 \pm 2.35	8.41 \pm 5.2	7.6 \pm 5.61	6.59 \pm 5.46	8.17 \pm 3.97	6.01 \pm 4.61	9.84 \pm 5.03	
		31%	25% - 0.95	62% - 0.29	74% - 0.15	83%	49% - 0.33	77% - 0.49	51% - 0.74	
PF		1.12 \pm 0.49	1.38 \pm 0.43	1.19 \pm 0.41	0.81 \pm -	-	-	-	-	
		44%	31% - 0.56	35% - 0.45	-	-	-	-	-	
Total		9.49 \pm 3.05	11.92 \pm 2.73	9.69 \pm 6.21	7.87 \pm 5.94	7.91 \pm 6.09	13.69 \pm 4.09	20.98 \pm 29.08	11.1 \pm 6.25	
		32%	23% - 0.77	64% - 0.47	75% - 0.29	77%	30% - 0.97	139% - 0.36	56% - 0.42	
Distancia (km)		Ciclismo	16 \pm 21	-	-	-	56 \pm 17	133 \pm 89	231 \pm 351	70 \pm 17
			126%	-	-	-	30%	67% - 1	152% - 0.38	24% - 0.52
	Carrera	62 \pm 16	76 \pm 20	58 \pm 16	53 \pm 37	46 \pm 30	49 \pm 18	37 \pm 20	47 \pm 22	
		26%	27% - 0.72	27% - 0.88	70% - 0.2	64%	37% - 0.12	54% - 0.61	47% - 0.47	
IF	Ciclismo	0.64 \pm 0.03	0.68 \pm 0.04	0.67 \pm 0.03	-	0.88 \pm 0.09	0.91 \pm 0.04	0.85 \pm 0.13	0.81 \pm 0.05	
		5%	6% - 1.1	5% - 0.27	-	10%	5% - 0.41	15% - 0.59	6% - 0.3	
	Carrera	0.92 \pm 0.07	0.88 \pm 0.05	0.87 \pm 0.18	0.9 \pm 0.12	0.71 \pm 0.07	0.67 \pm 0.13	0.64 \pm 0.25	0.56 \pm 0.08	
		7%	6% - 0.64	20% - 0.11	14% - 0.2	10%	20% - 0.4	39% - 0.15	15% - 0.4	
	PF	0.59 \pm 0.01	0.59 \pm 0.01	0.59 \pm 0.01	0.6 \pm -	-	-	-	-	
		2%	2% - 0.17	1% - 0.28	-	-	-	-	-	

	Total	0.77 ± 0.06	0.75 ± 0.07	0.8 ± 0.16	0.86 ± 0.16	0.77 ± 0.07	0.75 ± 0.15	0.74 ± 0.15	0.62 ± 0.11
		8% - NA	10% - 0.21	20% - 0.35	19% - 0.36	10% - NA	20% - 0.17	20% - 0.07	19% - 0.82
VFC	lnRMSSD	5.22 ± 0.22	5.35 ± 0.19	5.24 ± 0.39	4.87 ± 0.22	4.73 ± 0.28	5.17 ± 0.39	4.75 ± 0.4	4.01 ± 0.46
		4%	3% - 0.6	8% - 0.33	5% - 0.97	6%	8% - 1.1	8% - 0.94	12% - 1.37
	lnSS	1.8 ± 0.12	1.72 ± 0.14	1.8 ± 0.23	1.95 ± 0.13	1.72 ± 0.15	1.47 ± 0.16	1.62 ± 0.13	2.11 ± 0.32
		7%	8% - 0.6	13% - 0.4	7% - 0.7	9%	11% - 1.21	8% - 0.9	15% - 1.59

VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca; LnRMSSD: logaritmo natural de la raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes en ms.; LnSS: logaritmo natural del índice de estrés; DS: desviación estándar; d: Tamaño de efecto: trivial (menor de 0.2); pequeño (de 0.20 a 0.59); moderado (de 0.6 a 1.2) y grande (mayor de 1.2). * mesociclos de entrenamiento en altitud de 3250 metros.

En la Figura 1. Se puede observar de izquierda a derecha la evolución en el tiempo de las variables de VFC estudiadas, a medida que se acercaba el evento principal (línea vertical roja). Se observa que ambos sujetos muestran medidas de VFC bajo la media durante las competiciones previas al evento principal, en ambas variables que alcanzaron un valor atípico durante la competición previa (graficada con líneas verticales grises), siendo el valor más bajo registrado para lnRMSSD y el más alto para lnSS.

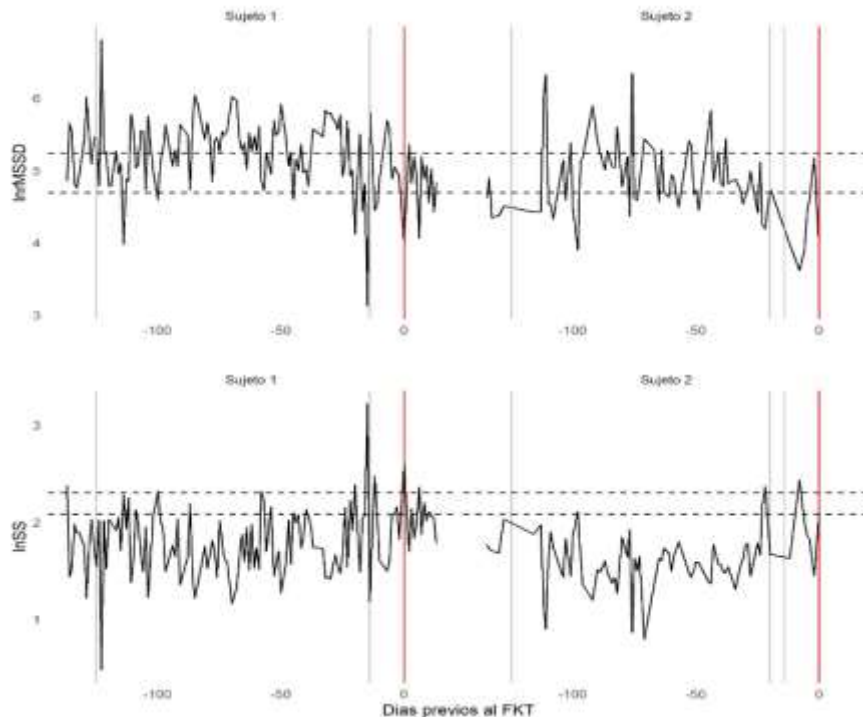


Figura 1. Evolución de los parámetros de VFC de cada sujeto durante el periodo de estudio. En el panel superior se presenta la evolución de la variable lnRMSSD, para el sujeto 1 a la izquierda y 2 a la derecha, y en el panel inferior la variable lnSS. Para ambas variables se incluyen líneas punteadas que representan los valores de referencia publicados. En el eje horizontal se pueden ver los días previos al evento principal. Se incluye en una línea gris vertical la fecha de la última competición de cada sujeto, y en línea roja la fecha del evento principal.

En la Tabla 2 se muestran los cambios en los perfiles hematológicos de ambos sujetos una semana previa al evento principal (Pre), inmediatamente antes (Pre A), después (Post B) y una semana posterior al evento (Post C). Se observa que ambos sujetos aumentaron sus niveles de leucocitos y neutrófilos durante la actividad, exhibiendo variaciones sobre 60% entre las condiciones pre A y post B esfuerzo. El sujeto 1 presenta niveles superiores de ambos indicadores durante Post A en relación con Pre, a diferencia del sujeto 2 que vuelve a sus niveles originales en el caso de neutrófilos, y a valores menores en el caso de los leucocitos.

Tabla 2. Análisis hematológico mediante muestras de sangre durante la semana previa al evento principal (Pre), inmediatamente antes de la ascensión (Pre A), después (Post A) y una semana de recuperación (Post C). Se presentan los valores obtenidos y la variación porcentual con respecto a la medición anterior.

	Sujeto 1				Sujeto 2			
	Pre	Pre A	Post B	Post C	Pre	Pre A	Post B	Post C
Leucocitos ($10^3/\mu\text{L}$)	4.7 (-)	6.5 (38%)	10.9 (68%)	6.3 (-42%)	7.1 (-)	7.4 (4%)	12 (62%)	5.9 (-51%)
Neutrófilos ($10^3/\mu\text{L}$)	2.9 (-)	4.4 (49%)	8.8 (103%)	5 (-44%)	3.6 (-)	4.7 (31%)	7.4 (60%)	3.7 (-51%)
Eritrocitos ($10^6/\mu\text{L}$)	4.6 (-)	5.4 (16%)	4.6 (-14%)	4.5 (-3%)	5.3 (-)	5.2 (-2%)	4.9 (-5%)	5.5 (11%)
Hematocrito (%)	41.6 (-)	47.8 (15%)	41.3 (-14%)	41.6 (1%)	46.9 (-)	44.7 (-5%)	43 (-4%)	45.7 (6%)
Hemoglobina (g/dL)	12.6 (-)	15.8 (25%)	12.9 (-18%)	12.2 (-5%)	14.5 (-)	14.9 (3%)	13.7 (-8%)	14.9 (9%)
VCM (fL)	90.4 (-)	89.3 (-1%)	89.8 (1%)	89.9 (0%)	87.8 (-)	85.8 (-2%)	87 (1%)	83.4 (-4%)
MCH (pg)	28 (-)	29.5 (5%)	28 (-5%)	27 (-4%)	28 (-)	28.6 (2%)	27.7 (-3%)	27.2 (-2%)
CHCM (g/dL)	31 (-)	33 (6%)	31.2 (-5%)	30 (-4%)	31 (-)	33 (6%)	31.9 (-3%)	32.6 (2%)
Plaquetas ($10^3/\mu\text{L}$)	251 (-)	289 (15%)	280 (-3%)	247 (-12%)	196 (-)	311 (59%)	152 (-51%)	246 (62%)

4. DISCUSIÓN

La principal contribución de este estudio fue analizar la preparación para una ascensión a 5460 m mediante un seguimiento diario de la VFC diferenciando la CI de la CE en dos atletas que combinaron las disciplinas de ciclismo y TR en su proceso de entrenamiento. Se observaron cambios significativos en algunas células de la serie blanca.

En el primer mesociclo en la variable TSS, ambos sujetos distribuyen sus esfuerzos de manera diferente coincidente con la distancia recorrida. Cuando se contrastan con el tiempo de carrera se puede ver que las diferencias entre ambos sujetos disminuyen, el sujeto 2 realizó entrenamientos de carrera a menor intensidad, reflejado en la variable IF. En contraste, el sujeto 1 presenta TSS y tiempo en ciclismo, pero sin distancia recorrida, dado que fueron entrenamientos en rodillo, los cuales no estiman distancia recorrida. En el último mesociclo, el sujeto 2 presenta un TE mayor, pero se debe a la disminución del volumen respecto del tercer mesociclo, luego de la competición de ultra-ciclismo. Se observa también que el sujeto 2 no realizó preparación física durante el periodo estudiado, en contraste con el sujeto 1 que presenta una media de 60 min semanales.

Las variables de VFC varían durante el periodo de estudio, manteniendo coeficientes de variación (CV) bajos, siendo el caso más extremo el CV de sujeto 2 en el mesociclo 4, que tiene un 12% para la $\ln\text{RMSSD}$ y un 15% para $\ln\text{SS}$, ambos con una diferencia grande respecto del ciclo anterior, ($d > 1.2$). En el cuarto mesociclo ambos sujetos aumentan su $\ln\text{SS}$ y disminuyen su $\ln\text{RMSSD}$. En el caso de la variable $\ln\text{RMSSD}$, el sujeto 1 registra un gran número de mediciones sobre los rangos de referencia. Lo mismo sucede con ambos sujetos y la variable $\ln\text{SS}$, mostrando valores bajos los de referencia.

El $\ln\text{RMSSD}$ capturado todas las mañanas al despertar mostró el grado de recuperación parasimpático tras la carga realizada el día anterior, y el valor del $\ln\text{SS}$ si el tono simpático observado muestra una recuperación completa o, algún efecto al impacto estresor por la carga anterior. La tabla 1 muestra los cambios al medir cada mañana permitió conocer en qué condiciones ambos atletas enfrentaban la nueva sesión de trabajo. Nuestro grupo ha publicado rangos de normalidad del logaritmo natural de la RMSSD y de SS (Nieto et al., 2022) para corredores de montaña. De esta forma, los valores medios semanales del $\ln\text{RMSSD}$ (tabla 1) se encuentran comprendidos entre los percentiles 75 y 95 para mujeres (4,87 y 5,35 ms) y hombres (4,01 y 5,27 ms) deportistas respectivamente. En el caso del Stress Score (SS) como medida de estrés simpático sus autores recomiendan la utilización de los percentiles 75 al 90 como zona de alarma (Naranjo et al, 2015) lo que equivale a un SS entre 8 y 10, cuyos \ln serían 2,08 y 2,30. Los valores medios semanales del $\ln\text{SS}$ que mostraron nuestros deportistas (tabla 2) se encuentran por debajo de 1,95 y 2,11 (percentil 75).

Para el sujeto 1 en los mesociclos de competición (Tabla 1) para la carrera mostró pequeñas ($d = 0,33$) y triviales ($d = 0,15$) disminuciones para el $r\text{TSS}$, tiempo ($d=0,15$) y distancia de entrenamiento ($d=0,21$), con un trivial aumento del IF ($d=0,20$) paralelamente a una moderada ($d=0,97$) disminución del $\ln\text{RMSSD}$ y aumento ($d=0,70$) del $\ln\text{SS}$.

Para los mesociclos de competición de la disciplina de ciclismo del sujeto 2 mostró moderadas disminuciones ($d = 0,60$) para el TSS, triviales y pequeñas disminuciones para el tiempo ($d=0,49$) y distancia de entrenamiento ($d=0,51$) con una pequeña disminución del IF ($d = 0,3$) paralelamente a una gran disminución del LnRMSSD ($d = 1,37$) y aumento del LnSS ($d = 1,59$). Nuestros datos, se encuentran en línea con Nieto et al (2020) y no coinciden con Stanley et al. (2015) ya que los cambios expresados en los mesociclos previos a la ascensión no pueden ser indicadores de los resultados relacionados con la exposición aguda a la hipoxia hipobárica. Al tener nuestros sujetos un doble perfil UTR (sujeto 1) y ciclismo (sujeto 2) desconocemos cuanto podría afectar estas especialidades deportivas a algunas de las variables analizadas en relación con estudios realizados que han analizado solo con triatletas (Stanley et al., 2015) en condiciones de normoxia. Pareciera ser que, no existe ninguna relación entre las CE y las variables medidas de VFC, deduciendo que estas medidas están valorando la CI. Por ese motivo, la tabla 1 muestra los cambios relativos (valorados mediante el TE) entre cada mesociclo y la anterior.

Podríamos afirmar que la respuesta parasimpática y simpática que presentaron los atletas a las cargas administradas indicarían buenas adaptaciones al proceso de entrenamiento para la exposición aguda a 5460 metros. Si bien, sus valores medios están fuera de los rangos normales que se han comunicado para corredores de montaña (Nieto et al 2022), podría ser que los registros al despertar estarían condicionados por los tiempos de exposición agudos de entrenamiento en altura (3250 metros) y no hemos encontrado en la literatura estudios que hayan comunicado estos valores de referencia.

Se observa que el sujeto 1 mantuvo estables sus niveles de plaquetas durante la actividad, en línea con los valores Pre y Post B, a diferencia del sujeto 2, quien mostro una alta variabilidad en los niveles de plaquetas durante las mediciones, y reporta una disminución de un 51% durante la actividad. Por otro lado, el sujeto 2 presenta menores variaciones de Eritrocito, Hematocrito y Hemoglobina durante la actividad.

Con respecto a los parámetros de la serie roja, eritrocitos (Et), hematocrito (Htt) y hemoglobina (Hb) presentaron tras la exposición aguda a 5460 mts disminuciones, expresadas de acuerdo a la variación porcentual, para el sujeto 1 (-14,-14 y -18%) y el sujeto 2 (-5,-4 y -8%) lo que coincide en las diferencias porcentuales en plaquetas entre ambos sujetos (-3% y -51%) (Tabla 2). Los datos existentes apoyan la idea de que estas altitudes no inducen en sí misma cambios hematológicos si el sujeto esta aclimatado. Así, Rietjens y colaboradores (2002) establece tras un seguimiento de 3 años en triatletas entrenados, que se necesitan altitudes de al menos 2.000 m para poder atribuir cambios

hematológicos a la altitud, siendo frecuentes los trabajos que refieren estos cambios en altitudes superiores (Heinicke et al., 2005; Hamety et al, 2014; Nieto et al., 2019). Pareciera ser que los cambios de la serie roja podrían ser por un efecto de hemodilución ya descrito también en corredores de maratón (Traiperm et al., 2013) y poblaciones de militares aclimatados (Nieto et al., 2019).

En relación con los parámetros de la serie blanca (tabla 2) se aprecia un incremento porcentual posterior al ascenso a 5460 metros en leucocitos y neutrófilos tanto para el sujeto 1 (68 y 103%) y el sujeto 2 (62 y 60%). Thake y colaboradores (2004) observaron resultados similares a nuestros datos en algunas células de la serie blanca en pruebas de laboratorio equivalente a 4000 m, lo que resultó en una linfopenia relativa. Asimismo, Niess et al. (2003) observaron aumentos en neutrófilos después del ejercicio significativamente más pronunciados a 1800 m que a nivel del mar.

Resultan interesantes las diferencias entre ambos sujetos una semana posterior a la ascensión, en que el sujeto 2 muestra valores inferiores (leucocitos = $7,1 \cdot 10^3/\mu\text{L}$) a lo que fueron sus registros una semana antes de la exposición aguda ($5,1 \cdot 10^3/\mu\text{L}$). Situación completamente diferente del sujeto 1 quien mostró valores aun superiores a los iniciales tras una semana del evento principal. Aunque no hemos profundizado en subpoblaciones de glóbulos blancos, nuestros datos básicamente coinciden con lo que se ha comunicado (Nieto et al., 2019) en cuanto a los cambios esperables tras un ejercicio en exposiciones agudas con aclimatación y podrían tener una relación con los resultados obtenidos entre ambos atletas.

Limitaciones

La principal limitación de este estudio es no poder diferenciar el efecto de los agentes estresores como el frío, falta de sueño o la fatiga acumulada. También constituye una limitación no haber controlado la ingesta de líquido durante la marcha, ni la diferencia de peso pre y post, deduciendo la deshidratación a través del análisis sanguíneo.

5. CONCLUSIONES

Los registros diarios de VFC matutinos y de 5 minutos de duración parecen ser una forma útil para monitorizar el estado de equilibrio simpático-parasimpático en deportistas antes de las sesiones de entrenamiento. No se encontraron asociaciones entre la CE y la CI. Esta monitorización serviría para poder modificar la planificación de las cargas en evento de hipoxia hipobárica. No se observaron cambios hematológicos. Se observaron cambios significativos en algunas células de la serie blanca.

6. REFERENCIAS

- 1) Coggan, A. R. (2006). Making Sense Out of Apparent Chaos: Analyzing On-The-Bike Power Data: 3: 9: 35 AM–10: 00 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(5), 39.
- 2) Foster, C., Hector, L. L., Welsh, R., Schrager, M., Green, M. A., & Snyder, A. C. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70, 367-372.
- 3) 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, 563-571.
- 4) Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139-147.
- 5) Heinicke, K., Heinicke, I., Schmidt, W., & Wolfarth, B. (2004). A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *International journal of sports medicine*, 26(5), 350-355.
- 6) Hematy, Y., Setorki, M., Razavi, A., & Doudi, M. (2014). Effect of altitude on some blood factors and its stability after leaving the altitude. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 17(9), 1052-1057.
- 7) 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), 3-13.
- 8) Klokke, M., Kharazmi, A., Galbo, H., Bygbjerg, I., & Pedersen, B. K. (1993). Influence of in vivo hypobaric hypoxia on function of lymphocytes, neutrocytes, natural killer cells, and cytokines. *Journal of Applied Physiology*, 74(3), 1100-1106.
- 9) McGregor, S. (2008). *Running Training Stress Score (rTSS*) Explained*. TrainingPeaks. <https://www.trainingpeaks.com/learn/articles/running-training-stress-score-rtss-explained/>
- 10) Michael, S., Jay, O., Graham, K. S., & Davis, G. M. (2017). Longer exercise duration delays post-exercise recovery of cardiac parasympathetic but not sympathetic indices. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1897-1906.
- 11) Michael, S., Jay, O., Halaki, M., Graham, K., & Davis, G. M. (2016). Submaximal exercise intensity modulates acute post-exercise heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 697-706.
- 12) Muza, S. R. (2007). Military applications of hypoxic training for high-altitude operations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1625-1631.

- 13) Naranjo Orellana, J., de la Cruz Torres, B., Sarabia Cachadiña, E., de Hoyo, M., & Domínguez Cobo, S. (2015). Two new indexes for the assessment of autonomic balance in elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(4), 452-457.
- 14) Nieto, C., Vargas, J. C., & Orellana, J. N. (2019). Hormonal changes in acclimatized soldiers during a march at a high altitude with mountain skis. *Archivos de medicina del deporte*, 36(193), 302-308.
- 15) Nieto, C., Vargas, J. C., Mainer, E. P., & Orellana, J. N. (2019). Efectos hormonales y hematológicos en una marcha invernal de baja altitud en militares chilenos. *Archivos de medicina del deporte*, 36(192), 227-231.
- 16) Nieto-Jiménez, C., Pardos-Mainer, E., Ruso-Álvarez, J. F., & Naranjo-Orellana, J. (2020). Training Load and HRV in a Female Athlete: A Case Study. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 20(78), 321-333.
- 17) Nieto-Jiménez, C., Sánchez, R., Besomi, M., & Naranjo-Orellana, J. (2022). Un año de seguimiento con frecuencia cardiaca variabilidad de la en trail runners. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Fisica y del Deporte*, 1-12.
- 18) Niess, A. M., Fehrenbach, E., Strobel, G., Roecker, K., Schneider, E. M., Buergler, J., ... & Dickhuth, H. H. (2003). Evaluation of stress responses to interval training at low and moderate altitudes. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(2), 263-269.
- 19) Rietjens, G. J. W. M., Kuipers, H., Hartgens, F., & Keizer, H. A. (2002). Red blood cell profile of elite olympic distance triathletes. A three-year follow-up. *International journal of sports medicine*, 23(06), 391-396.
- 20) Skiba, P. F. (2006). PR_145: Quantification of Training Stress in Distance Runners. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(11), e29.
- 21) Stanley, J., D'Auria, S., & Buchheit, M. (2015). Cardiac parasympathetic activity and race performance: an elite triathlete case study. *International journal of sports physiology and performance*, 10(4), 528-534.
- 22) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- 23) Thake, C. D., Mian, T., Garnham, A. W., & Mian, R. (2004). Leukocyte counts and neutrophil activity during 4 h of hypocapnic hypoxia equivalent to 4000 m. *Aviation, space, and environmental medicine*, 75(9), 811-817.
- 24) TrainingPeaks Help Center. (2016). *Puntajes de Estrés de Entrenamiento (TSS) Explicados*.

<https://help.trainingpeaks.com/hc/en-us/articles/10733716895885-Puntajes-de-Estr%C3%A9s-de-Entrenamiento-TSS-Explicados>

- 25) Traiperm, N., Gatterer, H., & Burtscher, M. (2013). Plasma electrolyte and hematological changes after marathon running in adolescents. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(6), 1182-1187.
- 26) Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Takala, T. E., Seppanen, T. H. H. V., & Huikuri, H. V. (1996). Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 271(1), H244-H252.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors listed have made a substantial, direct and intellectual contribution to the work, and approved it for publication.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

This research received no external funding.

COPYRIGHT

© Copyright 2023: Publication Service of the University of Murcia, Murcia, Spain.