

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud



***Título: Efecto de la suplementación con extracto de Lippia
citriodora sobre la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca
y el Rendimiento en Corredores Amateurs.***

Autor: ANTONIO CASANOVA LIZÓN

Tutor Académico: JOSÉ MANUEL SARABIA MARÍN

RESUMEN.

- **Introducción:** Las carreras de largas distancias son disciplinas con altas exigencias fisiológicas y muy relacionadas con el estrés oxidativo. El consumo de Move!PLX®, un extracto botánico de la planta *Lippia citriodora* con efectos antioxidantes y antiinflamatorios por su alto contenido en polifenoles, sin embargo sus efectos sobre el rendimiento y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) tras un periodo de suplementación no han sido comprobados. El propósito de este estudio fue analizar el efecto de la suplementación con Move!PLX® en la regulación de la VFC y en las variables de rendimiento (VO₂max y umbrales ventilatorios).
- **Material y métodos:** Veinticuatro atletas entrenados participaron en este estudio. Después de una semana de evaluación inicial, los corredores realizaron 2 semanas para verificar el cumplimiento de la duración, la frecuencia de entrenamiento, el registro de las sesiones y variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Luego, los corredores se dividieron en 2 grupos, un grupo experimental consumió Move!PLX® (PLX; n = 12), y un grupo control que consumió un placebo (C; n = 12). Se realizaron 8 semanas de suplementación con 2 evaluaciones, antes y después del periodo de observación. Durante las semanas de evaluación, los corredores realizaron una prueba de ejercicio gradual máxima para extraer el consumo máximo de oxígeno, los umbrales ventilatorios y la frecuencia cardíaca máxima y medidas antropométricas según las recomendaciones de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK). Durante el período de entrenamiento, las variables de carga (volumen e intensidad) fueron registradas en cada sesión para comparar la carga realizada entre ambos grupos.

Palabras clave: compuesto botánico (Move!PLX®), atletas entrenados en resistencia, consumo máximo de oxígeno, ejercicio, entrenamiento.

INTRODUCCIÓN.

La optimización del entrenamiento deportivo mediante la manipulación de la carga y la recuperación permite mejorar el rendimiento en momentos importantes (Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon & Mendez-Villanueva, 2012; Borresen & Lambert, 2008), habitualmente la principal competición del año, basándose en la correcta puesta a punto de la condición física. Para conseguirlo se necesita de un adecuado programa de entrenamiento, un diseño ajustado a las diversas necesidades del deportista y las exigencias del deporte, de modo que el desarrollo de las destrezas, habilidades motoras y rasgos psicológicos sea secuencial y lógico. Este trabajo deberá ser variado para facilitar el reposo y la regeneración fisiológica, psicológica y del sistema nervioso central (SNC) (Bompa, 2003).

La carga de entrenamiento es un aspecto que se debe considerar en el momento de planificar el programa, entendiendo ésta como el grupo de demandas psico-biológicas provocadas por el trabajo realizado durante el entrenamiento, teniendo en cuenta ambas facetas: el conjunto de actividades que constituyen el programa de entrenamiento (carga externa) y el nivel de requerimiento que representa para el organismo (carga interna) (González-Badillo & Ribas, 2002). La dimensión de la carga viene definida por el volumen, la intensidad, la frecuencia y la densidad/recuperación del entrenamiento demandados al atleta (Siff & Verkhoshansky, 2000). El volumen representa la medida cuantitativa de las cargas de entrenamiento de diferente orientación funcional, supone la cantidad total de la actividad realizada (tiempo o duración del entrenamiento, número de repeticiones, distancia recorrida, peso total de kilos levantados...). La intensidad representa la medida cualitativa de las cargas de entrenamiento ejecutado en un tiempo determinado, algunos valores que lo determinan vendrían marcados en porcentaje respecto al máximo. De este modo, a más trabajo realizado por unidad de tiempo, mayor será la intensidad. La densidad se refiere a la relación, expresada en tiempo, entre las fases de trabajo y las pausas de recuperación (entre series-ejercicios, sesiones...). La frecuencia de entrenamiento se refiere a los días por semana en que se entrena (Bompa, 2003).

A pesar de que las adaptaciones fisiológicas específicas producidas por el entrenamiento, se han mostrado relacionadas con esas variables de carga (volumen, intensidad y frecuencia) (Vollaard et al., 2009; Laursen, 2010), también existen evidencias de que no siempre tiene el mismo efecto, el mismo programa de entrenamiento o la exposición a cargas de entrenamiento muy similares, puede inducir una gran diversidad de respuestas en términos de rendimiento y adaptaciones fisiológicas en función de las características del deportista (Bouchard & Rankinen, 2001; Hautala et al., 2003, 2006). En consecuencia, el control de las respuestas individuales al ejercicio es, por lo tanto, un factor clave importante para prescribir programas de entrenamiento más efectivos (Halson, 2014). Un determinante importante que puede reflejar una adaptación al entrenamiento positiva o negativa es la regulación autónoma cardíaca (RAC) (Bellenger et al., 2016), aplicando la prescripción diaria en función de la recuperación individual (Vesterinen, Nummela, Heikura et al., 2016). Se ha demostrado que la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) en reposo mediada por vía vagal está relacionada con mayores mejoras en el rendimiento de resistencia en diferentes poblaciones (Baynard, Goulopoulou, Sosnoff, Fernhall & Kanaley, 2014; Hautala et al., 2003; Hedelin, Bjerle & Henriksson-Larsen, 2001; Vesterinen, Häkkinen, Laine et al., 2016). Por todo lo anteriormente

comentado, un programa de entrenamiento individualizado parece ser lo más eficiente para optimizar las adaptaciones y obtener los mejores beneficios para cada deportista.

Para conocer el estado del deportista de forma individualizada se ha investigado el estado del sistema nervioso autónomo (SNA) (Bellenger et al., 2016). La actividad del SNA se basa en el equilibrio entre las actividades del sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP), relacionadas con las respuestas fisiológicas a un programa de entrenamiento (Aubert, Seps & Beckers, 2003; Perini, Orizio, Baselli, Cerutti & Veicsteinas, 1990). Cuando el organismo está relajado o en calma predomina la estimulación de la rama parasimpática o vagal, mientras que en estados de ansiedad, estrés y ejercicio físico predomina la estimulación de la rama simpática del SNA (Roldas, Pedrel Carballido, Capdevila & Villegas García, 2008).

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC), representa uno de los marcadores más prometedores para análisis del equilibrio del SNA (Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013). El electrocardiograma (ECG) es el estándar de medida para cuantificar esta variabilidad, donde se visualiza gráficamente el complejo (QRS), se detecta cada una de las ondas R y se calcula el tiempo entre las diferentes ondas R consecutivas o intervalos RR. El análisis de la variación de esos intervalos RR es lo que se denomina VFC (Roldas et al., 2008). El análisis de los intervalos RR para determinar la VFC se acepta comúnmente como un método no invasivo para la evaluación de la actividad del SNA sobre el balance simpático-vagal (Achten & Jeukendrup, 2003). Por lo tanto, la VFC es el resultado de las interacciones entre el SNA y el sistema cardiovascular (Kleiger, Stein & Bigger, 2005).

Gracias al gran avance tecnológico de los últimos años, la evaluación regular de la VFC como medida del estado fisiológico ha crecido en popularidad, dando lugar a recursos como pulsómetros, software, aplicaciones para móviles, etc., facilitando el acceso para su empleo. En un estudio reciente, Plews et al., (2017) analizó la validez de la fotoplestimografía medida a través de la cámara de un smartphone y del pulsómetro en la medición de la VFC comparándolo con el ECG (medida de referencia), encontrando un acuerdo aceptable para la medición de la VFC. Debido a su practicidad y facilidad de uso en el campo, la fotoplestimografía con smartphone puede ser una de las mejores opciones para la recolección de datos de la VFC.

En la actualidad, las variaciones en la frecuencia cardíaca pueden evaluarse por varios métodos que permiten obtener información de diversos parámetros. Los parámetros más empleados en la literatura son la rMSSD (raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR) dentro del método para el dominio temporal, y la HF (señales de baja frecuencia, obtenida mediante la Transformación de Fourier) dentro del método para el dominio frecuencial (espectro de frecuencias). El rMSSD se emplea para examinar la influencia del SNP sobre el sistema cardiovascular y la HF tiene un efecto relacionado con la relajación sobre la frecuencia cardíaca (FC), ambos parámetros relacionados con la actividad de la rama parasimpática del SNA (Roldas et al., 2008). En la Tabla 1 se muestran los parámetros más estudiados basados tanto en el dominio temporal como el frecuencial, algunos de estos parámetros son variantes estadísticas asociadas entre ellas.

TABLA 1. Parámetros de análisis de la VFC en la *dimensión temporal y frecuencial*.

<i>Parámetro</i>	<i>Otra Nomenclatura</i>	<i>Unidad</i>	<i>Definición</i>	<i>Utilidad</i>
<i>RR</i>	NN	ms	Intervalo entre dos latidos (picos de R en el ECG).	
<i>RRSD</i>	SDNN	ms	Desviación Estándar de todos los intervalos RR.	Es un indicador independiente de las frecuencias para definir el concepto de la variabilidad total.
<i>RMSSD</i>	r-MSSD	ms	Raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR.	Se utiliza para observar la influencia del Sistema Nervioso Parasimpático (SNP) sobre el sistema cardiovascular. Se asocia directamente a la variabilidad a corto plazo.
<i>SDSD</i>	Δ RRSD	ms	Desviación estándar de la diferencia entre intervalos RR consecutivos.	
<i>pNN50</i>		cantidad	Porcentaje de intervalos RR consecutivos, que discrepan más de 50 ms entre sí.	Proporciona valiosa información acerca de variaciones altas espontáneas de la FC.
<i>BF</i>	LF (baja frecuencia)	ms ²	Situada entre 0.04 y 0.15 Hz.	Controvertida en su interpretación, ya que puede atribuirse a influencias del SNS y/o a las del SNP.
<i>AF</i>	HF (alta frecuencia)	ms ²	Situada entre 0.15 y 0.4 Hz.	Claramente relacionada con la actividad del SNP y tiene un efecto relacionado con la relajación sobre la FC.
<i>BF/AF</i>	LF/HF (proporción)	%	Proporción entre las bajas frecuencias y las altas del resultado del análisis espectral de la VFC.	Se puede estimar la influencia vagal (relacionada con la relajación y las HF) y la simpática (relacionada con el stress y las LF).
<i>Ln RMSSD</i>	Ln r-MSSD	ms	Logaritmo natural del promedio de una semana.	Permite comparaciones estadísticas paramétricas que suponen distribuciones normales.
<i>Ln RMSSD/RR</i>	Ln r-MSSD/NN	ms	Proporción entre el logaritmo natural del promedio de una semana y el intervalo entre dos latidos.	Se utiliza para interpretar correctamente la fatiga (predominancia simpática) o una correcta adaptación (saturación parasimpática).

ms, milisegundos; ms², milisegundos al cuadrado; %, porcentaje; Hz, hercios.

Una evaluación apropiada de la VFC para conocer el equilibrio del SNA, puede aplicarse tanto a personas sanas como enfermas ofreciendo información muy útil y valiosa. En personas sanas puede ofrecer información sobre estados de adaptación al estrés físico (Hall et al., 2004) y psíquico (Mezzacappa, Kelsey, Katkin & Sloan, 2001), y precisamente en deportistas puede ofrecer información sobre la adaptabilidad al entrenamiento, conocimiento de la intensidad fisiológica de una carga o un buen marcador predictivo de estados de sobreentrenamiento (Hynynen, Uusitalo, Konttinen & Rusko, 2006; Achten & Jeukendrup, 2003). En personas enfermas puede ofrecer información sobre el pronóstico, patogénesis y tratamiento en patologías

cardíacas (Kop et al., 2001), progreso de la diabetes mellitus (Malpas & Maling, 1990), control del estado de fibromialgia (Martinez-Lavin, 2002) y síndrome de fatiga crónica (De Becker et al., 1998).

Se ha observado que una VFC de referencia alta (interpretada como valores normales de cada sujeto) está asociada con una mejora en el rendimiento en disciplinas deportivas enfocadas en la resistencia (Atlaoui et al., 2007; Aubert et al., 2003; Buchheit et al., 2010; Chalencon et al., 2012; Chen et al., 2011; Garet et al., 2004; Hautala, Kiviniemi & Tulppo, 2009; Hautala et al., 2003; Nummela, Hynynen, Kaikkonen & Rusko, 2010; Pichot et al., 2002; Vesterinen et al., 2013). Además, el aumento de la VFC en reposo durante un período de entrenamiento se ha relacionado con mejoras en la resistencia aeróbica o consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$) (Boutcher, Park, Dunn & Boutcher, 2013; Buchheit et al., 2010; Da Silva, Verri, Nakamura & Machado, 2014; Hautala et al., 2003; Nummela et al., 2010). Sin embargo, un aumento anormal de rMSSD o de la HF puede ser debida a una hiperactividad parasimpática, lo que también podría ser signo de sobrecarga funcional (Le Meur et al., 2013) o sobreentrenamiento (Hedelin, Wiklund, Bjerle & Henriksson-larsÉN, 2000; Uusitalo, Uusitalo & Rusko, 2000). Además, se debe considerar una probable saturación parasimpática manifestada como una meseta de los valores de rMSSD o HF aunque el intervalo RR se vea aumentado (fases de baja FC), se sugiere el uso de la ratio rMSSD/mediaRR para una correcta interpretación (Kiviniemi et al., 2004; 2006). La saturación parasimpática se puede emplear para establecer si el deportista está atravesando por un período de fatiga o si se está adaptando óptimamente a las cargas de entrenamiento (Plews, Laursen, Stanley, 2013).

Es bien sabido que el ejercicio tiene muchos beneficios para la salud. Sin embargo, la actividad física también hace que las células musculares creen radicales libres (también conocidos como especies reactivas de oxígeno, ROS) como subproductos de generar energía para promover el movimiento. Los radicales libres son capaces de dañar las células y causar inflamación, dolor y rigidez. Como consecuencia, sentimos fatiga y malestar general que puede durar varios días (Ji, 2008; 1995). Move!PLX® es un extracto botánico de la planta *Lippia citriodora* (también conocida como *Aloysia triphylla* o Verbena limón). Esta planta originaria de América del Sur se introdujo en Europa a finales del siglo XVII cultivándose actualmente en el área mediterránea (Argyropoulou, Daferera, Tarantilis, Fasseas & Polissiou, 2007). Algunas propiedades farmacológicas han sido atribuidas a estos compuestos. De hecho, se ha usado tradicionalmente en infusiones por sus propiedades antimicrobianas (Pascual, Slowing, Carretero, Mata, & Villar, 2001) y analgésicas (Nakamura et al., 1997). Además, se ha demostrado que tiene efectos antioxidantes y antiinflamatorios por su alto contenido en polifenoles (Laporta et al., 2004).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue observar y analizar cómo influye la ingesta del Move!PLX® en la regulación autónoma valores de VFC, en las variables de rendimiento ($VO_2\text{max}$ y umbrales ventilatorios) y de entrenamiento evaluadas (frecuencia, intensidad, volumen y carga de entrenamiento).

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Los participantes fueron asignados al azar para la formación de dos grupos, de los cuales uno de ellos consumió un extracto botánico (Move!PLX®) derivado de las hojas de la planta. El Move!PLX® se consumió por las mañanas durante todos los días que duró la intervención. El grupo experimental consumió el Move!PLX® (grupo PLX; n = 12), y un grupo control que consumió un placebo (grupo C; n = 12). El objetivo del grupo EX era determinar si habría una respuesta a la dosis en alguno de los parámetros estudiados. El diseño fue un ensayo controlado aleatorizado, de grupos paralelos, doble ciego realizado en la Universidad Miguel Hernández de Elche (España).

Participantes

Los voluntarios que participan en el estudio fueron seleccionados de clubes de atletismo en varios lugares del sureste de España. Los parámetros de inclusión eran: que fueran hombres adultos, que tuvieran al menos tres años de experiencia en el entrenamiento de carrera y haber participado en una media maratón o evento similar. Los criterios de exclusión fueron la ingesta de otros suplementos, la presencia de un trastorno crónico, el hábito de fumar y el consumo de bebidas alcohólicas. En la Tabla 2 se detallan los valores antropométricos de los participantes.

Tabla 2. Valores antropométricos de cada grupo al día 0 (d0).

Grupo	C (n = 12)LV		EX (n = 12)PLV	
	Media	DS	Media	DS
Edad	45.33	5.00	45.25	3.79
Altura (m)	1.78	0.08	1.76	0.07
Peso (kg)	72.48	6.13	75.23	8.81
IMC (kg/m ²)	23.13	1.19	24.51	2.21
% Masa Grasa	12.99	2.20	15.07*	2.20
Peso Magro (kg)	62.98	4.39	63.80	6.68

C, grupo de control que consume el placebo; EX, grupo experimental que consume el compuesto vitamínico; DS, desviación estándar; %, porcentaje; m, metros; kg, kilogramos; m², metros al cuadrado.

* = p < .05; ** = p < .01.

Intervención

Se seleccionaron 40 voluntarios, se les informó sobre el objetivo y las demandas del estudio dando su consentimiento por escrito para participar. El protocolo estaba de acuerdo con los requisitos legales locales y la Declaración de Helsinki para la investigación en seres humanos, y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Miguel Hernández.

La duración del estudio fue de 8 semanas. Durante las primeras 2 semanas del estudio (periodo de homogeneización), los participantes comenzaron sus sesiones de entrenamiento y verificaron el cumplimiento de la duración, la frecuencia de entrenamiento, y el registro de las sesiones y variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC). Este periodo se utilizó para permitir que los participantes se acostumbraran al plan de dieta individual y para resolver dudas sobre el procedimiento. Durante el periodo de homogeneización, seis participantes fueron excluidos debido a violaciones del protocolo del programa de entrenamiento o por consumo de otro compuesto. Al final del proceso, fueron descartados diez participantes por no realizar los

registros diarios de VFC y de las sesiones entrenamiento por FC, que sumado a los excluidos en el periodo de homogeneización queda una muestra final total de 24 participantes.

Los planes de dieta fueron personalizados, ajustando los gastos de energía y macronutrientes a la actividad de entrenamiento y al peso corporal de cada atleta, de modo que la composición de la dieta o el consumo de energía no afectaron el estudio. Se instruyó a los participantes para que se administraran su propio plan de dieta y para realizar los registros diarios de VFC. Se mantuvieron reuniones periódicas para resolver cualquier problema que los participantes tuvieron durante el estudio. En el día 0, antes de comenzar la intervención y después de 48 horas sin ejercicio, se realizaron medidas antropométricas según las recomendaciones de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) y una prueba de esfuerzo máxima. Al final del estudio (día 56), los voluntarios repitieron los procedimientos antes mencionados.

Procedimientos de prueba

Prueba de esfuerzo máxima

Los atletas realizaron una prueba de esfuerzo máxima gradual en un ergómetro de cinta rodante continua (Treadmill Technic Machine, de TechnoGym) para obtener el consumo máximo de oxígeno (VO_2max), los umbrales ventilatorios y la frecuencia cardíaca máxima (FCmax). El diseño del protocolo consistió en un periodo de calentamiento de 3 minutos y 30 segundos a una velocidad de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de un aumento de velocidad de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto. La ventilación respiratoria y el intercambio de gases (Jaeger, modelo MasterScreen CPX) se analizaron continuamente durante el ejercicio con los datos promediados a 15 segundos. El VO_2max se registró como el mayor valor de consumo de oxígeno en las últimas fases de la prueba. Se utilizaron los siguientes criterios para documentar que se había alcanzado el VO_2max durante la prueba: i) una falta de aumento en el VO_2 ante un aumento de la carga de trabajo (velocidad); ii) una relación de intercambio respiratorio > 1.10 (Shephard & Astrand, 2008). Las respuestas de FC fueron monitoreadas continuamente durante la prueba de esfuerzo máxima mediante un sensor de pulso y banda de pecho Polar H7 (Gillinov et al., 2017), registradas en la aplicación móvil de Polar Beat.

Análisis de la frecuencia, volumen y carga de entrenamiento

a pesar de que los investigadores no prescribieron el entrenamiento de los atletas, fue controlado y registrado mediante monitores de FC (Polar, Garmin) durante la mayoría de sus sesiones para evaluar la intensidad, frecuencia y volumen del entrenamiento. El registro de la FC se transmitió al dispositivo vinculando por bluetooth un sensor de pulso con banda de pecho. Todos los registros de FC se enviaron automáticamente cuando los atletas guardaban sus sesiones en su software (Polar, Garmin), ya que se vinculó a éste la aplicación móvil TrainingPeaks™ para la cuantificación y control de las variables antes mencionadas (Halson, 2014).

El número total de sesiones de entrenamiento durante el periodo de observación se cuantificó teniendo en cuenta los días registrados en TrainingPeaks™. Para cuantificar las sesiones realizadas cada semana (frecuencia semanal) se ha tenido en consideración el número de semanas naturales contando desde el día 1 de enero de 2019, comprendiendo el periodo de observación desde la semana 5 a la 14, sumando el número de sesiones realizadas en cada semana.

El volumen (duración) total de las sesiones de entrenamiento durante el periodo de intervención se cuantificó teniendo en cuenta la duración de cada sesión registrados en el software (Polar, Garmin), de los cuales se obtiene la información automáticamente por la aplicación móvil TrainingPeaks™. Para cuantificar el volumen semanal, se suma la duración de cada sesión realizada en cada semana.

La cuantificación de la carga de entrenamiento (TRIMP) se llevó a cabo por el método propuesto por Lucía, Hoyos, Santalla, Earnest & Chicharro en el 2003, basando su medida alrededor de los umbrales de ventilación (VT1 y VT2). El método proporciona tres zonas: zona 1, denominada baja intensidad (< VT1), zona 2 moderada intensidad (VT1-VT2) y zona 3 alta intensidad (> VT2). A cada zona se le da un coeficiente de intensidad de 1, 2 y 3, respectivamente. El cálculo de la carga se realizó con la siguiente fórmula: $LTRIMP = (TZ1 \times 1) + (TZ2 \times 2) + (TZ3 \times 3)$, donde T es el tiempo empleado en cada zona teniendo en cuenta la duración total de la sesión de entrenamiento expresada en segundos.

Análisis del tiempo en cada zona de entrenamiento

Las zonas de entrenamiento se delimitaron mediante el análisis de los datos exportados de la ventilación respiratoria y el intercambio de gases obtenidos durante la prueba de esfuerzo máxima. Se emplearon las metodologías para la valoración del umbral aeróbico y anaeróbico descritas por Pallarés & Morán-Navarro en el 2012. Una vez detectados los umbrales de cada atleta se introducen en la aplicación móvil TraininPeaks™ determinando 3 zonas de entrenamiento (anteriormente descritas), registrando automáticamente el tiempo de cada sesión en las distintas zonas de entrenamiento cada vez que los atletas guardan el trabajo realizado en su software.

Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca

Para determinar la actividad del SNA y la FC en reposo, los atletas se registraron utilizando la aplicación móvil HRV4Training™ mediante el empleo de la cámara de un smartphone por fotoplestimografía y se envió a través del servicio en la nube de aplicaciones para su análisis (Plews et al., 2017). La aplicación cuenta con una guía de medición y un cuestionario para registrar la actividad de entrenamiento informada por uno mismo (Altini & Amft, 2016). El protocolo de medición para la evaluación del SNA fue la siguiente: se midieron los intervalos RR cada mañana en casa después de despertar y vaciar la vejiga urinaria (si fuese necesario) (Kiviniemi, Hautala, Kinnunen & Tulppo, 2007), en posición supina. La posición supina duró al menos un 1 minuto registrando los latidos. Para el análisis de la VFC, se emplea el parámetro rMSSD para cada periodo de medición dentro del método para el dominio temporal como el índice vagal, en función de su mayor idoneidad y confiabilidad que otros índices (Plews, Laursen, Stanley, 2013; Plews, Laursen, Kilding & Buchheit, 2013). Los valores de rMSSD se transformaron tomando sus logaritmos naturales para permitir comparaciones estadísticas paramétricas que suponen distribuciones normales (Sandercock, 2007). Además, se propone utilizar el propio perfil de VFC de cada sujeto para establecer una franja de valores normativos (Plews, Laursen, Kilding & Buchheit, 2012) con los datos registrados durante todo el periodo de intervención.

Métodos estadísticos

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS, v. 25.0 SPSS inc., Chicago, EE.UU.) para procesar los datos obtenidos de los voluntarios. La homogeneidad de los datos se probó con una prueba de Levene para garantizar que todos los datos se distribuyeran normalmente. En función de la distribución normal, los datos se presentan como media \pm desviación estándar (DE). Se realizó una prueba t de Student para detectar cambios dentro de los grupos y un análisis de varianza para muestras independientes (prueba ANOVA multivariante) para los cambios entre grupos (C vs EX). Para comprobar la significación estadística se consideró el valor de $p < 0.05$. Además, los datos se analizaron en Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp, Redmond, WA) para determinar su importancia práctica utilizando inferencias basadas en la magnitud tanto en la comparación dentro de los grupos como entre los mismos (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009). La diferencia más pequeña que vale la pena en las medias en unidades estandarizadas (Cohen d) se estableció en 0.2, lo que representa la diferencia hipotética más pequeña dentro y entre los grupos.

En virtud de la Normativa para la realización de Trabajos Fin de Máster, se reserva la publicación de los datos, resultados obtenidos, discusión y conclusiones del presente trabajo bajo la propiedad del tutor académico para su posterior publicación en una revista científica. No obstante, los apartados antes mencionados serán presentados durante la defensa y exposición de este trabajo, donde el tribunal contará con todos los datos para su evaluación.

REFERENCIAS.

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.
- Altini, M., & Amft, O. (2016, August). Hrv4training: Large-scale longitudinal training load analysis in unconstrained free-living settings using a smartphone application. In *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 2610-2613). IEEE.
- Argyropoulou, C., Daferera, D., Tarantilis, P. A., Fasseas, C., & Polissiou, M. (2007). Chemical composition of the essential oil from leaves of *Lippia citriodora* HBK (Verbenaceae) at two developmental stages. *Biochemical Systematics & Ecology*, 35(12), 831-837.
- Atlaoui, D., Pichot, V., Lacoste, L., Barale, F., Lacour, J. R., & Chatard, J. C. (2007). Heart rate variability, training variation and performance in elite swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 28(05), 394-400.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889-919.
- Baynard, T., Goulopoulou, S., Sosnoff, R. F., Fernhall, B., & Kanaley, J. A. (2014). Cardioagal modulation and efficacy of aerobic exercise training in obese individuals. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(2), 369.

- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *46*(10), 1461-1486.
- Bompa, T. O. (2003). *Periodización. Teoría y metodología del entrenamiento*. Editorial Hispano Europea.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports Medicine*, *38*(8), 633-646.
- Bouchard, C., & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *33*(6 Suppl), S446-51.
- Boutcher, S. H., Park, Y., Dunn, S. L., & Boutcher, Y. N. (2013). The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity intermittent-exercise training. *Journal of Sports Sciences*, *31*(9), 1024-1029.
- 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.
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(2), 711-723.
- Carrera-Quintanar, L., Funes, L., Viudes, E., Tur, J., Micol, V., Roche, E., & Pons, A. (2012). Antioxidant effect of lemon verbena extracts in lymphocytes of university students performing aerobic training program. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *22*(4), 454-461.
- Chalencon, S., Busso, T., Lacour, J. R., Garet, M., Pichot, V., Connes, P., ... & Barthélémy, J. C. (2012). A model for the training effects in swimming demonstrates a strong relationship between parasympathetic activity, performance and index of fatigue. *PLoS One*, *7*(12), e52636.
- Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. D., ... & Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *25*(6), 1546-1552.
- Da Silva, D. F., Verri, S. M., Nakamura, F. Y., & Machado, F. A. (2014). Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices in endurance runners: A case study with a high-level team. *European Journal of Sport Science*, *14*(5), 443-451.
- De Becker, P., Dendale, P., De Meirleir, K., Campine, I., Vandenborne, K., & Hagers, Y. (1998). Autonomic testing in patients with chronic fatigue syndrome. *The American Journal of Medicine*, *105*(3), 22S-26S.
- Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2013). Validity of the ithlete™ smart phone application for determining ultra-short-term heart rate variability. *Journal of Human Kinetics*, *39*(1), 85-92.

- Garet, M., Tournaire, N. I. C. O. L. A. S., Roche, F. R. É. D. É. R. I. C., Laurent, R. E. N. A. U. D., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., & Pichot, V. I. N. C. E. N. T. (2004). Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *36*(12), 2112-2118.
- Gillinov, S., Etiwy, M., Wang, R., Blackburn, G., Phelan, D., Gillinov, A. M., ... & Desai, M. Y. (2017). Variable Accuracy of Wearable Heart Rate Monitors during Aerobic Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *49*(8), 1697-1703.
- González-Badillo, J. J., & Ribas, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. *Barcelona: Inde*.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, *44*(2), 139-147.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., & Tulppo, M. P. (2009). Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *33*(2), 107-115.
- Hautala, A. J., Makikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissila, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2003). Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Heart & Circulatory Physiology*, *285*(4), H1747-H1752.
- Hautala, A. J., Mäkikallio, T. H., Kiviniemi, A. M., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, *96*(5), 535-542.
- Hedelin, R. I. K. A. R. D., Bjerle, P., & Henriksson-Larsen, K. A. R. I. N. (2001). Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *33*(8), 1394-1398.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., & Henriksson-larsÉN, K. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *32*(9), 1531-1533.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*(1), 3.
- Hynynen, E. S. A., Uusitalo, A., Konttinen, N., & Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *38*(2), 313-317.
- Ji, L. L. (2008). Modulation of skeletal muscle antioxidant defense by exercise: role of redox signaling. *Free Radical Biology & Medicine*, *44*(2), 142-152.
- Ji, L. (1995). Oxidative stress during exercise: implication of antioxidant nutrients. *Free Radical Biology & Medicine*, *18*(6), 1079-1086.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, *101*(6), 743-751.

- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Mäkikallio, T. H., Seppänen, T., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2006). Cardiac vagal outflow after aerobic training by analysis of high-frequency oscillation of the R–R interval. *European Journal of Applied physiology*, *96*(6), 686-692.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Seppanen, T., Makikallio, T. H., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2004). Saturation of high-frequency oscillations of RR intervals in healthy subjects and patients after acute myocardial infarction during ambulatory conditions. *American Journal of Physiology-Heart & Circulatory Physiology*, *287*(5):H1921–H1927.
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger Jr, J. T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, *10*(1), 88-101.
- Kop, W. J., Verdino, R. J., Gottdiener, J. S., T O’Leary, S., Merz, C. N. B., & Krantz, D. S. (2001). Changes in heart rate and heart rate variability before ambulatory ischemic events. *Journal of the American College of Cardiology*, *38*(3), 742-749.
- Laporta, O. L. G. A., Perez-Fons, L. A. U. R. A., Balan, K. A. R. I. M., Paper, D. I. E. T. R. I. C. H., Cartagena, V. I. C. E. N. T. E., & Micol, V. I. C. E. N. T. E. (2004). Bifunctional antioxidative oligosaccharides with antiinflammatory activity for joint health. *AGRO FOOD INDUSTRY HI TECH*, *15*(5), 30-33.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training?. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20*, 1-10.
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., ... & Hauswirth, C. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *45*(11), 2061-2071.
- Lucía, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a Espana: which is harder?. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *35*(5), 872-878.
- Martinez-Lavin, M. (2002). The autonomic nervous system and fibromyalgia. *Journal of Musculoskeletal Pain*, *10*(1-2), 221-228.
- Malpas, S. C., & Maling, T. J. (1990). Heart-rate variability and cardiac autonomic function in diabetes. *Diabetes*, *39*(10), 1177-1181.
- Mezzacappa, E. S., Kelsey, R. M., Katkin, E. S., & Sloan, R. P. (2001). Vagal rebound and recovery from psychological stress. *Psychosomatic Medicine*, *63*(4), 650-657.
- Moreira, A., Delgado, L., Moreira, P., & Haahtela, T. (2009). Does exercise increase the risk of upper respiratory tract infections?. *British Medical Bulletin*, *90*(1), 111-131.
- Nakamura, F. Y., Flatt, A. A., Pereira, L. A., Ramirez-Campillo, R., Loturco, I., & Esco, M. R. (2015). Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. *Journal of sports science & medicine*, *14*(3), 602.
- Nakamura, T., Okuyama, E., Tsukada, A., Yamazaki, M., Satake, M., Nishibe, S., ... & Nishimura, H. (1997). Acteoside as the analgesic principle of cedron (*Lippia triphylla*), a Peruvian medicinal plant. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, *45*(3), 499-504.

- Nikolaidis, M. G., & Jamurtas, A. Z. (2009). Blood as a reactive species generator and redox status regulator during exercise. *Archives of Biochemistry & Biophysics*, 490(2), 77-84.
- Nielsen, H. G., Skjønberg, O. H., & Lyberg, T. (2008). Effect of antioxidant supplementation on leucocyte expression of reactive oxygen species in athletes. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*, 68(7), 526-533.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., & Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 154-159.
- Pallarés, J. G., & Morán-Navarro, R. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport & Health Research*, 4(2).
- Pascual, M. E., Slowing, K., Carretero, E., Mata, D. S., & Villar, A. (2001). Lippia: traditional uses, chemistry and pharmacology: a review. *Journal of ethnopharmacology*, 76(3), 201-214.
- Perini, R., Orizio, C., Baselli, G., Cerutti, S., & Veicsteinas, A. (1990). The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 61(1-2), 143-148.
- Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., ... & Barthélémy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(10), 1660-1666.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 8(6), 688-691.
- 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.
- 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.
- Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E., & Laursen, P. B. (2017). Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, Polar H7 chest strap, and electrocardiography. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 12(10), 1324-1328.
- Roldas, G., Pedrel Carballido, C., Capdevila, L., & Villegas García, J. A. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Archivos de Medicina del Deporte*, (123), 41-47.
- Sandercock, G. (2007). Normative values, reliability and sample size estimates in heart rate variability. *Clinical Science*, 113(3), 129-130.
- Shephard, R. J., & Astrand, P. O. (Eds.). (2008). *Endurance in Sport* (Vol. 2). John Wiley & Sons.
- Siff, M. C., & Verkoshansky, Y. (2000). Superentrenamiento. Barcelona: Paidotribo. Verkoshansky, Y. (1999). *Todo sobre el método pliométrico. Capítulos*, 1.

- Sureda, A., Tauler, P., Aguiló, A., Cases, N., Llompарт, I., Tur, J. A., & Pons, A. (2008). Influence of an antioxidant vitamin-enriched drink on pre-and post-exercise lymphocyte antioxidant system. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 52(3), 233-240.
- 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.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Laine, T., Hynynen, E., Mikkola, J., & Nummela, A. (2016). Predictors of individual adaptation to high-volume or high-intensity endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(8), 885-893.
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Hakkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(7), 1347-1354.
- Vesterinen, V., Hakkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L., & Nummela, A. (2013). Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 171-180.
- Vollaard, N. B., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, P. L., ... & Sundberg, C. J. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *Journal of Applied Physiology*, 106(5), 1479-1486.
- Zembron-Lacny, A., Szyszka, K., & Szygula, Z. (2007). Effect of cysteine derivatives administration in healthy men exposed to intense resistance exercise by evaluation of pro-antioxidant ratio. *The Journal of Physiological Sciences*, 0711140014-0711140014.