



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**ENTRENAMIENTO GUIADO DÍA A
DÍA MEDIANTE LA VARIABILIDAD DE
LA FRECUENCIA CARDÍACA EN
CICLISTAS AMATEURS**

Alumno: Òscar Pastor Pastor
Tutor académico: Alejandro Javaloyes Torres
Máster en Rendimiento Deportivo y Salud
Curso académico: 2021 -2022

ÍNDICE

1. Contextualización	3
2. Metodología	5
2.1. Participantes	5
2.2. Diseño experimental	6
2.2.1. Medidas de VFC y Toma de Decisiones	6
2.3. Pruebas de Evaluación	8
2.3.1. Prueba de Esfuerzo Máximo (PEM)	8
2.3.2. Tiempo Límite a la Potencia Aeróbica Máxima	9
2.3.3. Repetición Máxima de la Media Sentadilla (RM)	9
2.3.4. Cálculo de Composición Corporal	10
2.4. Análisis Estadístico	10
3. Referencias.....	11



1. Contextualización

En la actualidad, las competiciones de los deportes de resistencia se deciden por márgenes cada vez más reducidos. El ciclismo, tradicionalmente considerado como uno de los deportes más exigentes (El Helou et al., 2010; Larsen, 2018), ha ido cambiando y evolucionando a lo largo de las últimas décadas, reduciendo el volumen total de kilómetros recorridos en las etapas de las grandes vueltas y aumentando la intensidad de las mismas (El Helou et al., 2010), habiendo incidido de forma directa sobre el desarrollo de la competición, y sobre las diferencias de tiempo en la clasificación final de las carreras, siendo éstas cada vez más ajustadas. La diferencia entre ganar y perder lo puede marcar una mejor optimización del rendimiento deportivo, ámbito donde se encuentra la individualización del programa de entrenamiento, un factor que ha evolucionado con el descubrimiento y creación de nuevas herramientas que permiten una mejor y más eficaz optimización del rendimiento deportivo (Kiviniemi et al., 2010). Aplicar la individualización del entrenamiento puede garantizar obtener mayores mejoras, particularmente de sujetos susceptibles a una respuesta pobre a programas de entrenamientos del corte tradicional (Kiviniemi et al., 2010). Cabe recordar que factores como la edad, el género, la raza, el nivel de estado de forma inicial y el componente genético (Bouchard et al., 1999; Bouchard & Rankinen, 2001; Rankinen et al., 2003) impiden que un programa de entrenamiento predeterminado genere unas mismas adaptaciones en todos los individuos que lo realicen (Vollaard et al., 2009).

Con el objetivo de mejorar la individualización de la prescripción del entrenamiento en los últimos años se ha propuesto la variable de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), relacionada y frecuentemente usada como un marcador de balance simpático-vagal del sistema nervioso autónomo (Botek et al., 2014; Kiviniemi et al., 2010; Vesterinen et al., 2016) con el que se puede observar el impacto de la acumulación de estrés inducido por distintas vías que puede ocurrir en períodos de alta densidad de entrenamientos y en otros de baja densidad (Bellenger et al., 2016; Borresen & Lambert, 2008; Buchheit et al., 2010), pudiendo utilizarse para la determinación del tipo de entrenamiento y el estado de recuperación en distintos tipos de actividad física, aportando información sobre el nivel de adaptación/desadaptación a la práctica de actividad física o del entrenamiento reglado (Chen et al., 2011; Kingsley et al., 2014; Nakamura et al., 2015; Saboul et al., 2016).

El entrenamiento basado en registros de la VFC se define como una forma de planificar el entrenamiento regulando la intensidad de la sesión de entrenamiento, basándose en el estado funcional cardíaco autónomo en función de los registros previos de los índices de actividad parasimpática (da Silva et al., 2019). Uno de los parámetros de la VFC considerado como índice de monitorización de la intensidad del entrenamiento, y las adaptaciones fisiológicas es la raíz media cuadrática de sucesivas diferencias de intervalos temporales medidos en milisegundos entre una onda R (refiriéndose a la actividad eléctrica del miocárdio) y la consiguiente onda R (RMSSD) (Bellenger et al., 2016; Buchheit, 2014; Plews et al., 2013) una medida que refleja la integridad del control autónomo del corazón mediado por el nervio vago (DeGiorgio et al., 2010). De cara a mejorar la prescripción del entrenamiento partiendo de la medición de la VFC se recomienda usar una media móvil semanal del LnRMSSD (Plews et al., 2012) con al menos 3 mediciones realizadas por semana (Plews et al., 2014). En relación con las adaptaciones fisiológicas, una VFC que refleje una actividad vagal más elevada ha sido asociada con mejoras en el fitness cardiorespiratorio (Gratzke et al., 2005; Hedelin et al., 2001; Huatala et al., 2003). Además, la medida del RMSSD y sus variables derivadas tienen una utilidad práctica que ayuda a identificar el nivel de fatiga global (Schmitt et al., 2015).

Previamente, el entrenamiento basado en la VFC se ha implementado en el esquí de fondo (Schmitt et al., 2018), carrera a pie (Botek et al., 2014; Kiviniemi et al., 2007; Nuuttila et al., 2017; Vesterinen et al., 2016), natación (Pla et al., 2019) y ciclismo en carretera (Javaloyes

et al., 2019; Javaloyes et al., 2020). Kiviniemi et al. (2007), quienes realizaron el primer trabajo publicado en torno la periodización del entrenamiento mediante la VFC, consiguieron obtener mayores cambios en el rendimiento evaluado respecto al grupo que siguió una planificación tradicional. En el trabajo de Schimitt et al. (2018) se obtuvo mejoras significativas del rendimiento únicamente en el grupo de entrenamiento guiado por la VFC. Javaloyes et al. (2019) y Javaloyes et al. (2020) mostraron importantes mejoras del rendimiento en un grupo de ciclistas bien entrenados tras implementar un prescripción del entrenamiento basada en la VFC respecto al grupo control. Botek et al. (2014) consiguieron que 7 de los 10 deportistas mejoraran el rendimiento de forma significativa. Si bien, no siempre se consiguen mejoras significativas en el rendimiento deportivo evaluado, aunque un aspecto a destacar es que en ciertos trabajos se consiguió llegar al mismo nivel que el grupo control habiendo dedicado menos tiempo a zonas altas de intensidad (Kiviniemi et al., 2010; Vesterinen et al., 2016).

Ante un bajo número de trabajos publicados implementando una metodología del entrenamiento basada en la VFC, aplicada en un contexto real donde intervienen factores contaminantes como por ejemplo la interacción con el calendario competitivo (Portillo & Rodríguez, 2020), situaciones de estrés diario como puede ser la preocupación relacionada con el trabajo o un estrés anticipado respecto a futuras situaciones (Pieper et al., 2007), son factores que no permiten llevar a cabo una intervención de forma controlada como en un entorno de laboratorio.

El objetivo del presente trabajo ha sido presentar un caso de transferencia en un contexto cotidiano en ciclistas amateurs de forma que se pueda considerar la viabilidad del uso de una herramienta de individualización del programa de entrenamiento según la VFC a corto y a largo plazo. Se ha hipotetizado que el control de la variable de la VFC nos proporcionaría un ahorro notable en tiempo de trabajo a una intensidad que no se adecuaría a su estado de recuperación.

2. Metodología

2.1. Participantes

Participaron inicialmente un total de 9 ciclistas voluntarios (8 chicos: 2 junior, 2 sub23, 1 élite, 1 máster 30, 1 máster 40 y 1 máster 50; 1 chica = 1 sub 23) (categorías de competición correspondientes al reglamento de la Federación Valenciana de Ciclismo (2022) que obedece directamente a la normativa de la Real Federación Española de Ciclismo y esta, directamente a la normativa de la Unión Ciclista Internacional (UCI)), teniendo todos experiencia previa en ciclismo de carretera de competición federado de los cuales los ciclistas junior y sub23 seguían en activo. Durante el año previo, los deportistas realizaban entrenamientos en bicicleta de 5 a 7 días semanales. Finalmente, tras 1 baja por lesión y 1 baja voluntaria, fueron 7 ciclistas los que completaron la intervención, siendo 6 los que cumplían el criterio de elegibilidad de haber completado un 90% de las sesiones de entrenamiento planificadas.

Para la clasificación del nivel de los sujetos se utilizó el trabajo de De Pauw et al. (2013), usando una escala que comprende desde el grupo 1 (nivel más bajo de rendimiento), hasta el 5 (nivel más alto de rendimiento), identificando así a 3 ciclistas en el grupo 2 y 3 ciclistas en el grupo 3. Además, en la Tabla 1 se puede observar los datos descriptivos del grupo incluido finalmente en el análisis de los resultado. Por último, cabe señalar que el presente estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Miguel Hernández de Elche, y se llevó a cabo bajo el código de ética del protocolo de la declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2008).

Tabla 1. Características de los participantes al inicio de la intervención.

	Promedio ± Desviación Estándar
Edad (años)	33.33 ± 15.83
Estatura (m)	1.74 ± 0.05
Masa Corporal (kg)	70.95 ± 5.87
VO₂max rel. (ml/min/kg)	56.12 ± 6.65
PPO (W)	370.83 ± 43.06
PPO rel. (W/kg)	5.24 ± 0.62
WVT2 (W)	283.33 ± 20.41
WVT2 rel. (W/kg)	4.02 ± 0.45
WVT1 (W)	183.33 ± 34.16
WVT1 rel. (W/kg)	2.61 ± 0.60
TTE (s)	136.83 ± 36.43
RM (kg)	92.60 ± 18.03
RM rel (kg/kg)	1.32 ± 0.31

Nota: kg: kilogramo; m: metros; min: minuto; ml: mililitro; PPO: pico de potencia desarrollado en la prueba de esfuerzo máximo; rel: relativo a la masa corporal; RM: repetición máxima; s: segundo; TTE: tiempo hasta la extenuación a la potencia aeróbica máxima; VO₂max: consumo de oxígeno máximo; W: watio; WVT1: potencia desarrollada en el primer umbral ventilatorio; WVT2: potencia desarrollada en el segundo umbral ventilatorio.

2.2. Diseño experimental

La intervención tuvo lugar a lo largo de 16 semanas de duración (Figura 1). Durante la 1ª semana se llevará a cabo la 1ª sesión de evaluación de cada sujeto sirviendo de familiarización para aquellos que no habían realizado con anterioridad los diferentes tests de rendimiento que se llevan a cabo en el presente estudio. Además, los valores recabados sirvieron para pautar el entrenamiento durante las primeras 4 semanas. De la 2ª a la 5ª semana se llevó a cabo un entrenamiento polarizado (Filipas et al., 2021) con el objetivo de trabajar a una intensidad por debajo del umbral aeróbico (zona 1 de intensidad) y por encima del umbral anaeróbico (zona 3 de intensidad) principalmente llevando a cabo una periodización del entrenamiento tradicional. En la 6ª semana se llevó a cabo la 2ª evaluación de cada sujeto. A continuación, de la 7ª a la 15ª semana se continuó entrenando de forma polarizada, pero esta vez se adaptó el entrenamiento según la respuesta de la VFC día a día (para más detalle, véase en el apartado “Medidas de VFC”). En la 16ª semana se realizó la última sesión de evaluación con el objetivo de determinar el impacto de la metodología de entrenamiento llevada a cabo durante las 8 semanas previas.

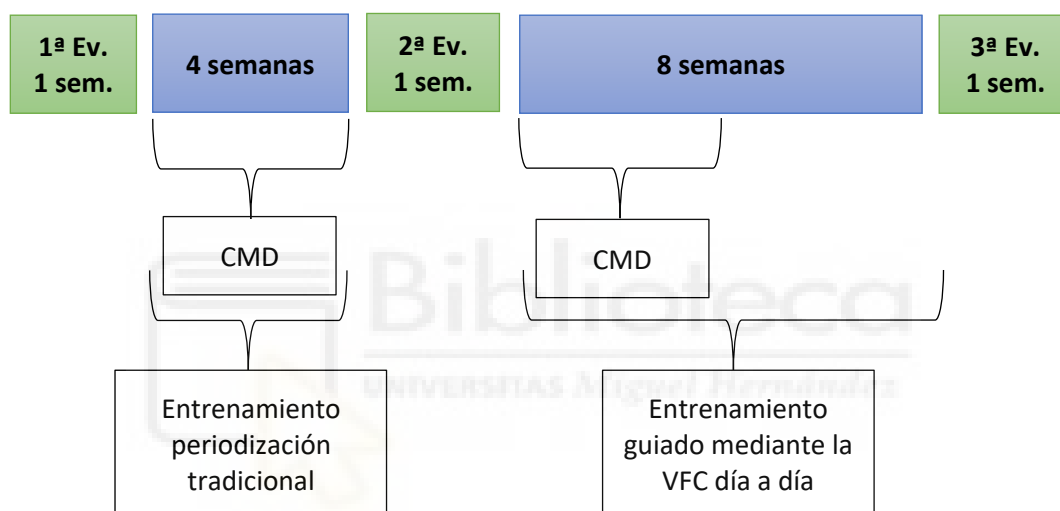


Figura 1. Distribución temporal de la intervención. Nota: CMD: cálculo del cambio mínimo detectable; Ev: evaluación; sem: semana; VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca.

2.2.1. Medidas de VFC y Toma de Decisiones

Desde el inicio de la intervención, todos los participantes fueron enseñados a medir la VFC mediante la técnica de fotoplestimografía (Charlot et al., 2009; Lee et al., 2012) usando la aplicación validada HRV4Training® (Plews et al., 2017), instalada en sus respectivos smartphones mediante una explicación en persona con el apoyo de una infografía. Cada mañana tras despertar, los deportistas debían de dirigirse al baño para vaciar la vejiga y proceder a sentarse para comenzar la medición de aproximadamente 1 minuto de duración. Se les recordaba la importancia de repetir el protocolo cada mañana y de la constancia de medir la VFC siempre en las mismas condiciones. El valor de la medición era enviada de forma automática a la plataforma Trainingpeaks® y dado que el valor recibido era un valor modificado por la app HRV4Training® a partir de la raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias sucesivas de los intervalos RR (rMSSD), se procedía a reconvertirlo de nuevo mediante la aplicación de la ecuación de reconversión a rMSSD ($rMSSD = 2.71828^{(\text{valor HRV4Training}/2)}$). Fue elegida la variable rMSSD como índice vagal basado en mayor idoneidad y validez que otros índices (Plews, Laursen, Stanley et al., 2013; Plews, Laursen, Kilding et al., 2013). Debido a la amplia variedad de resultados de las mediciones, la VFC fue transformada aplicando el logaritmo natural para

permitir la aplicación comparaciones de estadísticas paramétricas habiendo asumido una distribución normal. Con el objetivo de prescribir las sesiones de entrenamiento se calculó una media móvil de 7 días ($\text{LnRMSSD}_{7\text{días-med-mov}}$) (Plews et al., 2012). Durante el periodo base, el cambio mínimo detectable (CMD) del $\text{LnRMSSD}_{7\text{días-med-mov}}$ fue calculado como la media $\pm 0.5 \cdot \text{SD}$ (Plews et al., 2012) debido a su utilidad para prescripción del entrenamiento basado en mediciones de VFC (Vesterinen et al., 2016). El CMD fue actualizado después de las primeras 4 semanas debido a la regulación cardíaca autónoma y a la adaptación por el entrenamiento (Bellenger et al., 2016). El CMD se utilizó para dar una interpretación a los cambios en $\text{LnRMSSD}_{7\text{días-med-mov}}$ y la prescripción de entrenamiento consecuente durante las 4 semanas posteriores.

En cuanto a la toma de decisiones (Figura 2) durante las 8 semanas de entrenamiento guiado por la VFC, si el $\text{LnRMSSD}_{7\text{días-med-mov}}$ del sujeto estaba por debajo del CMD, se bajaba un nivel de intensidad dentro de los 3 tipos de sesiones planificadas (Tabla 2): de alto impacto (sesiones con bloques de series por encima del umbral anaeróbico (trabajo en zona 3) o sesiones de fondo (por encima de las 2 horas de duración (trabajo en zona 1)), de baja intensidad (sesiones realizadas por debajo del umbral aeróbico y de duración de 2 horas o inferior (trabajo en zona 1)) o descanso (descanso durante la jornada de la sesión planteada para realizarla sobre la bicicleta).

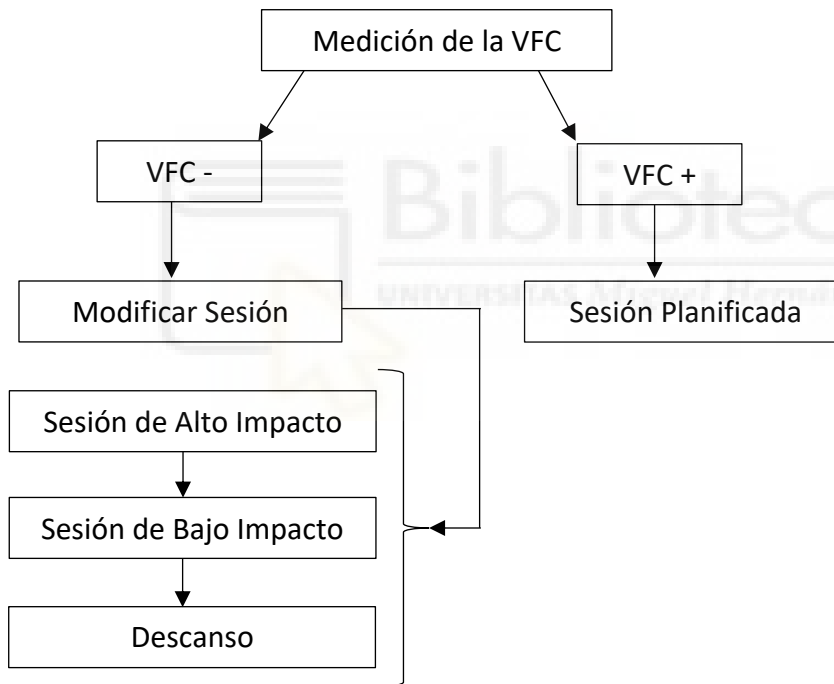


Figura 2. Algoritmo de toma de decisión para el entrenamiento guiado por la VFC. Nota: tras la medición de la VFC matinal, se valora el $\text{LnRMSSD}_{7\text{días-med-mov}}$: si se mantiene dentro del CMD (VFC+), se mantiene la sesión prescrita, por el contrario si cae fuera del CMD (VFC-), se reduce un nivel de intensidad. Si la sesión prescrita es de alto impacto (contiene series por encima del umbral anaeróbico (Z3) o se realiza un volumen >2 horas por debajo del umbral aeróbico (Z1), se pasa a una sesión de bajo impacto (≤ 2 horas en Z1), y si la sesión planificada es de bajo impacto, se descansa. VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca. Fuente: Modificado de Kiviniemi et al. (2007).

Tabla 2. Descripción de la fase de entrenamiento guiado mediante la VFC día a día.

	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8
L	2h Z1	2h Z1	2h Z1	2h Z1	2h Z1	2h Z1	2h Z1	2h Z1
M	30 min Z1 + 4x7 min Z3 (r. 3 min Z2)	30 min Z1 + 8x4 min Z3 (r. 2 min Z2)	30 min Z1 + 4x7 min Z3 (r. 3 min Z2)	30 min Z1 + 2x10 min Z3 (r. 5 min Z2)	30 min Z1 + 4x7 min Z3 (r. 3 min Z2)	30 min Z1 + 8x4 min Z3 (r. 2 min Z2)	30 min Z1 + 4x7 min Z3 (r. 3 min Z2)	30 min Z1 + 2x10 min Z3 (r. 5 min Z2)
X	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1	Gym + 90 min Z1
J	30 min Z1 + 12x2 min Z3 (r. 1 min Z2)	30 min Z1 + 3x12x40 s Z3 (r. 20 s Z2/3 min Z1)	30 min Z1 + 12x2 min Z3 (r. 1 min Z2)	30 min Z1 + 2x10 min Z3 (r. 5 min Z2)	30 min Z1 + 12x2 min Z3 (r. 1 min Z2)	30 min Z1 + 3x12x40 s Z3 (r. 20 s Z2/3 min Z1)	30 min Z1 + 12x2 min Z3 (r. 1 min Z2)	30 min Z1 + 2x10 min Z3 (r. 5 min Z2)
V	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.	Desc./ Activ.
S	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.
D	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.	3-4h Z1/ comp.

Nota: Activ: sesión de con activaciones previo a una competición; comp: competición; D: domingo; desc: descanso; Gym: sesión de fuerza; h: hora; J: jueves; L: lunes; M: martes; min: minuto; S: sábado; Sem: semana; V: viernes; X: miércoles; Z1: zona 1 de intensidad (por debajo al umbral aeróbico); Z2: zona 2 de intensidad (entre el umbral aeróbico y anaeróbico); Z3: zona 3 de intensidad (por encima del umbral anaeróbico). Fuente: Adaptado de Filipas et al. (2021).

2.3. Pruebas de Evaluación

En las tres sesiones de evaluación, se llevaron a cabo una prueba de esfuerzo incremental y tras 8 minutos de descanso activo pedaleando con una resistencia de 50 W, se realizó una prueba de tiempo límite a la potencia aeróbica máxima determinada en el anterior test. Cada ciclista usaba su bicicleta, conectada con un ratio de desarrollo de 11 piñones (11-25 dientes) a un cicloergómetro Cycleops® Hammer ergometers II (Cycleops, Madison, WI, EE. UU.) (Lillo-Bevia & Pallarés, 2018). Durante el test, la frecuencia cardíaca (Polar Bluetooth H7, Oy, Finlandia) fue monitorizada mediante la aplicación “Polar Beat” (Polar Beat, Oy, Finlandia) y luego, los datos fueron exportados mediante “Polar Flow” (Polar Flow, Oy, Finlandia). Mientras que la potencia ejercida fue regulada mediante el software “PerfPro Studio 2021” (Vision Quest Virtual LLC, IL, EE. UU.). Se realizaba una calibración del cicloergómetro cada vez que se realizaba una sesión de evaluación de cada ciclista. La incapacidad de pedalear sobre 60 rpm fue considerada como motivo para finalizar la prueba (Pallarés et al. 2020).

2.3.1. Prueba de Esfuerzo Máximo (PEM)

El protocolo del presente test consistió en realizar un calentamiento previo de 10 minutos a 50 W adoptando en este período la cadencia y desarrollo preferido, tratando de

mantener este último durante toda la sesión de evaluación de cara a prevenir un potencial efecto sobre la carga desarrollada. Una vez terminada la fase de calentamiento, se continuó con incrementos de $25 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$ (Pallarés et al., 2016) hasta llegar a la situación de máximo esfuerzo por parte del ciclista identificándose con la aparición de cualquiera de los siguientes criterios de maximalidad presentados por Howley et al. (1995): aparición de una meseta en la curva del VO_2 ante el incremento de la carga; presencia del cociente de intercambio respiratorio igual o superior a 1.10; y por último, a la llegada de la frecuencia cardíaca máxima ajustada a la edad con 10 lpm de intervalo por arriba y por debajo de la frecuencia cardíaca predicha por la fórmula de $220 - \text{edad}$.

El cálculo del consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{max}}$) fue calculado como la media de consumo de oxígeno de 15 segundos de duración más alta. Para determinar el umbral aeróbico (VT1) y el umbral anaeróbico (VT2) fueron usadas las medias de 15 segundos de O_2 y CO_2 (Pettitt et al., 2013). El intercambio respiratorio fue medido a través de un analizador de gases MasterScreen CPX (Hoechberg, Alemania), el cual fue calibrado una vez por cada sesión de mañana y otra por cada sesión de tarde.

De esta prueba se obtenían datos como la potencia al $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{PVO}_{2\text{max}}$) determinada como la potencia del último incremento completado, la potencia y frecuencia cardíaca dadas al umbral aeróbico (WVT1 y FCVT1), la potencia y frecuencia cardíaca dadas al umbral anaeróbico (WVT2 y FCWVT2).

2.3.2. Tiempo Límite a la Potencia Aeróbica Máxima

Esta prueba se realizó tras un descanso activo de 8 minutos pedaleando con una resistencia equivalente a 50 W a posteriori de la PEM. Una vez dado el comienzo a la prueba, se adoptaba la potencia aeróbica máxima obtenida durante la prueba de esfuerzo máximo realizada en la misma jornada. Durante el transcurso de la misma prueba se animó a los deportistas para acercarnos a un resultado máximo real (Midgley et al., 2017). Un aspecto a destacar es que no se permitió el feedback temporal. Se cronometró el tiempo en minutos y segundos que cada ciclista fue capaz de completar a la $\text{PVO}_{2\text{max}}$.

2.3.3. Repetición Máxima de la Media Sentadilla (RM)

Los sujetos fueron instruidos para la realización de media sentadilla en la máquina Smith a máxima velocidad realizando así un proceso de familiarización a la prueba en cada sesión de evaluación. El protocolo elegido fue el de media sentadilla de Martínez-Cava et al. (2019). Para ello se les comunicó que la fase concéntrica del movimiento debía de ser realizada con la intencionalidad de máxima velocidad, mientras que únicamente se tenía en cuenta la velocidad media concéntrica del movimiento (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

Cada deportista debía de realizar series de 2 repeticiones. Durante la realización del test se les comunicaba que se debía de realizar tratando de mantener la barra siempre en contacto con la espalda y hombros. Se realizó una pausa de 1 segundo en el momento de finalizar la fase excéntrica, antes de dar el paso a la fase concéntrica del movimiento (Pallarés et al. 2014) para aumentar la fiabilidad de la propia medición y siempre manteniendo el contacto con el suelo, permitiendo el levantamiento de los talones hacia el final de la fase concéntrica. Entre cada serie se mantuvo un tiempo de descanso de al menos 2 minutos. Se tuvo en cuenta únicamente la repetición con velocidad media en la fase concéntrica más alta de cada serie. La carga inicial fue calculada dependiendo del rendimiento de los deportistas en los antecedentes del trabajo de fuerza, y fue aumentada con 5-20 kg hasta que los deportistas sobrepasaran la velocidad media en la fase concéntrica de $0.60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (i.e. $\sim 70\%$ RM) (Martínez-Cava et al., 2019). El promedio de la mejor velocidad máxima asociada a las 3 cargas más pesadas fueron usadas para la estimación de la carga desplaza a 1RM (1RM estimada) basándose en la ecuación propuesta para la media sentadilla (carga de media sentadilla = $44.314 \text{ MV}^2 - 180.000 \text{ MV} + 148.53$) (Martínez-Cava et al., 2019). Además, los valores de fuerza fueron individualizados de acuerdo con el ratio de la 1RM

estimada relativa ($RE_{estimada} = 1RM/masa\ corporal$). Las mediciones se realizaron en una máquina Smith que permitía únicamente el desplazamiento vertical de la barra a lo largo una guía fija. Para las medición de la velocidad media de la fase concéntrica del movimiento se usó un transductor de velocidad lineal Speed4Lift® (Vitruve, Madrid, España) (Pérez-Castilla et al. 2019) vinculado con el software Vitruve® instalado en un ordenador Apple® Macbook Air 2021 (Apple, Ca, EE. UU.).

2.3.4. Cálculo de Composición Corporal

Mediante el uso de la báscula de bioimpedancia (Tanita® Body Composition Analyzer BC-420MA) se registraron los parámetros referentes a la composición corporal: masa corporal (kg), porcentaje graso (%), masa grasa (kg), masa magra (kg), masa muscular (kg), masa de agua (kg), porcentaje de agua (%), masa ósea (kg), metabolismo basal (kJ y kcal), edad metabólica (años), valoración de grasa visceral e índice de masa corporal (kg/m^2).

Se estandarizó el protocolo de medida haciendo que los deportistas solo vistiesen el pantalón de la equipación de ciclista, estando totalmente descalzos y sin portar ningún objeto metálico en el cuerpo.

2.4. Análisis Estadístico

La homogeneidad de los datos fue comprobada con una prueba de Kolmogorov-Smirnov de una muestra para probar si los datos de cada variable cumplían una distribución normal. Dado que se cumplía una distribución normal, los datos han sido presentados como medias (SD) (Tabla 1 y 3).

Con el objetivo de valorar el efecto de la intervención se realizó una prueba T-test intragrupo comparando las medidas cogidas antes de la intervención (PRE) con las medidas tras la intervención (POST). Los resultados fueron analizados con el software de análisis estadístico JASP 0.16.3 (Ámsterdam, Holanda, 2022).

3. Referencias

- Asociación Médica Mundial AMM. (2008). *Declaración de Helsinki*. (Recuperado en septiembre de 2008). <https://www.wma.net/s/ethicsunit/helsinki.htm>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports medicine*, *38*(8), 633-646. Doi: 10.2165/00007256-200838080-00002
- Botek, M., McKune, A. J., Krejci, J., Stejskal, P., & Gaba, A. (2014). Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *International Journal of Sports Medicine*, *35*(06), 482-488. Doi: 10.1055/s-0033-1354385
- Bouchard, C., & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, *33*(6 Suppl), S446-S453. Doi: 10.1097/00005768-200106001-00013
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A. S., & Rao, D. C. (1999). Familial aggregation of VO₂max response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of applied physiology*, *87*(3), 1003-1008. Doi: 10.1152/jappl.1999.87.3.1003
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Frontiers in physiology*, *5*, 73. Doi: 10.3389/fphys.2014.00073
- 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. Doi: 10.1007/s00421-009-1317-x
- Charlot, K., Cornolo, J., Brugniaux, J. V., Richalet, J. P., & Pichon, A. (2009). Interchangeability between heart rate and photoplethysmography variabilities during sympathetic stimulations. *Physiological measurement*, *30*(12), 1357. Doi: 10.1088/0967-3334/30/12/005
- Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. D., Chen, C. C., Kuo, T. B., Kao, C. L., & Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of strength and conditioning research*, *25*(6), 1546-1552. Doi: 10.1519/JSC.0b013e3181da7858
- da Silva, D. F., Ferraro, Z. M., Adamo, K. B., & Machado, F. A. (2019). Endurance running training individually guided by HRV in untrained women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(3), 736-746. Doi: 10.1519/JSC.0000000000002001
- De Pauw, K., Roelands, B., Cheung, S. S., De Geus, B., Rietjens, G., & Meeusen, R. (2013). Guidelines to classify subject groups in sport-science research. *International journal of sports physiology and performance*, *8*(2), 111-122. Doi: 10.1123/ijspp.8.2.111
- DeGiorgio, C. M., Miller, P., Meymandi, S., Chin, A., Epps, J., Gordon, S., Gornbein, J., & Harper, R. M. (2010). RMSSD, a measure of vagus-mediated heart rate variability, is associated with risk factors for SUDEP: the SUDEP-7 Inventory. *Epilepsy & behavior: E&B*, *19*(1), 78-81. Doi: 10.1016/j.yebeh.2010.06.011
- El Helou, N., Berthelot, G., Thibault, V., Tafflet, M., Nassif, H., Campion, F., ... & Toussaint, J. F. (2010). Tour de France, Giro, Vuelta, and classic European races show a unique

progression of road cycling speed in the last 20 years. *Journal of sports sciences*, 28(7), 789-796. Doi: 10.1080/02640411003739654

- Federación de Ciclismo de la Comunidad Valenciana (16 de mayo del 2022). *Normativas del Ciclismo Valenciano*. https://yosoyciclista.s3.amazonaws.com/documentos/smartweb/menu/1480/doc_61fcf1781b38c7_10386323_0--20220121---Normativas-del-Ciclismo-Valenciano---FCCV.pdf
- Filipas, L., Bonato, M., Gallo, G., & Codella, R. (2021). Effects of 16 weeks of pyramidal and polarized training intensity distributions in well-trained endurance runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 32(3), 498-511. Doi: 10.1111/sms.14101
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine*, 31(05), 347-352. Doi: 10.1055/s-0030-1248333
- Gratze, G., Rudnicki, R., Urban, W., Mayer, H., Schlogl, A., & Skrabal, F. (2005). Hemodynamic and autonomic changes induced by Ironman: prediction of competition time by blood pressure variability. *J. Appl. Physiol.* 99, 1728–1735. Doi: 10.1152/jappphysiol.00487.2005
- 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 and Circulatory Physiology*, 285(4), H1747-H1752. Doi: 10.1152/ajpheart.00202.2003
- Hedelin, R., Bjerle, P., & Henriksson-Larsen, K. (2001). Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(8), 1394-1398. Doi: 10.1097/00005768-200108000-00023
- Howley, E. T., Bassett, D. R. Jr., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 1292–1301.
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart-rate variability in cycling. *International journal of sports physiology and performance*, 14(1), 23-32. Doi: 10.1123/ijsp.2018-0122
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2020). Training prescription guided by heart rate variability vs. block periodization in well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1511-1518. Doi: 10.1519/JSC.0000000000003337
- Kingsley, J. D., Hochgesang, S., Brewer, A., Buxton, E., Martinson, M., & Heidner, G. (2014). Autonomic modulation in resistance-trained individuals after acute resistance exercise. *International journal of sports medicine*, 35(10), 851-856. Doi: 10.1055/s-0034-1371836
- 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. Doi: 10.1007/s00421-007-0552-2
- 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. Doi: 10.1249/mss.0b013e3181cd5f39

- Larsen, J. (2018). Commuting, exercise and sport: an ethnography of long-distance bike commuting. *Social & Cultural Geography*, 19(1), 39-58. Doi: 10.1080/14649365.2016.1249399
- Lee, J., Reyes, B. A., McManus, D. D., Mathias, O., & Chon, K. H. (2012). Atrial fibrillation detection using a smart phone. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2012*, 1177–1180. Doi: 10.1109/EMBC.2012.6346146
- Lillo-Bevia, J. R., & Pallarés, J. G. (2018). Validity and reliability of the cycleops hammer cycle ergometer. *International journal of sports physiology and performance*, 13(7), 853-859. Doi: 10.1123/ijsp.2017-0403
- Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Velocity-and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. *Journal of Sports Sciences*, 37(10), 1088-1096. Doi: 10.1080/02640414.2018.1544187
- Midgley, A. W., Marchant, D. C., & Levy, A. R. (2018). A call to action towards an evidence-based approach to using verbal encouragement during maximal exercise testing. *Clinical physiology and functional imaging*, 38(4), 547-553. Doi: 10.1111/cpf.12454
- 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.
- Nuuttila, O. P., Nikander, A., Polomoshnov, D., Laukkanen, J. A., & Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-Guided vs. Predetermined Block Training on Performance, HRV and Serum Hormones. *International journal of sports medicine*, 38(12), 909–920. Doi: 10.1055/s-0043-115122
- Pallarés, J. G., Lillo-Bevia, J. R., Morán-Navarro, R., Cerezuela-Espejo, V., & Mora-Rodriguez, R. (2020). Time to exhaustion during cycling is not well predicted by critical power calculations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(7), 753-760. Doi: 10.1139/apnm-2019-0637
- Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E., & Mora-Rodriguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PloS one*, 11(9), e0163389. Doi: 10.1371/journal.pone.0163389
- Pallarés, J. G., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., De La Cruz-Sánchez, E., & Mora-Rodriguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1165-1175. Doi: 10.1080/02640414.2014.889844
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *Journal of strength and conditioning research*, 33(5), 1258–1265. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003118>
- Pettitt, R. W., Clark, I. E., Ebner, S. M., Sedgeman, D. T., & Murray, S. R. (2013). Gas Exchange Threshold and V [Combining Dot Above] O2max Testing for Athletes: An Update. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 549-555. Doi: 10.1519/JSC.0b013e31825770d7

- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R., & Thayer, J. F. (2007). Cardiac effects of momentary assessed worry episodes and stressful events. *Psychosomatic medicine*, *69*(9), 901-909. Doi: 10.1097/PSY.0b013e31815a9230
- Pla, R., Aubry, A., Resseguier, N., Merino, M., Toussaint, J. F., & Hellard, P. (2019). Training organization, physiological profile and heart rate variability changes in an open-water world champion. *International Journal of Sports Medicine*, *40*(08), 519-527. Doi: 10.1055/a-0877-6981
- 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. Doi: 10.1007/s00421-012-2354-4
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. *International journal of sports physiology and performance*, *8*(6), 688-691. Doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.6.688>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., and Buchheit, M. (2014). Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* *9*, 783–790. Doi: 10.1123/IJSP.2013-0455
- 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. Doi: 10.1007/s40279-013-0071-8
- Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E., & Laursen, P. B. (2017). Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, Polar H7 chest strap, and electrocardiography. *International journal of sports physiology and performance*, *12*(10), 1324-1328. Doi: 10.1123/ijsp.2016-0668
- Portillo, A., & Rodríguez, F. A. (2020). Monitoring Stress–Recovery Balance with Heart Rate Variability and Perceptual Load Markers During a Competitive Micro-cycle in Elite Ski Mountaineers. *Journal of Science in Sport and Exercise*, *2*(2), 132-144. Doi: 10.1007/s42978-020-00054-5
- Rankinen, T., Rice, T., Boudreau, A., Leon, A. S., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Rao, D. C., & Bouchard, C. (2003). Titin is a candidate gene for stroke volume response to endurance training: the HERITAGE Family Study. *Physiological genomics*, *15*(1), 27–33. Doi: 10.1152/physiolgenomics.00147.2002
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European journal of sport science*, *16*(2), 172-181. Doi: 10.1080/17461391.2015.1004373
- Schmitt, L., Regnard, J., & Millet, G. P. (2015). Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: an avenue beyond RMSSD?. *Frontiers in physiology*, *6*, 343. Doi: 10.3389/fphys.2015.00343
- Schmitt, L., Willis, S. J., Fardel, A., Coulmy, N., & Millet, G. P. (2018). Live high–train low guided by daily heart rate variability in elite Nordic-skiers. *European journal of applied physiology*, *118*(2), 419-428. Doi: 10.1007/s00421-017-3784-9
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual endurance training prescription with heart rate variability. *Medicine and science in sports and exercise*, *48*(7). Doi: 10.1249/MSS.0000000000000910
- 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. Doi: 10.1152/jappphysiol.91453.2008

