

**Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, Lactatemia e IL-6 y su Relación
con el Umbral de Potencia Funcional en Ciclistas de Competición**

JAVIER PORRAS ALVAREZ

Universidad de Caldas

**Tesis de Doctorado Presentada como Requisito Parcial para Optar al Título de
Doctor en Ciencias Biomédicas**

Director. IVÁN LEONARDO DUQUE VERA Ph.D

Cotutor. DANIEL BOTERO ROSAS Ph.D

Noviembre de 2022

Comité Tutorial

IVAN LEONARDO DUQUE VERA Ph.D.

DANIEL ALFONSO BOTERO ROSAS Ph.D

Jurados

Nombre: **EVELYN COLINA GALLO**

Título: Doctora en Ciencias Biomédicas

Fecha d/m/aaaa: 4 de noviembre de 2022

Nombre: **JULIO ALEJANDRO GÓMEZ FIGUEROA**

Título: Doctor en Educación

Fecha d/m/aaaa: 4 de noviembre de 2022

Nombre: **HENRY HUMBERTO LEÓN ARIZA**

Título: Doctor en Biociencias

Fecha d/m/aaaa: 4 de noviembre de 2022

Dedicatoria

Al término de este proyecto agradezco infinitamente a Dios y la santísima virgen María, a mi amada esposa Aura Milena Bedoya Monroy y mis hermosas hijas Erika Melissa y Valerie Estefany por su motivación durante todo el proceso académico, a mis padres, hermano y hermanas, en especial a Martha Inés. De igual forma, a la profesora María Olinda Bernal Calderón, Dr. Iván Leonardo Duque Vera, Dr. Daniel Botero Rosas por acompañar y guiar en la consecución de esta meta.

Este reconocimiento también a la Universidad de Caldas, en especial al Doctorado en Ciencias Biomédicas, los cuales hacen posible la formación de personas con el más alto nivel científico.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a las personas e instituciones que hicieron posible desarrollar esta investigación, en especial a: Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Caldas; Departamento Acción Física Humana Universidad de Caldas; Grupo investigación FIMED Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Laboratorio cuantificación de citocinas. Universidad Tecnológica de Pereira, Dr. Juan Carlos Sepúlveda; laboratorios clínicos Dra. Ayidé Taborda y Facultad de Salud Universidad de Caldas; Ciclistas participantes en este estudio; profesor Rubén Darío Beltrán y profesor Ángel Yesid Camargo.

Tabla de Contenido

Introducción	19
1.1. Descripción del Problema	21
1.2. Formulación del Problema	23
1.3. Objetivos de la Investigación	24
1.3.1. Objetivo General	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	24
1.4. Hipótesis de la investigación	24
2. Capítulo II: Marco Teórico y de Referencia.....	24
2.1. Rendimiento Físico y Rendimiento Deportivo	24
2.2. Potencia Media Máxima (PM_{max}).....	27
2.2.1. Contrarreloj de 20 minutos (P_{20})	28
2.2.2. Umbral de Potencia Funcional (UPF).....	28
2.2.4. $UPF_{20.95\%W.kg^{-1}}$	29
2.3. Interleucinas (IL).....	29
2.3.1. $TNF-\alpha$	30
2.3.2. $IL-6$	31
2.4. Lactatemia.....	32
2.5. Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC).....	34
2.5.1. <i>VFC en Reposo y Durante el Ejercicio</i>	37
2.5.2. <i>VFC en la Reactividad Parasimpática y Recuperación</i>	38
2.5.3. <i>Evaluación de VFC</i>	40
2.5.3.1. <i>Método Dominio Tiempo</i>	40
2.5.3.2. Índice AcPa (PNS index).....	42
2.5.3.3. Índice AcSi (SNS index).....	44
2.5.3.4. <i>Método Dominio Frecuencia</i>	45
2.5.3.5. Método no Lineal.....	46

3. Capítulo III. Marco Metodológico	47
3.1. Enfoque o Paradigma de Investigación	47
3.1.1. Tipo de Estudio	47
3.2. Población Universo	47
3.2.1. Muestra	48
3.3. Aspectos Éticos de la Investigación	48
3.4. Protocolos y Procedimientos	48
3.5. Umbral de Potencia Funcional (UPF)	49
3.6. Determinación y Cuantificación de Interleucinas	51
3.7. Lactatemia	52
3.8. Evaluación de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca.	53
3.9. Análisis Estadístico	54
3.9.1. Regresión Lineal Simple	54
4. Capítulo IV. Resultados	56
4.1. Valores del Umbral de Potencia Funcional	56
4.2. Valores de Interleucinas Antes y Después de P₂₀	57
4.3. Valores de Lactato	58
4.4. VFC en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación	59
4.5. Relación Interleucinas con UPF_{20.95%}W·kg⁻¹ y VFC	60
4.6. Relación Lactatemia con UPF_{20.95%}W y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹	60
4.6.1. Relación Remoción Lactato-3min y Reactividad Parasimpática-3min 61	
4.7. Relación AcPa en reposo con UPF_{20.95%}W y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹	62
4.8. Relación AcSi en reposo con UPF_{20.95%}W y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹	62
UPF_{20.95%}W·kg⁻¹	63
4.8.1. Índice AcPa y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹	63
4.8.2. Índice AcSi y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹	64

4.8.3. Relación Reactividad Parasimpática y Recuperación AcPa y AcSi con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$	64
5. Capítulo V. Discusión y Conclusión	66
5.1. Umbral de Potencia Funcional	66
5.2. Relación IL-6 con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$	69
5.3. Relación Lactatemia con $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ y con AcPa	71
5.3.1. AcPa en Reposo y Relación con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$	73
5.3.2. Relación Reactividad Parasimpática y AcPa en la Recuperación con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$	76
5.4. Conclusiones	79
6. Perspectivas, Recomendaciones y Limitaciones	80
Referencias	81
Anexos	96

Lista de tablas

Tabla 1 Zonas de Entrenamiento	28
Tabla 2 Categorías de Rendimiento Deportivo en Ciclismo	29
Tabla 3 Índice y Unidades de Medida Dominio Tiempo VFC	40
Tabla 4 Índices y Unidades de Medida Dominio Frecuencia VFC	45
Tabla 5 Calentamiento Previo a P ₂₀	50
Tabla 6 Datos Demográficos, Antropométricos y Hematológicos de los participantes (Promedio y DE).....	56
Tabla 7 Valores de Interleucinas en Plasma Antes y 15 Minutos pos-P ₂₀	57
Tabla 8 Pruebas de Normalidad.....	57
Tabla 9 Valores de Lactato y Pruebas de Normalidad	58
Tabla 10 Comparación de lactato pre y pos-P ₂₀	58
Tabla 11 AcPa en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación. Dominio Tiempo.....	59
Tabla 12 AcPa en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación. Dominio Frecuencia.....	59
Tabla 13 AcSi en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación	60
Tabla 14 Relación Lactatemia con UPF _{20.95%} W y UPF _{20.95%} W.kg ⁻¹	60
Tabla 15 Relación Remoción Lactato-3min y Reactividad Parasimpática-3min.....	61
Tabla 16 Regresión VFC con UPF _{20.95%} W y UPF _{20.95%} W.kg ⁻¹	62
Tabla 17 Relación AcSi con UPF _{20.95%} W y UPF _{20.95%} W.kg ⁻¹	63
Tabla 17 Reactividad Parasimpática y Recuperación AcPa y AcSi con el UPF _{20.95%} W.kg ⁻¹	64

Lista de Figuras

Figura 1 Tacograma VFC en Reposo.....	41
Figura 2 Histograma VFC en Reposo.....	42
Figura 3 Índice AcPa.....	43
Figura 4 Índice AcSi.....	44
Figura 5 Diagrama de Poincaré.....	46
Figura 6 P ₂₀	50
Figura 7 Vatios Durante P ₂₀	51
Figura 8 Muestras Plasma Sanguíneo de Ciclistas	52
Figura 9 Equipo Luminex Xmap y Curva de Calibración de Citocinas Nota: La figura de la derecha muestra la curva de calibración para IL-6.	52
Figura 10 Medición de Lactato pre y post P ₂₀	53
Figura 11 Regresión índice AcPa y UPF _{20.95%} W.kg ⁻¹	63
Figura 12 Regresión AcSi y UPF _{20.95%} W.kg ⁻¹	64
Figura 13 Reactividad Parasimpática y Perfil de Potencia	65
Figura 14 Recuperación y Perfil de Potencia	66

Lista de Anexos

Anexo 1 Aval Comité de Bioética	96
Anexo 2 Consentimiento Informado.....	97
Anexo 3 Análisis VFC en Reposo Métodoa Dominio Tiempo, Frecuencia y no Lineal	98
Anexo 4 Análisis del índice AcPa y AcSi en Reposo	100
Anexo 5 Presentación Avances de Investigación	101
Anexo 6 Prueba de Hematología	102
Anexo 7 Aplicación y Análisis de los Resultados por la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca	103
Anexo 8 Valores de Lactato y de UPF	107
Anexo 9 Valores de TNF- α e IL-6 Antes y 15 Minutos Después de P ₂₀	108
Anexo 10 VFC Reposo Durante 5 Minutos.....	109
Anexo 11 VFC Recuperación Activa Durante 5 Minutos	110
Anexo 12 VFC Reactividad Parasimpática 3 Minutos.....	111

Lista de Símbolos y Abreviaciones

AcPa: Actividad parasimpática.

AcSi: Actividad simpática.

FFT: Transformada rápida de Fourier.

HF: Altas frecuencias.

IL: Interleucina.

P₂₀: Prueba contrarreloj de 20 minutos de duración.

PM_{max}: Potencia media máxima

√RMSSD (ms): Raíz cuadrada del valor medio de las diferencias entre los latidos cardiacos sucesivos.

SDNN (ms): Desviación estándar de todos los latidos normales.

SNA: Sistema nervioso autónomo

TNF-α: Factor de necrosis tumoral alfa

UPF: Umbral de potencia funcional

UPF_{20,95%}W·kg⁻¹: Perfil de potencia de acuerdo al umbral de potencia funcional

UPF_{20,95%}W: Promedio de vatios en el umbral de potencia funcional al 95% de los vatios

VFC: Variabilidad de la frecuencia cardiaca

Resumen

Objetivo. Establecer la relación entre la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, lactatemia e IL-6 con el rendimiento físico obtenido en el Umbral de Potencia Funcional en ciclistas de nivel competitivo.

Materiales y Métodos. Participaron 29 ciclistas hombres de nivel competitivo con valores promedio de edad de 22.2 ± 3.7 años, peso corporal de 60.0 ± 5.9 kg, estatura de 1.7 ± 0.5 m, experiencia en ciclismo de 6.5 ± 3.7 años. Todos pasaron con éxito un examen médico-deportivo para establecer el estado de salud previo a la prueba y firmaron el consentimiento informado. El test para determinar el umbral de potencia funcional (UPF) se realizó mediante una prueba contrarreloj de 20 minutos (P_{20}), utilizando el ergómetro Tacx Vortex® y la bicicleta de propiedad de cada ciclista.

Interleucinas: Se evaluaron TNF- α e IL-6, para lo cual se obtuvo una muestra de sangre de 5mL antes y 15 minutos post- P_{20} . Las muestras de plasma fueron conservadas a una temperatura de -70 °C hasta su análisis y luego se descongelaron para el procesamiento mediante citometría de flujo (xMAP, Luminex corporation, US).

Lactatemia: La evaluación del lactato se realizó antes, inmediatamente finalizó P_{20} y tres minutos después de P_{20} utilizando el lactímetro Lactate Scout®.

Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Esta se evaluó en reposo, reactividad parasimpática y recuperación post- P_{20} . El registro de datos se realizó latido a latido cardíaco, analizado en parámetros lineales y no lineales.

Análisis Estadístico: Inicialmente se realizó prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov). La significancia se estableció mediante test t (de Student) o U de Mann-Whitney, según correspondió. Para determinar la existencia de relación entre lactatemia,

IL-6 y variabilidad de la frecuencia cardiaca con el rendimiento físico del umbral de potencia funcional se utilizó prueba estadística de regresión lineal. Las diferencias se consideraron significativas cuando $p < 0.05$.

Resultados. El rendimiento físico determinado por el perfil de potencia o potencia media máxima relativa $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$, fue de 4.3 ± 0.4 , correspondiente a la categoría de clasificación “muy buena”. El valor de la concentración de TNF- α e IL-6 no presentó diferencia significativa entre los momentos pre- P_{20} y 15 minutos post- P_{20} . No existió relación entre IL-6 y el rendimiento físico del $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ o la respuesta autonómica cardiovascular.

El valor promedio de lactatemia pre- P_{20} fue 2.2 ± 0.7 mmol/L⁻¹. Post- P_{20} fue de 11.9 ± 2.8 mmol/L⁻¹, tres minutos post- P_{20} fue 11.8 ± 2.8 mmol/L⁻¹ y la remoción de lactato fue de 0.86 ± 2.44 . Existió relación significativa positiva entre la concentración de lactato post- P_{20} con el rendimiento físico $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$. No existió relación significativa entre remoción de lactato post- P_{20} con rendimiento físico, $p < 0.05$.

Se demostró una relación positiva en reposo entre la actividad parasimpática en los parámetros: SDNN (ms), \sqrt{RMSSD} (ms), SD1 (ms), PNS index, HF (ms²) FFT, Total power (ms²) FFT, HF (ms²) AR, HF (%) AR, HF (n.u.) AR y Total power (ms²) AR con el $UPF_{20}W \cdot kg^{-1}$, todos $p < 0.000$. Por su parte, la actividad simpática (SNS index) en reposo mostró una relación negativa con el perfil de potencia $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$.

Conclusiones. Los ciclistas con mayor AcPa en reposo presentaron tanto mayor $UPF_{20.95\%}W$ como $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$. Lo cual, muestra que AcPa es un parámetro para predecir el rendimiento físico de acuerdo con el UPF en ciclistas de nivel competitivo. Adicionalmente, el índice AcPa plantea un escenario para una posible identificación de predisposición genética a los deportes de resistencia de larga duración, porque un alto

tono vagal cardiaco es importante para conferir mayor tolerancia a la intensidad del entrenamiento, esencial para lograr un superior rendimiento físico.

Los ciclistas con mayor $UPF_{20.95\%W}$ y $UPF_{20.95\%W.kg^{-1}}$ presentaron tanto una mayor reactividad parasimpática como una mayor recuperación de AcPa, así como una relación significativa negativa con el índice AcSi. Los índices AcPa y AcSi se convierten en una alternativa a la capacidad cardiorrespiratoria máxima y lactatemia para identificar la adaptación a la intensidad del entrenamiento, presencia de fatiga post-entrenamiento o post-competición y monitorear el rendimiento físico en ciclistas de nivel competitivo. Además, el índice AcPa es mejor indicador que el \sqrt{RMSSD} o las HF ya sea por la FFT o AR en reactividad parasimpática y recuperación de forma activa.

P_{20} es una prueba alternativa a P_{60} , su realización involucra principalmente el metabolismo glucolítico, no induce la producción significativa de IL-6, tampoco induce la producción significativa de TNF- α 15 minutos post- P_{20} , indicando que es una prueba que se puede realizar indistintamente en cualquier periodo de entrenamiento, dentro de la preparación anual de un ciclista de ruta.

Palabras Clave: Atletas; Citocinas; Interleucinas; Sistema Nervioso Autónomo; Sistema Nervioso Parasimpático.

Heart Rate Variability, Lactate and IL-6 and their Relationship to Functional Threshold Power in Competitive Cyclists

Abstract

Objective: To establish the relationship between Heart Rate Variability (HRV), lactatemia and IL-6 with the physical performance obtained in the Functional Threshold Power (FTP) in competitive level cyclists.

Methods: In this study 29 male cyclists competitive level participated. The data are presented in mean and standard deviation, with an age of 22.2 ± 3.7 years, body weight of 60 ± 5.9 kg, height of 1.7 ± 0.5 m and old experience in cycling training 6.5 ± 3.7 years. All successfully passed a sports-medical examination to establish their health status prior to the test and signed the informed consent.

Protocols and procedures. The test to determine the FTP was carried out using a 20-min time trial (P_{20}), using a Tacx Vortex® cycle ergometer and a bicycle owned by each cyclist. 20-min time trial

Interleukin. TNF- α and IL-6 were evaluated, for which a 5mL blood sample was obtained before and 15 min post- P_{20} . The blood plasma samples were stored at a temperature of -70 °C until analysis and then thawed for processing by flow cytometry (xMAP, Luminex corporation, US).

Lactate. Evaluation was carried before, immediately ended P_{20} and 3 minutes after P_{20} , using lactate scout.

HRV. It was evaluated before, parasympathetic reactivity and recuperation with spontaneous breathing after P_{20} . The data was recorded from beat to beat, analyzed in

the time domain, frequency and non-linear parameters.

Statistical analysis. Initially, the Kolmogorov-Smirnov normality test was performed. Significance was established using the Student's t test when the data were distributed in a normal way, otherwise the nonparametric Mann-Whitney U test was used. To determine the existence of a relationship between HRV, lactatemia, cytokines and physical performance at the FTP, the linear regression statistical test was used. Differences were considered significant when p value <0.05.

Results. The physical performance in the $FTP_{20.95\%W\cdot kg^{-1}}$ was 4.3 ± 0.4 , to the "very good" classification category corresponds.

Interleukin. The value of the TNF- α and IL-6 did not present a significant difference between the pre- P_{20} and post- P_{20} moments. There is no relationship between IL-6 and $FTP_{20.95\%W\cdot kg^{-1}}$ physical performance or the HRV.

Lactate. The pre- P_{20} concentration was 2.2 ± 0.7 mmol/L⁻¹, immediately ended P_{20} was 11.9 ± 2.8 mmol/L⁻¹, at 3-minute post- P_{20} it was 11.8 ± 2.8 mmol/L⁻¹ and lactate turnover post- P_{20} was 0.86 ± 0.44 mmol/L⁻¹. There was a significant positive relationship between post- P_{20} lactate concentration with $FTP_{20.95\%W\cdot kg^{-1}}$ physical performance. There was no significant relationship between Lactate removal- P_{20} with physical performance, $p < 0.05$.

HRV. There was a positive relationship at rest with spontaneous respiration between parasympathetic activity (SDNN (ms), \sqrt{RMSSD} (ms), SD1 (ms), PNS index, HF (ms²) FFT, Total power (ms²) FFT, HF (ms²) AR, HF (%) AR, HF (nu) AR, Total power (ms²) AR), with the physical performance obtained in $UPF_{20.95\%W\cdot kg^{-1}}$, all p, <0.000. On the other hand, the sympathetic activity (SNS index) showed a negative relationship with $FTP_{20.95\%W\cdot kg^{-1}}$ physical performance.

Conclusions. Cyclists with higher resting PNS index presented higher $FTP_{20.95\%W}$ and $FTP_{20.95\%W.kg^{-1}}$. This shows that PNS index is a parameter to predict physical performance according to UPF in competitive cyclists. Additionally, the PNS index poses a scenario for a possible identification of genetic predisposition to long endurance sports, because a high cardiac vagal tone is important to confer greater tolerance to training intensity, essential to achieve superior physical performance.

Cyclists with higher $FTP_{20.95\%W}$ and $FTP_{20.95\%W.kg^{-1}}$ presented both higher parasympathetic reactivity and higher PNS index recovery, as well as a significant negative relationship with the SNS index. PNS and SNS index become an alternative to maximal cardiorespiratory capacity and lactate to identify adaptation to training intensity, presence of post-training or post-competition fatigue and monitor physical performance in competitive level cyclists. In addition, PNS index is a better indicator than \sqrt{RMSSD} or HF by either FFT or AR.

P_{20} is an alternative test to P_{60} , its performance involves mainly glycolysis metabolism, it does not induce significant IL-6 production, nor does it induce significant TNF- α production 15 minutes post- P_{20} , indicating that it is a test that can be performed indistinctly in any training period, within the annual preparation of a road cyclist.

Keywords: Athletes, Autonomic nervous system; Cytokines; Interleukins; Parasympathetic nervous system.

Introducción

El rendimiento deportivo de los ciclistas colombianos ha sido excepcional desde hace 50 años, evidenciado en juegos olímpicos, campeonatos mundiales y en las tres grandes vueltas (1). Una forma actual de programar el entrenamiento y clasificar el rendimiento físico en ciclismo, es mediante la determinación de la potencia media máxima que un ciclista puede mantener a un ritmo constante durante una hora, denominado umbral de potencia funcional (UPF) (2). Por su parte, la lactatemia es el parámetro utilizado con mayor frecuencia como biomarcador metabólico para programar el entrenamiento, evaluar y predecir el rendimiento físico (3).

Las adaptaciones inducidas por el ejercicio sobre el sistema nervioso autónomo (SNA), son ocasionadas principalmente por el entrenamiento de resistencia de larga duración como el ciclismo de ruta. En este sentido, la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) refleja la modulación autonómica cardiovascular en reposo, reactivación parasimpática y recuperación del SNA antes, durante y después del ejercicio (4–6), la cual puede ser utilizada para monitorear el rendimiento, la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento y la presencia de fatiga en ciclismo de ruta (7).

Por otra parte, el esfuerzo físico intenso, prolongado y la falta de suficiente recuperación entre las sesiones de ejercicio, han sido responsabilizados de producir un fenómeno inflamatorio sistémico y una afectación transitoria de la respuesta inmune (8,9). La noción de la concentración de citocinas pro-inflamatorias como TNF- α y antiinflamatorias como IL-6 en una prueba física brinda disposiciones para su utilización en el entrenamiento deportivo. Así mismo, hallar relación entre lactatemia, citocinas y VFC con el rendimiento físico, ofrece orientaciones para monitorear, clasificar y predecir el rendimiento físico en ciclismo de ruta.

Convencionalmente, los valores del rendimiento físico son presentados de acuerdo con la relación vatio/peso corporal ($W.kg^{-1}$); los de la respuesta autonómica cardiovascular en milisegundos; los de la concentración de citocinas en pg/mL y lactato en $mmol/L^{-1}$. Estos datos permiten hacer análisis de la respuesta autonómica cardiovascular, lactatemia, citocinas antes y después del ejercicio.

El proceso metodológico consistió en la realización de una prueba contrarreloj de 20 minutos, mediante la cual se determinó el UPF y el perfil de potencia. Se evaluó la concentración de lactato, citocinas en sangre y la respuesta autonómica cardiovascular antes y después de esta prueba. La respuesta autonómica cardiovascular se evaluó mediante la VFC antes de P_{20} y tres y cinco minutos post- P_{20} , todo ello, con respiración espontánea. La hipótesis es que Il-6 se incrementa significativamente 15 minutos post- P_{20} y que tanto la VFC como lactatemia se relacionan con el rendimiento físico de acuerdo con el umbral de potencia funcional en ciclistas de nivel competitivo.

El nuevo conocimiento del comportamiento de la respuesta autonómica cardiovascular, de la lactatemia y de las citocinas, antes y después de la realización de una prueba submáxima, resultará de la más alta utilidad para la interpretación de fenómenos de adaptación/desadaptación al entrenamiento, contribuyendo a una más precisa dosificación de la intensidad y a monitorear, clasificar y predecir el rendimiento físico en ciclismo de ruta.

Capítulo I: Problema de Investigación

1.1. Descripción del Problema

La búsqueda de nuevos métodos para detectar, monitorear las respuestas y adaptaciones fisiológicas del organismo al entrenamiento se han venido desarrollando con particular intensidad. En ciclismo, los parámetros fisiológicos para monitorear, predecir el rendimiento físico y establecer zonas de entrenamiento han sido, por un lado, el $\dot{V}O_2$ max absoluto ($L \cdot \text{min}^{-1}$) y relativo ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$); la lactatemia máxima (mmol/L^{-1}) y el umbral del lactato (mmol/L^{-1}) (3,10,11) y por otro lado, la potencia en vatios (W) expresada en máxima, media y relativa ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) (12–14). Estos parámetros se determinan principalmente mediante pruebas con incremento progresivo de la intensidad hasta el agotamiento, denominadas pruebas máximas.

Sin embargo, las pruebas con intensidad constante denominadas pruebas submáximas, vienen constituyéndose en la herramienta más utilizada para determinar el rendimiento físico y establecer zonas de entrenamiento, dentro de este tipo de pruebas está el test de 20 minutos (P_{20}) (2). De manera que la potencia media máxima (W) y la potencia media relativa ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) de una prueba submáxima, son una de las formas actuales en ciclismo de ruta para establecer el perfil de potencia, predecir el rendimiento físico y establecer zonas de entrenamiento.

El músculo esquelético es considerado un órgano endocrino y paracrino secretor más grande del cuerpo, que se comunica mediante miokinas (IL-6) con el sistema inmunológico y con órganos como el tejido adiposo, el hígado, el páncreas y el cerebro (15–18). La realización de una prueba física máxima induce un incremento significativo de TNF- α ya sea en cicloergómetro (19) o en trotadora (20). Así mismo, el entrenamiento

y la competición de resistencia de larga duración induce la producción de citocinas pro-inflamatorias de tipo TNF- α y anti-inflamatorias del tipo IL-6. De modo que, la realización de una prueba física submáxima como P₂₀, puede inducir la producción significativa de estas interleucinas. Ya que el esfuerzo físico intenso, prolongado y la falta de suficiente de recuperación entre las sesiones de entrenamiento ha sido responsabilizado de producir un fenómeno inflamatorio sistémico y una afectación transitoria de la respuesta inmune (8,9).

Por su parte, la lactatemia expresada en mmol/L⁻¹ para determinar el máximo estado estable del lactato (3) y los umbrales metabólicos tanto aerobio como anaerobio (21,22), constituyen el parámetro bioquímico para predecir el rendimiento físico y establecer zonas de entrenamiento. El lactato se ha medido en el deporte desde hace más de 50 años, tanto en reposo como durante y en la recuperación post ejercicio. Este lactato se incrementa en sangre de forma exponencial durante el ejercicio dependiendo de la intensidad y disminuye en la recuperación. Este al ser incrementado como ocurre durante el ejercicio, es transportado entre las células productoras y consumidoras mediante la circulación sanguínea, siendo una fuente vital de energía, así como el principal precursor gluconeogénico y funciona como una molécula de señalización que se comunica con diferentes tejidos como el tejido adiposo (23,24). Por tanto, el lactato producido durante una prueba submáxima puede tener relación con el rendimiento físico y la respuesta autonómica cardiovascular.

La evaluación de la modulación autonómica cardiovascular mediante la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC), refleja la compleja interacción entre el sistema nervioso autónomo (SNA), el barorreflejo arterial, quimiorreflejo central y periférico, ergorreflejo, aferencias periféricas como barorreceptores, mecano y

metaborreceptores (25). En consecuencia, la VFC refleja la modulación autonómica en reposo, reactivación parasimpática y recuperación del SNA antes y después del ejercicio (26). Por tanto, la VFC aunque no es un parámetro nuevo, si es promisorio como indicador alternativo a la capacidad cardiorrespiratoria y lactatemia máxima para identificar la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento, la presencia de fatiga, monitorear y predecir el rendimiento físico en ciclistas de nivel competitivo (7).

La presente investigación se enfocó en evaluar la modulación autonómica cardiovascular mediante la VFC, la lactatemia e IL-6 de acuerdo con el rendimiento físico obtenido en el UPF en ciclistas de nivel competitivo, debido a que, predecir el rendimiento físico, monitorear la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento y la presencia de fatiga en el deporte son hoy los aspectos más importantes, tanto en la metodología del entrenamiento como para plantear la táctica en la competición. A la fecha, no se encuentran estudios que hayan analizado el comportamiento de la modulación autonómica cardiovascular mediante VFC, lactatemia e IL-6, en el contexto de pruebas físicas submáximas.

1.2. Formulación del Problema

¿No es sabido si IL-6 y TNF- α se incrementan significativamente al realizar una prueba submáxima de 20 minutos?, de igual forma no se conoce ¿Cómo se relacionan la lactatemia e IL-6 con la VFC y estas con el rendimiento físico obtenido en el UPF en ciclistas de nivel competitivo?

¿De qué manera la VFC puede ser un parámetro para monitorear y predecir el rendimiento físico obtenido en el UPF en ciclistas de nivel competitivo?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Establecer la relación entre la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, lactatemia e IL-6 con el rendimiento físico obtenido tanto en el UPF como en el perfil de potencia en ciclistas de nivel competitivo.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la concentración de TNF- α e IL-6 pre y post-P₂₀
2. Determinar la concentración de lactato pre y post-P₂₀.
3. Evaluar la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca pre y post-P₂₀.
4. Demostrar la relación entre VFC, niveles de lactatemia e IL-6 con el rendimiento físico obtenido en el UPF y el perfil de potencia en ciclistas de nivel competitivo.

1.4. Hipótesis de la investigación

Tanto la VFC como la lactatemia se relacionan con el rendimiento físico de acuerdo con el UPF y perfil de potencia en ciclistas de nivel competitivo e IL-6 se incrementa significativamente 15 minutos post-P₂₀.

2. Capítulo II: Marco Teórico y de Referencia

2.1. Rendimiento Físico y Rendimiento Deportivo

El ciclismo es en la actualidad un deporte emblemático en Colombia, se trata de una disciplina de particular exigencia física, donde el conocimiento de los factores que afectan la respuesta fisiológica al ejercicio, es de la más alta importancia para desarrollar adecuadamente el potencial del ciclista y alcanzar éxitos en la vida deportiva.

La terminología utilizada en la bibliografía de ciencias del deporte, para expresar las respuestas y adaptaciones fisiológicas producidas por el entrenamiento,

relacionadas tanto al estado físico como al logro deportivo son: condición física (27), aptitud física (28,29) y rendimiento deportivo (30). El concepto de rendimiento según lo mencionado en el libro “Fisiología y Metodología del Entrenamiento” (30), significa cumplir, ejecutar. El vocablo rendimiento se utiliza en este trabajo como sinónimo de cambios adaptativos en variables fisiológicas producto del entrenamiento.

De acuerdo con Cortegaza y cols (2015) el rendimiento deportivo es el “nivel de eficiencia que se manifiesta dentro de un proceso de entrenamiento o competición deportiva, expresado en el cumplimiento de los objetivos que se desean alcanzar en un periodo de tiempo determinado (31).

El rendimiento físico en ciclismo de ruta está asociado a la capacidad de mantener un esfuerzo intenso el mayor tiempo posible, generalmente, con una duración que oscila entre los ~30 minutos y las ~5 horas e inclusive en competiciones que pueden durar hasta 21 días, como el caso de las tres grandes vueltas. Una vuelta, hace referencia a un paseo o recorrido por un determinado territorio o país en bicicleta. Las etapas de estas vueltas se realizan sobre terreno llano y de montaña, de acuerdo al relieve de cada región en su país, con distancias que van desde 10-40 km como el caso de la contrarreloj individual o por equipos a 240 km en las clásicas etapas de las tres grandes vueltas (32,33). Las tres grandes vueltas son el Tour de Francia, Vuelta a España y Giro de Italia, de estas el Tour de Francia es considerado la máxima carrera del ciclismo mundial. La competencia se realiza por equipos (ocho integrantes) y la clasificación se da tanto de forma individual como por equipos, la primera es la de mayor relevancia para efectos de premiación.

Los ciclistas colombianos han obtenido triunfos desde hace 50 años en las tres grandes vueltas, campeonatos mundiales y juegos olímpicos, dentro de muchos de ellos

están: Martín Emilio “Cochise” Rodríguez, Ganador de la 15ª etapa del Giro de Italia en 1973; Luis Alberto “Lucho” Herrera campeón vuelta España 1987; Fabio Enrique Parra, tercero en el Tour de Francia 1988 y sub-campeón Vuelta España 1989; Nairo Alexander Quintana Rojas campeón Giro de Italia 2014 y Vuelta España 2016; Víctor Hugo Peña Grisales, primer colombiano en vestir el maillot amarillo de líder del Tour de Francia 2003; Egan Arley Bernal Gómez campeón Tour de Francia 2019 y Giro de Italia 2021; Rigoberto Urán Urán, sub-campeón Juegos Olímpicos Londres 2012; Santiago Botero Echeverri campeón mundial prueba contrarreloj Bélgica 2002. Fernando Gaviria Rendón campeón mundial ciclismo de pista (2015) y varias etapas en grandes vueltas (1).

El rendimiento físico de los ciclistas ha cambiado drásticamente en la última década, debido a la evolución de la bicicleta, la biomecánica, trajes deportivos, a los avances científicos en materia tecnológica, las disciplinas biológicas y a la metodología del entrenamiento. Con base en lo anterior y acorde con la literatura del entrenamiento (34–36), el concepto de rendimiento deportivo está asociado al puesto que se ocupa en la competición, y, el rendimiento físico asociado a los valores de los parámetros biopsicosociales obtenidos tanto en la competición como en una prueba de control. De este modo, el concepto de rendimiento físico, podría definirse como un estado biopsicosocial actual óptimo, generado por un proceso científico y tecnológico de entrenamiento, evidenciado en los resultados obtenidos en una prueba de control y en la competición.

La capacidad cardiorrespiratoria máxima representada en el $\dot{V}O_2\text{max}$ y expresado tanto en valor absoluto ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) como relativo ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), así como los valores de lactatemia máxima en estado estable (mmol/L^{-1}) y el umbral del lactato (mmol/L^{-1}), han constituido los parámetros fisiológicos más importantes para determinar,

evaluar y predecir el rendimiento físico en deporte (3,10,11,37). Estos parámetros son establecidos mediante pruebas máximas, las cuales involucran un incremento progresivo de la intensidad hasta el agotamiento (3,10,11,37). No obstante, el rendimiento físico, también puede evaluarse, controlarse, predecirse en condiciones de reposo y durante la recuperación post-ejercicio, mediante de la evaluación de la modulación autonómica cardiovascular, valorando la respuesta de las vías simpáticas y parasimpáticas en una prueba física submáxima.

2.2. Potencia Media Máxima (PM_{max})

La potencia muscular en ciclismo, es la fuerza mecánica que aplican las extremidades inferiores sobre los pedales para desplazar la bicicleta. El registro de esta potencia en vatios (W) se hace mediante un potenciómetro para bicicleta o midiendo la resistencia eléctrica (campo magnético) en un simulador (cicloergómetro) por un periodo de tiempo determinado. El valor de los vatios registrado por el potenciómetro o cicloergómetro, por ejemplo, el Tacx Vortex, permite obtener información en tiempo real de la potencia generada. Actualmente, en ciclismo de ruta esta es la forma para hallar la potencia, la cual es utilizada para determinar el rendimiento físico, establecer zonas de entrenamiento y dosificar el esfuerzo durante una competición (2,12–14,38).

La potencia media máxima (PM_{max}) determinada en una prueba contrarreloj de una hora (P_{60}), es considerada la medida Gold-Standard del rendimiento físico de un ciclista de ruta. Sin embargo, de acuerdo con Allen y Coggan (2010) por un lado, esta potencia no refleja con exactitud el rendimiento físico, debido a la dificultad en mantener un esfuerzo constante durante una hora y, por otro lado, metodológica y pedagógicamente resulta poco atractiva por el tiempo de duración. Esto, ha llevado a la búsqueda de otras pruebas submáximas de menor duración, correspondiente con la potencia media máxima de P_{60} . En este sentido, se han utilizado otras pruebas

contrarreloj como 20 minutos (P_{20}) (2), 8 minutos (P_8) (39,40), 4 minutos (P_4) (41) y una distancia determinada como 16.1 km ($P_{16.1km}$) (42).

2.2.1. Contrarreloj de 20 minutos (P_{20})

Esta prueba, es la que más se ha popularizado en el ciclismo de ruta. Se ha demostrado que la potencia media máxima de P_{20} se correlaciona con la PM_{max} de P_{60} (43), que la PM_{max} de P_{20} predice la potencia aeróbica máxima de acuerdo con el $\dot{V}O_2max$ (44), que la PM_{max} de P_{20} se correlaciona con el umbral anaeróbico individual (43), con el umbral de lactato (45,46) y con el máximo estado estable del lactato (47).

2.2.2. Umbral de Potencia Funcional (UPF)

P_{20} es utilizada para determinar el UPF o FTP por sus siglas en inglés, el cual corresponde a “la potencia media máxima que un ciclista puede mantener a un ritmo casi constante durante aproximadamente una hora sin llegar al agotamiento” (2). La potencia del UPF corresponde al promedio de vatios obtenido en P_{20} (UPF_{20}), pero restándole un 5%, entonces el UPF_{20} es el 95% de los vatios de P_{20} ($UPF_{20.95\%W}$) y el perfil de potencia se obtiene al dividir $UPF_{20.95\%W}$ en el peso corporal en kilogramos ($UPF_{20.95\%W} \cdot kg^{-1}$).

2.2.3. $UPF_{20.95\%W}$

Un porcentaje determinado del $UPF_{20.95\%W}$ se asocia a una zona fisiológica de entrenamiento, relacionada a desarrollar las capacidades físicas. De acuerdo con este $UPF_{20.95\%W}$ se establecen siete zonas de entrenamiento (**Tabla 1**).

Tabla 1

Zonas de Entrenamiento

N°	Zona Entrenamiento	$UPF_{20.95\%W}$
1	Recuperación activa	<55

N°	Zona Entrenamiento	UPF _{20.95%W}
2	Resistencia	56-75
3	Ritmo	76-90
4	Umbral de lactato	91-105
5	VO ₂ max	106-120
6	Capacidad anaeróbica	121-150
7	Capacidad neuromuscular	NA

Nota: La tabla 1 muestra siete zonas de entrenamiento determinadas de acuerdo al porcentaje del UPF_{20.95%W}. NA: No aplica. Allen y Coggan (2010).

2.2.4. UPF_{20.95%W.kg⁻¹}

Allen y Coggan establecieron ocho categorías de clasificación de acuerdo con el perfil de potencia, que va desde “No entrenado” correspondiente a 1.86 - 2.58 W/kg hasta “Clase mundial” con 5.69 - 6.40 W/kg (**Tabla 2**).

Tabla 2

Categorías de Rendimiento Deportivo en Ciclismo

N°	Categoría	UPF _{20.95%W.kg⁻¹}
1	No entrenado	1.86 a 2.58
2	Principiante	2.40 a 3.11
3	Moderado	2.93 a 3.64
4	Bueno	3.47 a 4.18
5	Muy buena	4.09 a 4.80
6	Excelente	4.62 a 5.33
7	Excepcional	5.15 a 5.87
8	Clase mundial	5.69 a 6.40

Nota: La tabla 2 muestra ocho categorías de rendimiento de acuerdo a la relación vatio kilogramo. Allen y Coggan (2010).

2.3. Interleucinas (IL)

Las IL, son citocinas producidas por leucocitos que actúan como moléculas de comunicación en la inflamación. Las interleucinas tienen funciones tanto pro-

inflamatorias como anti-inflamatorias. Algunas pro-inflamatorias son: TNF- α e IL-6, dentro de las anti-inflamatorias está IL-6 (48,49).

2.3.1. TNF- α

Es un polipéptido que promueve la inflamación aumentando la producción de monocitos y macrófagos, fibroblastos, prostaglandinas, radicales libres y óxido nítrico. Adicionalmente, TNF- α altera la permeabilidad vascular permitiendo la extravasación de proteínas plasmáticas, participa en la adherencia de los leucocitos polimorfonucleares (LPMN) a la pared del endotelio, induciendo a que se expresen las moléculas de adhesión (50). Los principales estímulos para su síntesis y liberación son las infecciones por ciertos microorganismos, particularmente virus y bacterias (lipopolisacárido bacteriano LPS) y la acción de otras citocinas como IL-1. Sus principales objetivos o dianas celulares son los linfocitos T y B, las células epiteliales, los monocitos/macrófagos y los hepatocitos. Niveles elevados de TNF- α están asociados a enfermedades inflamatorias que incluyen cáncer, sepsis, insuficiencia cardíaca y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (48,51,52).

TNF- α aumenta significativamente en la sangre con el ejercicio de resistencia de larga duración, como una maratón, una ultra-maratón y la media maratón (53–55) y en general con ejercicio de duración mayor a 4 horas (56). TNF- α aumenta también significativamente con el ejercicio de alta intensidad y de corta duración, así por ejemplo, una o seis sesiones agudas de entrenamiento interválico induce aumentos significativos de TNF- α en comparación con reposo (57). Por el contrario, TNF- α disminuyó significativamente después de 164-km de ciclismo en ambiente caluroso (58), los autores mencionan que esta contradicción puede deberse por un lado, a que IL-10 y los glucocorticoides inhiben la producción de IL-1 β y TNF- α (59,60) y por otro lado, a que el ejercicio de resistencia aumenta la concentración del receptor soluble de TNF (61), lo

que resulta en más TNF- α unido, por consiguiente, se detectó menos concentración de TNF- α libre (62).

Por otra parte, se ha propuesto a TNF- α como señal o indicador periférico de la homeostasis energética, ya que puede ofrecer información al hipotálamo sobre los niveles de energía y esto se podría usar para revelar la condición física del atleta como resultado del entrenamiento (63).

2.3.2. IL-6

Es una glucoproteína de 22 a 27 kDa, producida por diversos tipos celulares como monocitos, macrófagos, linfocitos T y B ya diferenciados, fibroblastos, células endoteliales, células de la glía, adipocitos, células epiteliales intestinales y fibras musculares. Las citocinas en particular las interleucinas (IL) que son expresadas por fibras musculares son denominadas miokinas, dentro de estas, IL-6 es considerada una miokina (48,64).

IL-6 tiene efectos pro-inflamatorios y anti-inflamatorios (17,65,66) por tanto tiene funciones pleiotrópicas, participa en la respuesta del sistema inmune tanto en la inmunidad innata como adaptativa promoviendo la activación de los neutrófilos, la madurez de los macrófagos, diferenciación y maduración de los linfocitos T y B y de células NK, estimula la producción de inmunoglobulinas por parte de linfocitos B (67,68).

IL-6 es la principal estimuladora de la producción de la mayoría de las proteínas de fase aguda, (como la proteína C-reactiva) por los hepatocitos durante los estímulos dolorosos como el trauma, la infección, la cirugía y la quemadura. IL-6 se encuentra también involucrada en la patogénesis de ciertos fenómenos graves asociados con sepsis y otras enfermedades críticas, como alteración del estado mental, fatiga, hiperglucemia, resistencia a la insulina, disfunción miocárdica, atrofia muscular esquelética, anorexia, caquexia y cáncer (68).

Los efectos pro-inflamatorios dependen de la presencia del receptor soluble de IL-6 (sIL6R) en plasma, que sugieren la transeñalización de IL-6 involucrando tanto el receptor soluble, sIL6R, como el correceptor de membrana gp130 (69). Los efectos anti-inflamatorios están asociados a la inhibición de la secreción de citocinas pro-inflamatorias como TNF- α e IL-1.

Durante el ejercicio, IL-6 junto con el aumento en la producción del cortisol ayudan a controlar la respuesta inflamatoria, el incremento de IL-6 es seguido por la aparición de IL-1ra, IL-10 y del receptor soluble del TNF- α (68). IL-6 participa del metabolismo de la glucosa (70) y del metabolismo lipídico (71). Estudios previos, han informado que las concentraciones de IL-6 en plasma, inducidas por el ejercicio, aumentan de una manera casi exponencial, logrando incrementarse hasta en 100 veces y dependen de la intensidad y especialmente de la duración del ejercicio.

2.4. Lactatemia

El lactato producido por células musculares antes, durante y después del ejercicio, como producto de la degradación de la glucosa, en un proceso denominado glucólisis (72), según Brooks, (2018) tiene tres funciones principales del lactato en el cuerpo: (1) es una fuente importante de energía; (2) es un precursor para producir más glucosa en el hígado, lo que ayuda a mantener el azúcar en sangre y (3) es una molécula de señalización circulando en la sangre, que se comunica con diferentes tejidos como el tejido adiposo (23).

El lactato producido por células "productoras" es utilizado por las células "consumidoras". Existen vínculos entre el "productor" y el "consumidor" de lactato dentro y entre las células, los tejidos y los órganos. Por tanto, el lactato es el vínculo entre las

vías glucolítica y aerobia. En este sentido, el lactato es un vehículo que une el metabolismo glucolítico con el oxidativo, esto es lo que se conoce como lanzadera de lactato (Lactate shuttle) (23). En el tejido muscular, las células musculares blancas o de "contracción rápida" convierten el glucógeno y la glucosa en lactato y lo lanzan como combustible para las células musculares rojas vecinas o de "contracción lenta", allí, el lactato se oxida en el retículo mitocondrial para resintetizar la molécula de energía ATP (Adenosintrifosfato) que proporciona energía a las fibras musculares.

Cuando se incrementa el lactato, como durante una actividad intensa, las mitocondrias musculares lo oxidan preferentemente e incluso bloquean la utilización de la glucosa y le indica al tejido graso que deje de degradar la grasa como combustible (23). Así mismo, tanto el músculo cardíaco como el cerebro prefieren el lactato a la glucosa como combustible y funcionan con mayor intensidad con lactato.

Durante el ejercicio, del total de lactato producido aproximadamente el 50 % es transportado al compartimiento intravascular. Durante la recuperación más del 70 % del lactato es reconvertido a piruvato y oxidado en el Ciclo de Krebs (con producción de ATP más C_2O y H_2O), el otro 30 % del lactato removido en el proceso de recuperación tiene diferentes destinos: 1) un 2-3 % se utiliza para la restitución de la glucosa sanguínea. 2) un 20 % es precursor neoglucogénico (en músculo y corazón en primera instancia, y luego en el hígado) y 3) un 5-7% se emplea para la restitución de aminoácidos y proteínas.

En la recuperación, la curva de remoción del lactato sanguíneo es sensiblemente diferente y mucho más rápida con trabajo regenerativo activo, este trabajo logra que el lactato circulante en una fracción de un minuto alcance el corazón y sea enviado por la circulación arterial a territorios musculares, algunos inactivos o poco activos durante el

proceso de ejercicio previo, que están ávidos de ese lactato para oxidarlo en sus comportamientos celulares de alta capacidad de respiración oxidativa (73).

La lactatemia se ha medido en atletas desde 1964, para lo cual se implementaron los conceptos de umbral aerobio y anaerobio (22,74). El concepto de umbral anaerobio aplicado al deporte es objeto de controversias y ha generado confusión en fisiología del deporte (75–77), porque se asoció el concepto de umbral metabólico anaerobio con el tipo de ejercicio, donde se expuso la terminología de ejercicio o entrenamiento aerobio, ejercicio o entrenamiento anaerobio e incluso ejercicio o entrenamiento de tipo alactácido (78), pero el concepto de anaerobio hace referencia únicamente al proceso de resíntesis de ATP (Adenosin trifosfato) en el que la glucosa se degrada hasta lactato y no al tipo o modo de ejercicio físico.

En deporte, lactatemia es expresada en términos de concentración de lactato en sangre (mmol/L^{-1}). En este sentido, se determinan el umbral aerobio (21), umbral del metabolismo anaerobio (22), umbral anaerobio (21), umbral anaerobio individual (79), umbral aerobio-anaerobio (80), umbral de lactato o láctico (74), umbral de 4mmol de lactato (81), el OPLA o inicio del acumulo de lactato en plasma (82), el OBLA o inicio del acumulo de lactato en sangre (83) y el umbral que indica un máximo estado estable del lactato en sangre (3,84,85). A pesar de las diferentes metodologías, la lactatemia es el valor utilizado con mayor frecuencia como biomarcador metabólico, para programar el entrenamiento, evaluar y predecir el rendimiento físico.

2.5. Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC)

La variación en tiempo en milisegundos entre latido y latido cardíaco es la VFC. Esta variación refleja el control de la función cardíaca, el cual se realiza tanto, por

mecanismos intrínsecos como extrínsecos. El control intrínseco hace referencia a la autorregulación cardíaca, mediada por el mecanismo de Frank-Starling, retorno venoso, cronotropismo, batmotropismo, dromotropismo e inotropismo. El control extrínseco se realiza por el sistema nervioso autónomo (SNA) mediante actividad simpática (AcSi) y actividad parasimpática (AcPa) (5,6).

AcSi, se efectúa mediante fibras simpáticas que inervan el corazón, que al ser estimuladas liberan noradrenalina en las terminaciones nerviosas. La noradrenalina como consecuencia, potencia los efectos cronotrópico, dromotrópico e inotrópico positivo de la función cardíaca (5,6). Una mayor activación simpática ocurre durante el ejercicio, induciendo un aumento de la síntesis y liberación de catecolaminas de la medula suprarrenal, estas potencian los mismos efectos de activación cardíaca, aumentando de esta manera los mecanismos de autorregulación (5).

AcPa, se efectúa mediante fibras parasimpáticas que emergen del sistema nervioso central (SNC), a través del par craneal X nervio vago. Estas fibras liberan acetilcolina en las terminaciones nerviosas y como consecuencia induce una disminución de la frecuencia cardíaca (5).

El SNA también controla la presión arterial por reflejos que se originan en los barorreceptores y los quimiorreceptores. Las señales se transmiten desde el centro vasomotor hacia los vasos sanguíneos. La zona 1, vasoconstrictora del centro vasomotor, transmite los impulsos simpáticos a través de nervios simpáticos periféricos prácticamente hacia todas las arterias, arteriolas y venas del organismo. Los nervios simpáticos periféricos que inervan los músculos esqueléticos transportan tanto las fibras vasoconstrictoras como las fibras vasodilatadoras simpáticas (colinérgicas), cerca del 8% de las fibras contenidas en un nervio esquelético son simpáticas, encargadas de

controlar los vasos sanguíneos. La zona 3 sensitiva del centro vasomotor, transmite los impulsos parasimpáticos a través del nervio vago hacia el corazón, pero también, las neuronas de esta zona reciben señales sensitivas del sistema circulatorio, principalmente a través de los nervios vagos y glossofaríngeos. Estos emiten señales eferentes desde la zona sensitiva que facilita las actividades de control de las zonas vasoconstrictoras como vasodilatadoras (zona 2), con lo que consigue el control reflejo de muchas funciones circulatorias, como es el reflejo de barorreceptores para controlar la presión arterial (5).

La mayor parte del control nervioso de la presión arterial se logra por reflejos que se originan en los barorreceptores y los quimiorreceptores. Ellos actúan todo el tiempo para mantener la presión arterial en valores normales. Los barorreceptores son terminaciones nerviosas que se localizan en las paredes de las arterias, se estimulan cuando se estiran. Las señales de los barorreceptores carotideos se transmiten a través del nervio de Hering, hacia los nervios glossofaríngeos (Nervo parasimpático) de la parte alta del cuello y después hacia el tracto solitario de la zona del bulbo en el tronco del encéfalo. Las señales que proceden de los barorreceptores del cayado aórtico, se transmiten a través de los nervios vagos también hacia el tracto solitario del bulbo. Después de que las señales de los barorreceptores ingresan al tracto solitario, las señales secundarias inhiben el centro vasoconstrictor del bulbo y excitan el centro parasimpático vagal central. Los efectos netos son: Vasodilatación de las venas y arteriolas en todo el sistema circulatorio periférico y descenso de la frecuencia cardiaca y de la fuerza de contracción (5).

Estrechamente asociados al control de los barorreceptores, actúa un reflejo por quimiorreceptores que funcionan de forma muy similar al reflejo de barorreceptores, pero

son los quimiorreceptores los que inician la respuesta. Estos quimiorreceptores se localizan en la bifurcación de cada arteria carotídea común y en la aorta, los cuales excitan las fibras nerviosas que, junto a las fibras de los barorreceptores, llegan por los nervios de Hering y los nervios vagos al centro vasomotor del tronco del encéfalo (5). Los quimiorreceptores están formados por células quimiosensibles a la ausencia de O_2 , exceso de CO_2 y excesos de iones de hidrógeno. Por esta razón, sus receptores son sensibles a metabolitos, especialmente a la acidosis (25,86). De acuerdo con lo anterior, la VFC refleja la compleja interacción del barorreflejo arterial, quimiorreflejo central y periférico, ergorreflejo y aferencias periféricas como barorreceptores, mecano y metaborreceptores con el SNA.

2.5.1. VFC en Reposo y Durante el Ejercicio

En estado de reposo predomina AcPa sobre AcSi, pero al iniciar el ejercicio las señales que llegan al “comando central” del centro vasomotor, reinicia el barorreflejo arterial a un punto operativo más alto, lo que desencadena un aumento rápido de la frecuencia cardíaca, que es principalmente mediada por una reducción de AcPa, es decir una "retirada parasimpática. La retroalimentación rápida de los mecanorreceptores musculares contribuye a la retirada parasimpática inicial, mientras que la carga de los barorreceptores cardiopulmonares también provoca la retirada de AcPa, así como una reducción inicial de AcSi.

A medida que la intensidad del ejercicio se incrementa, el restablecimiento progresivo barorreflejo, así como la retroalimentación aferente de los metaborreceptores musculares (reflejo presor del ejercicio), desencadenan una mayor retirada parasimpática cardíaca y activación simpática, la última aumenta cada vez más de intensidad moderada a máxima por la activación sistémica suprarrenal y por los

efectos mecánicos directos de la respiración sobre el SNA (retirada progresiva parasimpática y activación simpática), de manera que, a medida que aumenta la intensidad del ejercicio la respuesta de AcPa va disminuyendo hasta una intensidad moderada-alta, con un cambio mínimo observado a medida que la intensidad aumenta aún más (87,88).

Según el modelo de White & Raven, (2014) en personas saludables, la contribución de AcPa y AcSi es aproximadamente igual hasta los 140 lpm, con AcSi dominando el control de la frecuencia cardíaca a más alta intensidad de ejercicio. Sin embargo, incluso en altas intensidades de ejercicio, AcPa continúa modulando la función cardíaca junto con una mayor AcSi. Ambos modulan la actividad autonómica cardiovascular, desde el inicio y durante toda la intensidad del ejercicio (87,89).

2.5.2. VFC en la Reactividad Parasimpática y Recuperación

Al terminar el ejercicio, los procesos neuronales, autonómicos, circulatorio, respiratorio y del reflejo presor del ejercicio que participan en el aumento de la frecuencia cardíaca (cardio-aceleración) se producen esencialmente a la inversa, donde la eliminación abrupta del "comando central" junto con la retroalimentación eliminada de los receptores musculares, restablece el barorreflejo arterial a un nivel inferior y provoca una disminución inicial de la frecuencia cardíaca (cardio-desaceleración) que es predominantemente mediado por un aumento en AcPa.

A medida que la recuperación continúa, se produce una más gradual "fase lenta" (cardio-desaceleración), probablemente mediada tanto por la reactivación parasimpática progresiva como la retirada simpática. Estos ajustes autonómicos, más lentos, pueden ser provocados principalmente por una combinación dependiente de la intensidad del aclaramiento gradual de metabolitos (es decir reducida entrada de metabarorreflejos) y

una reducción en las catecolaminas circulantes, mientras factores termorreguladores (aférentes termorreceptores directos y/o redistribución del flujo sanguíneo) también pueden estar involucrados (88,90,91).

Los primeros tres minutos post-ejercicio corresponden a la reactividad parasimpática (92–96). La reactividad parasimpática y la recuperación inmediatamente posterior al ejercicio, son utilizados para monitorear la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento y presencia de fatiga (94–96). Hottenrott y cols, 2019 (94) proponen un test ortostático de dos minutos, basados en la teoría del “Tanque Vagal” (95) donde se tiene en cuenta las 3R_s, reposo, reactividad parasimpática y recuperación (95).

La duración del ejercicio influye en la recuperación de AcPa en atletas de bajo nivel de rendimiento (incrementaron la duración en un 300-400% en atletas recreativos donde incrementaron desde ~20min hasta ~90 min, al ~66% VO₂max) (97) pero no en atletas de alto nivel, donde el incremento en la duración del ejercicio (incrementos en la duración de un 100%entre 60 o 120 minutos de carrera de baja intensidad a ~60%, ~77%VO₂max) no ocasiona ningún efecto significativo sobre las medidas de AcPa en los primeros 1-10 minutos e inclusive 4 horas de recuperación (88,98–100).

La intensidad del ejercicio es el principal determinante de la recuperación inmediata de AcPa post ejercicio. Después de un ejercicio de muy alta intensidad o una maratón (42 km), las medidas de VFC continúan aumentadas al menos durante 15 minutos pudiendo persistir por 24 horas o más (101–103) y la recuperación completa puede demorar hasta 48 horas post-ejercicio (104). Así mismo, una mayor intensidad de ejercicio se asocia con una recuperación más lenta de las medidas de AcPa (RMSSD o HF) durante la primera hora y un ejercicio de baja intensidad (por debajo del primer

umbral ventilatorio) se asocia con la recuperación rápida de AcPa al menos en atletas altamente entrenados (88,104,105).

La modalidad de ejercicio, parece afectar la recuperación de AcPa, pues a una mayor masa muscular activa y/o el gasto de energía se asocia con una recuperación más lenta de AcPa, después de ejercicio progresivo máximo (88,92,106). Además, condiciones de recuperación como la posición el cuerpo también ha demostrado que afecta la recuperación de AcPa. Con una posición más erguida como sentado, la recuperación tarda un poco más (88,107,108), al igual que la recuperación activa o pasiva, han mostrado relación con la recuperación de AcPa (109–111).

2.5.3. Evaluación de VFC

Los índices de medida y estándares de VFC, por métodos lineales y no lineales, tanto de uso clínico como de interpretación fisiológica fueron establecidas en 1996 por Task Force (112). En reposo, durante y en la recuperación post ejercicio, la VFC se mide mediante equipos portátiles inalámbricos como el monitor cardiaco RS800cx de polar o mediante electrocardiografía (113).

2.5.3.1. Método Dominio Tiempo. Es un método lineal, la evaluación se realiza a partir del latido a latido cardiaco o de intervalos entre complejos QRS adyacentes y las diferencias entre ellos, se presentan tanto estadísticos como geométricos.

Los estadísticos utilizan la desviación estándar y la media aritmética, para la cuantificación de intervalos entre latido (SDNN) o intervalos RR (STD RR) de una serie temporal de registros cardiacos (**Tabla 3**).

Tabla 3

Índice y Unidades de Medida Dominio Tiempo VFC

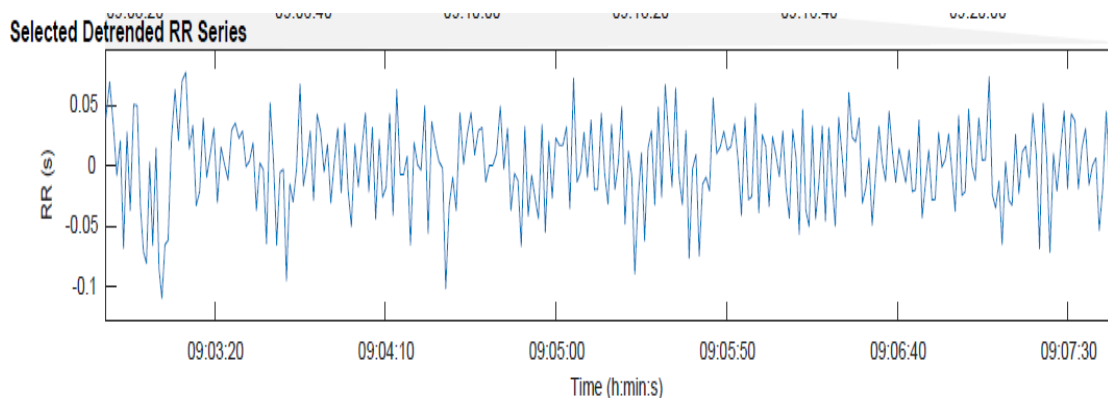
Índice	Definición	Indicador
SDNN (ms)	Desviación estándar de todos los intervalos entre latidos cardiacos.	Variabilidad total, actividad parasimpática
√RMSSD (ms)	Raíz cuadrada del valor medio de las sumas de las diferencias de todos los intervalos entre latidos cardiacos.	Actividad parasimpática
PNS index	Índice del sistema nervioso parasimpático	Actividad parasimpática
SNS index	Índice del sistema nervioso simpático	Actividad Simpática

Nota: Esta tabla muestra tres parámetros indicadores de actividad parasimpática y uno de actividad simpática.

Los geométricos utilizan las series temporales de intervalos del latido a latido cardiaco y los transforma en un modelo geométrico, representan la distribución de los diferentes intervalos o su relación entre ellos. Los más comunes son los tacogramas e histogramas. Los tacogramas son una forma de representar gráficamente la VFC, en donde, el eje vertical representa los intervalos entre latidos en milisegundos y el eje horizontal representa el tiempo transcurrido (**Figura 1**).

Figura 1

Tacograma VFC en Reposo

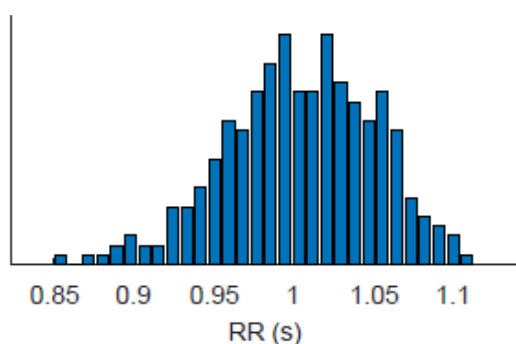


La figura 1 muestra un tacograma de intervalos latido a latido de VFC, correspondiente a un ciclista en reposo. Procesado en software Kubios. HRV 2.0.

Los histogramas son gráficos de barras que muestran una distribución de frecuencias y que se utiliza para representar datos continuos cuando vienen agrupados en intervalos. En el eje X se representa el intervalo de clases y en el eje Y el número de observaciones (**Figura 2**).

Figura 2

Histograma VFC en Reposo



La figura 2 muestra un histograma de intervalos latido a latido de VFC, correspondiente a un ciclista en reposo. Procesado en software Kubios. HRV 2.0.

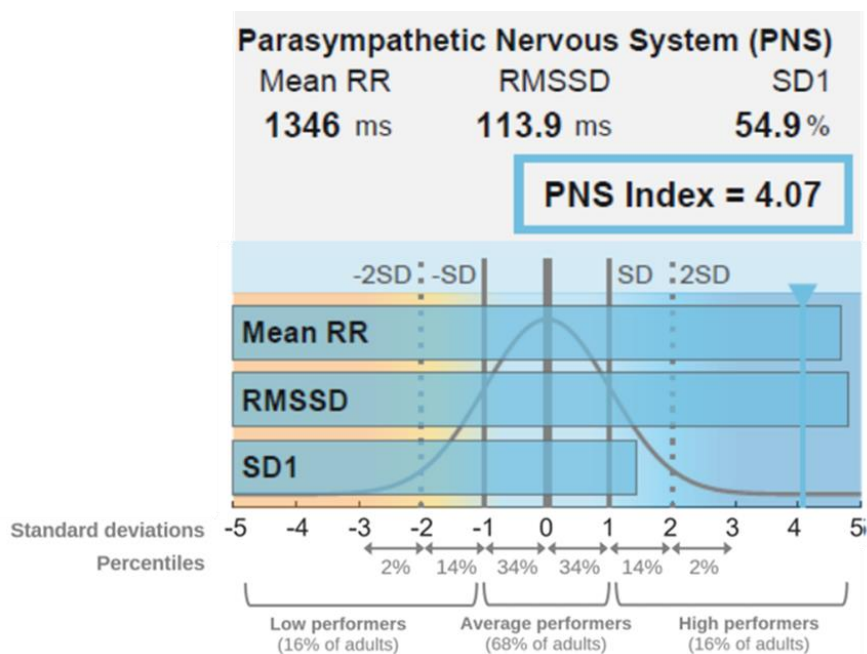
2.5.3.2. Índice AcPa (PNS index). Para este estudio fue obtenido de tres parámetros: 1) del promedio de los intervalos latido a latido cardiaco (Mean RR), 2) de la raíz cuadrada de la suma de las diferencias de los intervalos del latido al latido cardiaco ($\sqrt{\text{RMSSD}}$) y 3) de la desviación estándar 1 en porcentaje (SD1%) del diagrama de Poicaré. El valor de cada parámetro se compara primero con sus valores poblacionales normales, como se presenta en Nunan, Sandercock & Brodie, 2010 (114). El valor normal de la SD1 se obtiene a partir de su dependencia de la variable del dominio del tiempo $\sqrt{\text{RMSSD}}$, como se describe en Brennan et al. 2001 (115). A continuación, los valores de los parámetros se escalan con las desviaciones estándar de la población normal (los valores de normalidad de estos parámetros son tomados en

reposo) y por último, se aplica una ponderación propia para obtener el valor de índice AcPa.

Para la interpretación del índice AcPa. Un valor de índice AcPa (PNS index) de cero significa que los tres parámetros que reflejan la actividad parasimpática son, en promedio, iguales a la media de la población normal. En consecuencia, un valor positivo del índice AcPa indica cuántas desviaciones estándar están por encima de la media de la población normal, mientras que un valor negativo indica cuántas desviaciones estándar están por debajo de la media de la población normal. Por lo tanto, en reposo, el índice de AcPa se encuentra típicamente (con el 95% de la población) entre -2 y +2, es decir, dentro de ± 2 SD de la distribución normal de la población. Procesado por el software Kubios HRV (**Figura 3**).

Figura 3

Índice AcPa



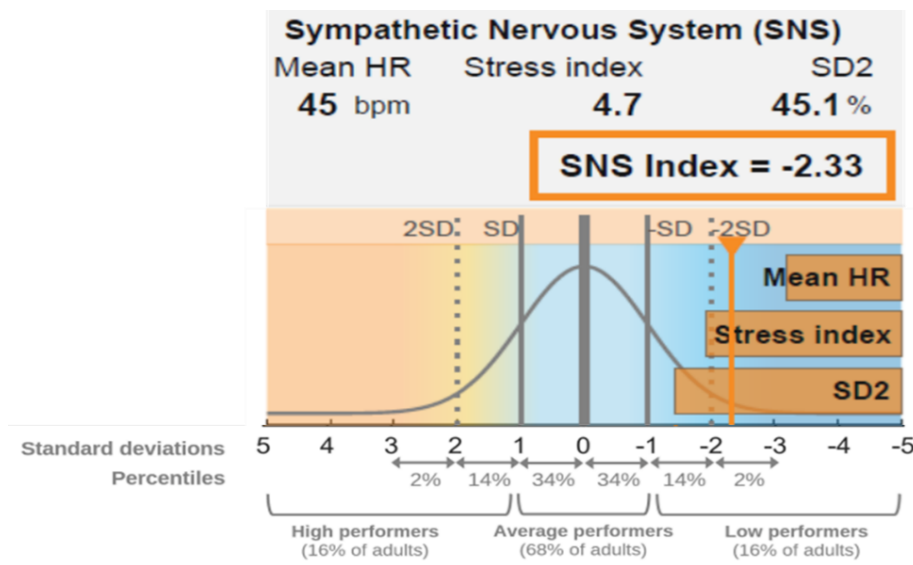
Nota. Esta figura muestra de forma gráfica el procedimiento para determinar el Índice parasimpático. El Índice AcPa corresponde a un ciclista en reposo. Software Kubios HRV Standard ver. 3.4.3. modificado de <https://www.kubios.com/hrv-ans-function/>.

2.5.3.3. Índice AcSi (SNS index). Para este estudio fue obtenido de tres parámetros: 1) del promedio de la frecuencia cardiaca (Mean HR), 2) del índice de estrés (Stress index) de Baevsky RM, 2009 (116) y 3) de la desviación estándar 2 en porcentaje (SD2%) del diagrama de Poincaré, SD2 está relacionado con el SDNN de acuerdo con Brennan et al. 2001 (115). El valor de cada parámetro se compara primero con sus valores normales en la población, como se presenta en Nunan et al. 2010 (114). El valor normal para el SD2 se deriva en base a su dependencia de la variable del dominio del tiempo SDNN como se describe en Brennan et al. 2001 (115). Los valores normales para el índice de stress de Baevsky se toman de Baevsky 2009 (116). A continuación, los valores de los parámetros se escalan con las desviaciones estándar de la población normal y finalmente, se aplica una ponderación propia para obtener el valor del índice AcSi.

La interpretación del índice AcSi. Un valor del índice AcSi de cero significa que los tres parámetros que reflejan la actividad simpática son, en promedio, iguales a la media de la población normal. Por su parte, un valor positivo del índice AcSi indica cuántas desviaciones estándar por encima de la media de la población normal están los valores de los parámetros y un valor negativo indica cuántas desviaciones estándar por debajo de la media de la población normal están los valores de los parámetros. Durante el estrés o el ejercicio de alta intensidad, el índice SNS puede tener valores tan altos como 5 a 35. Procesado por el software Kubios HRV (**Figura 4**).

Figura 4

Índice AcSi



Nota: Esta figura muestra de forma gráfica el procedimiento para determinar el Índice simpático. El Índice AcPa corresponde a un ciclista en reposo. Software Kubios HRV Standard ver. 3.4.3. modificado de <https://www.kubios.com/hrv-ans-function/>.

2.5.3.4. Método Dominio Frecuencia. Es lineal y se realiza calculando la densidad de potencia espectral, como la transformada rápida de Fourier (FFT) y el modelo Auto-Regresivo (AR). FFT, es un método para pasar señales del dominio tiempo al dominio frecuencia. La señal por la cual el sistema SNA modula la función cardiovascular se encuentra en un margen de 0 a 0,4 Hz, separada en tres bandas de frecuencia (**Tabla 4**). La separación del espectro en bandas, se emplea para cuantificar la potencia presente en cada una de ellas, en este caso para cuantificar la potencia de las vías simpáticas y parasimpáticas (112,117).

Tabla 4

Índices y Unidades de Medida Dominio Frecuencia VFC

Índice Dominio Frecuencia	Indicador
VLF (0.0-0.04 Hz): Peak (Hz); Power (ms ²); Power (%); Power (n.u.)	No indicador del SNA

Índice Dominio Frecuencia	Indicador
LF (0.04–0.15 Hz):Peak (Hz); Power (ms ²); Power (%); Power (n.u.)	Actividad simpática y parasimpática
HF (0.15–0.4 Hz):Peak (Hz); Power (ms ²); Power (%); Power (n.u.)	Actividad parasimpática
LF/HF: Power (ms ²)	Actividad simpática y parasimpática
Total power (ms ²)	Variabilidad total

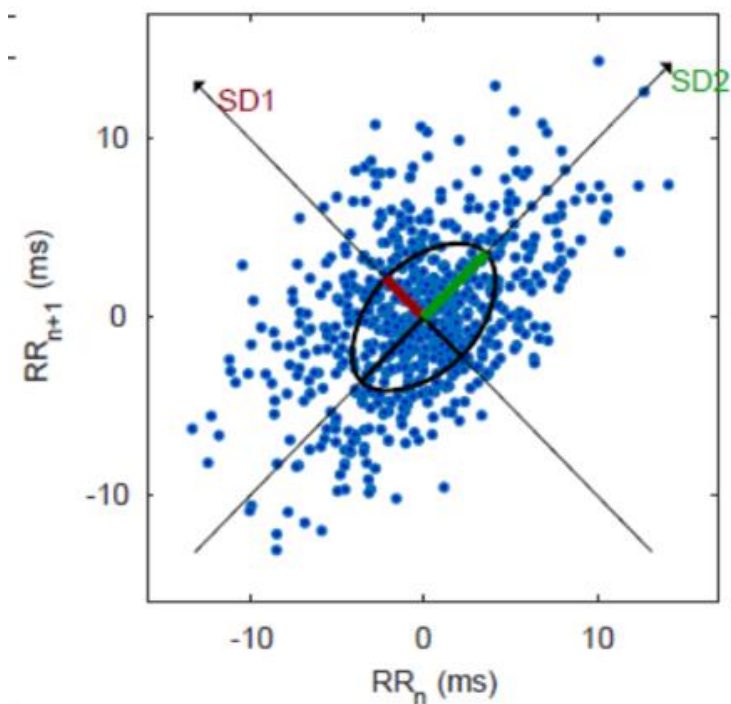
Nota: VLF: muy bajas frecuencias; LF: bajas frecuencias; HF: altas frecuencias; LF/HF: relación entre bajas y altas frecuencias; Total Power: potencia total; Peak: Pico. Power: potencia; ms²: milisegundos al cuadrado. %: porcentaje; Hz: Hercios; n.u: unidades normalizadas. SNA: sistema nervioso autónomo.

2.5.3.5. Método no Lineal. Los métodos no lineales como los diagramas de Poincaré, entropía aproximada (ApEn), entropía muestral (SampEn), análisis de fluctuación de tendencia (DFA) son aplicados en el análisis de VFC.

El diagrama de Poincaré, es un diagrama de dispersión en que cada intervalo latido a latido se representa en función del intervalo previo, proporcionando información de la función cardiaca y se utiliza para observar la correlación entre intervalos de latidos consecutivos. La desviación estándar 1 (SD1) y desviación estándar 2 (SD2), representan el ancho y largo de la elipse (**Figura 5**). SD1 está relacionada con la variabilidad a corto plazo y muestra la AcPa, SD2 describe la variabilidad a largo plazo de la serie de latidos cardiacos (118,119).

Figura 5

Diagrama de Poincaré



Nota: La figura 5 muestra la VFC en el diagrama de Poincaré, correspondiente a un ciclista en reposo. Procesado en software Kubios. HRV 2.0.

3. Capítulo III. Marco Metodológico

3.1. Enfoque o Paradigma de Investigación

De acuerdo con lo descrito por Hernández Sampieri, esta es una investigación de enfoque cuantitativo (120).

3.1.1. Tipo de Estudio

Diseño no experimental, de tipo correlación-descriptivo (121,122).

3.2. Población Universo

La población de ciclistas de competición pertenecientes a las ligas de ciclismo de

los departamentos de Boyacá y Caldas, disponibles en Colombia para el momento de la evaluación es de 30 ciclistas aproximadamente.

3.2.1. Muestra

El cálculo del tamaño de la muestra se realizó mediante la siguiente fórmula. Por tanto, la muestra estadística con un 95% de confianza, 5% de error y un p y q de 50% respectivamente, es de 29 ciclistas. En este estudio participaron 29 ciclistas, seleccionados a conveniencia (123), 23 de ellos del departamento de Boyacá y los restantes seis del departamento de Caldas (Colombia). De acuerdo con el tamaño de la muestra, la potencia del estudio fue de 0.89. Lo anterior, de acuerdo con F test, regresión lineal múltiple: modelo fijo, incremento R^2 , tamaño del efecto f^2 0.49, α error prob. 0.05. Software G*Power ver. 3.1.9.2.

3.3. Aspectos Éticos de la Investigación

Esta investigación es clasificada como “Investigación con riesgo mínimo”, según lo establecido en el artículo 11 y siguientes de la resolución 8430 de 1993, del Ministerio de Salud de Colombia. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias para la Salud de la Universidad de Caldas (**Anexo 1**). Los ciclistas firmaron un documento de consentimiento y de pleno conocimiento de los procedimientos que se llevaron a cabo antes, durante y después de las pruebas (**Anexo 2**). Durante la realización del test físico se contó con la presencia de un deportólogo.

3.4. Protocolos y Procedimientos

Las evaluaciones se realizaron en octubre y noviembre de 2018 y 2019, antes de la pandemia Covid-2019. El Peso (kg), IMC, Grasa %, Masa libre de grasa (kg), Masa

muscular (kg) fueron tomados entre las 6:00 am y las 7:00 am en ayunas, con ropa adecuada para la medición, mediante el uso de báscula Tanita Iroman.

Criterios de inclusión: se seleccionaron hombres con edad mínima de 18 años, que hacían parte de las ligas de ciclismo de Caldas y Boyacá, con mínimo 3 años de entrenamiento en ciclismo de ruta y con participación en eventos nacionales o internacionales. Criterios de exclusión: permanecer inactivos en la temporada anterior o recuperándose de una lesión osteomuscular. Criterios de retiro: presentar alguna afectación cardiorrespiratoria. Fueron instruidos para abstenerse de realizar ejercicio físico intenso, así como de consumir bebidas que contengan cafeína durante las 24 horas previas al experimento o cualquier sustancia considerada como doping. Los ciclistas reportaron rutina cotidiana habitual en la noche anterior con al menos siete horas de sueño reparador.

3.5. Umbral de Potencia Funcional (UPF)

La determinación de UPF se realizó mediante una prueba contrarreloj de 20 minutos (P_{20}), según lo descrito por Allen y Coogan, utilizando el ergómetro Tacx Vortexo® y bicicleta de propiedad del ciclista, manteniendo una cadencia de pedaleo a 90 rpm (**Figura 6**). El calentamiento fue estandarizado de acuerdo con el software Tacx (**Tabla 5**). Los datos obtenidos se consignaron en archivos TCX que se procesaron en el software Power Agent® (**Figura 7**). Durante P_{20} se mantuvo un esfuerzo intenso y constante, conservando los vatios lo más alto posible, por lo cual se motivó verbalmente a los participantes en los últimos minutos. El UPF se determinó de acuerdo con lo descrito por Allen y Coggan (2010).

Figura 6

 P_{20} 

Nota: Foto tomada en el laboratorio del Departamento de Acción Física Humana. Facultad de Salud. Universidad de Caldas, con permiso del participante. En la figura de la derecha, la línea en color azul representa la velocidad, la de color verde la potencia y la de color morado la cadencia en rpm.

Tabla 5

Calentamiento Previo a P_{20}

Relación plato/piñón	Cadencia (rpm)	Tiempo minutos
39/21	95	3
39/19	95	3
53/19	85	3
53/17	85	3
39/21	95	3
53/17	85	3
39/21	95	2

Nota: Esta tabla muestra la relación plato/piñón, la cadencia de pedaleo en rpm y el tiempo de calentamiento, el cual tuvo una duración de 20 minutos. Este calentamiento está predeterminado en el software Tacx y fue el mismo para todos los ciclistas. rpm: revoluciones por minuto.

Figura 7

Vatios Durante P₂₀

Nota: Esta figura muestra los vatios generados durante P₂₀ para un ciclista, la línea de color amarillo representa los vatios, la de color azul la velocidad y la de color verde la cadencia de pedaleo, procesado en el software Power Agent®.

3.6. Determinación y Cuantificación de Interleucinas

Las muestras fueron tomadas antes de P₂₀ entre la 6:00 am y las 8:00 am y 15 minutos después de P₂₀. El perfil de interleucinas se determinó de acuerdo con la literatura en relación con el ejercicio submáximo en ciclismo.

Para la determinación de interleucinas se obtuvo muestra de 5mL de sangre, mediante proceso aséptico de punción venosa en el antebrazo del participante, realizado por parte de un profesional de la salud (**Figura 8**), posteriormente la muestra fue centrifugada a 3.200 revoluciones por minuto (rpm) durante 15 min, las muestras de suero fueron conservadas en dispositivos plásticos, primero en una nevera a -5 °C, luego almacenadas a una temperatura de -70 °C hasta su análisis. El procesamiento se realizó mediante citometría de flujo (xMAP, Luminex, ref MAGPX12312702), en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia (**Figura 9**).

Figura 8

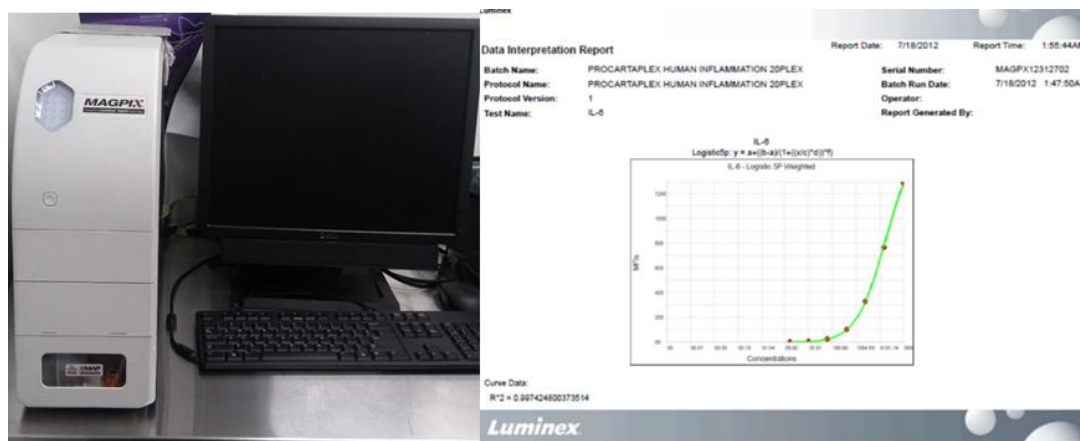
Muestras Plasma Sanguíneo de Ciclistas



Nota: Fotografía de la izquierda fue tomada en el laboratorio clínico Dra. Ayde Taborda. Duitama. Boyacá, la otra tomada en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Figura 9

Equipo Luminex Xmap y Curva de Calibración de Citocinas



Nota: La figura de la derecha muestra la curva de calibración para IL-6.

3.7. Lactatemia

La medición de lactato en sangre se estableció mediante punción capilar en el

pulpejo del dedo dos, usando el dispositivo Lactate scout®, previa limpieza con un paño humedecido con agua. Los valores de lactatemia se cuantificaron antes de P_{20} (Lac.pre- P_{20}) e inmediatamente terminada P_{20} (post- P_{20}), para estos valores se le resto el valor obtenido en pre- P_{20} y se registró como lactato producido durante P_{20} (Lac.Pro- P_{20}) y 3 minutos post- P_{20} , a estos valores se le resto el valor del lactato obtenido pos- P_{20} y se registró como remoción del lactato (Lac.Remoción- P_{20}) (**Figura 10**).

Figura 10

Medición de Lactato pre y post P_{20}



Nota: Esta figura muestra la medición de lactato para un ciclista pre- P_{20} .

3.8. Evaluación de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca.

La medición-monitorización de VFC se evaluó antes y después de P_{20} . La evaluación en reposo se realizó en ayunas entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m. en un laboratorio clínico simulando en lo posible, las mismas condiciones ambientales para todos los participantes. Esta medición se realizó con instrucción de respiración espontánea, en reposo durante 5 minutos, luego de permanecer 10 minutos en posición decúbito supino y también en recuperación activa en sedestación pedaleando sobre la bicicleta durante 5 minutos con respiración espontánea.

Los datos fueron obtenidos mediante el registro del latido a latido cardiaco, utilizando el monitor RS800CX Polar (113), cuyo sensor fue situado a nivel de la 5-6 costilla, alrededor de la caja torácica. Estos datos fueron procesados en el software Kubios (University of Kuopio, Finland. ver. Standard. 3.4.3), que permite el análisis de los parámetros dominio tiempo SDNN (ms), RMSSD (ms) y dominio frecuencia en VLF, LF, HF, LF/HF y Total Power, utilizando la Transformada Rápida de Fourier y modelo Autorregresivo. Así mismo, parámetros no lineales del diagrama de Poincaré SD1, SD2 y SD1/AD2 (**Anexo 3**) e índice AcPa y AcSi (**Anexo 4**).

3.9. Análisis Estadístico

Los datos descriptivos se expresan en promedio y desviación estándar (DE). Previa confirmación de la distribución normal de los datos mediante el test de Shapiro Wilk se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes. En el caso en que no se cumplió con los criterios de normalidad, se aplicaron pruebas No paramétricas. Por último, se hizo uso de regresión lineal simple para establecer la relación entre las interleucinas, la lactatemia y la variabilidad de la frecuencia cardiaca con el UPF. La significancia se aceptó cuando $p < 0.05$.

3.9.1. Regresión Lineal Simple.

Para determinar el modelo que mejor se ajustó a los datos en cada una de las variables del estudio, se establecieron tres modelos: el modelo completo ($y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$), el modelo sin intercepto ($y = \beta_1 x + \varepsilon$) y el modelo nulo ($y = \beta_1 + \varepsilon$). Para determinar cuál de estos modelos representan una mejor relación entre las variables, se aplicó 5 criterios de comparación.

1. Estimación del coeficiente más significativo (es decir, menor valor p). El modelo sin intercepto fue el que presentó el menor valor p , luego es significativa la estimación.

2. Menor residual estandarizado. Una vez observadas las gráficas de los residuales para los tres modelos propuestos, aquel donde se obtiene el menor valor de los residuales, es en el modelo sin intercepto.

3. El mayor valor del coeficiente de determinación R^2 y R^2 ajustado. El modelo sin intercepto mejoró significativamente el coeficiente de determinación R^2 y R^2 ajustado, de tal forma que con dicho modelo es posible realizar predicciones.

4. Menor AIC, Menor BIC. El criterio de información de Akaike (AIC) es una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico, para un conjunto dado de datos. Como tal, el AIC proporciona un medio para la selección del modelo. El criterio de información bayesiano (BIC). El BIC es como una aproximación a una transformación de la probabilidad posterior de un modelo candidato. Se evidenció que el modelo que genera el menor valor de AIC y el menor de BIC corresponde al modelo completo, pero este modelo si bien es cierto no es apropiado para realizar predicciones entonces, se propone seleccionar el modelo sin intercepto.

5. Menor valor C_p de Mallows. El estadístico C_p de Mallows compara la precisión y el sesgo del modelo completo con modelos que incluyen un subconjunto de los predictores. El menor valor del C_p de Mallows se obtiene al comparar el modelo completo con el modelo nulo, pero al revisar el valor del R^2 -ajustado se observó que el modelo que tiene un valor más cercano a uno en su R^2 ajustado es el modelo sin intercepto, por tanto, se sugiere trabajar con el modelo sin intercepto como el mejor modelo que representa los datos y es óptimo para realizar predicciones.

4. Capítulo IV. Resultados

Los datos demográficos de los participantes se muestran en la **tabla 6**. Los valores de hemoglobina (g/dL) y hematocrito (%), fueron determinados mediante prueba de hematología en el laboratorio clínico de la universidad de Caldas y el laboratorio clínico Ayde Taborda (**anexo 5**). Los resultados parciales de este estudio fueron presentados en seminarios regionales XII, XIII, XIV y XV de investigación en Ciencias Biomédicas (**Anexo 6**). En el **anexo 7** se presenta un caso hipotético para la aplicación y análisis de los resultados de este estudio.

Tabla 6

Datos Demográficos, Antropométricos y Hematológicos de los participantes (Promedio y DE)

Variable n=29	Promedio DE
Edad (años)	22.2 ± 3.7
Peso (kg)	60.0 ± 5.9
Talla (m)	1.7 ± 0.5
IMC	21.0 ± 1.4
Grasa %	13.8 ± 3.3
Masa libre de grasa (kg)	51.6 ± 4.8
Masa muscular (kg)	49.6 ± 5.3
Entrenamiento (años)	6.5 ± 3.7
Hemoglobina (g/dL)	15.2 ± 0.9
Hematocrito (%)	45.3 ± 2.0
Cadencia (rpm)	94.0 ± 4.4

Nota: IMC: Índice de masa Corporal. DE: Desviación estándar. rpm: revoluciones por minuto.

4.1. Valores del Umbral de Potencia Funcional

La potencia media absoluta $UPF_{20.95\%W}$ fue 267.8 ± 34.6 W y la potencia media relativa $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ fue de 4.2 ± 0.5 $W \cdot kg^{-1}$, correspondiente a la quinta categoría de

clasificación “muy buena”, de las ocho categorías propuestas por Allen y Coggan. Los valores individuales se muestran en el **anexo 8**.

4.2. Valores de Interleucinas Antes y Después de P₂₀

Los valores corresponden a 23 ciclistas. La concentración de citocinas no presentó diferencia significativa al comparar pre-P₂₀ con 15 minutos post-P₂₀ (**Tabla 7**), la prueba de normalidad se presenta en la **Tabla 8**. Los valores individuales de TNF- α e IL-6 se muestran en el **anexo 9**.

Tabla 7

Valores de Interleucinas en Plasma Antes y 15 Minutos pos-P₂₀

Citocina pg/mL n=23	Pre-P ₂₀	15 min pos-P ₂₀	Sig.
IL-6	3.42± 1.82	4.56± 2.57	0.447
TNF- α	38.22± 20.12	40.23± 18.40	0.513

Nota: IL-6: Interleucina 6; TNF- α : factor de necrosis tumoral alfa. min: minutos; DE: desviación estándar. Sig: nivel de significancia. La prueba estadística realizada fue la Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon).

Tabla 8

Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico W de Shapiro-Wilk	Sig.
IL-6.pre-P ₂₀	0.401208	0.000
IL-6.15min post-P ₂₀	0.60581	0.000
TNF- α .pre-P ₂₀	0.846116	0.001
TNF- α .15min post-P ₂₀	0.889056	0.013

Nota. IL-6: interleucina 6; P₂₀: prueba de 20 minutos. Estas pruebas de normalidad muestran que no hay distribución normal, $p > 0.05$

4.3. Valores de Lactato

Los valores de lactato corresponden a 23 ciclistas, expresados en media y desviación estándar. Así mismo el nivel de significancia se muestra en la **tabla 9**.

Tabla 9

Valores de Lactato y Pruebas de Normalidad

Prueba	Promedio y DE	Estadístico W de Shapiro-Wilk	Sig.
Lac.pre-P ₂₀	2.18 ± 0.70	0.819451	0.000*
Lac.Pro-P ₂₀	12.76 ± 3.26	0.976028	0.817
Lac.post-P ₂₀	11.90 ± 2.78	0.972174	0.732
Lac.3min.post-P ₂₀	11.8 ± 2.8		
Lac.Remoción-P ₂₀	0.86 ± 2.44	0.907681	0.035*

Nota. Lac.pre-P₂₀: valores de lactato obtenido antes de realizar la prueba P₂₀. Lac.Pro-P₂₀: valor de la cantidad de lactato medido inmediatamente finalizo P₂₀ restándole el valor de que tenía antes de P₂₀. Lac.post-P₂₀: valor del lactato obtenido inmediatamente finalizó P₂₀. Lac.Remoción-P₂₀: valor del lactato obtenido a los 3 minutos restándole el valor del lactato obtenido post-P₂₀. La tabla muestra que la primera y cuarta variable no se distribuye normalmente.

El nivel de significancia de la comparación entre los diferentes momentos del lactato están en la **tabla 10** y los valores individuales se muestran en el **anexo 8**.

Tabla 10

Comparación de lactato pre y pos-P₂₀

Lactato	Prueba	Sig.
Lac.pre-P ₂₀ con Lac.Pro-P ₂₀	W de Mann-Whitney (Wilcoxon)	0.000*
Lac.Pro-P ₂₀ con Lac.post-P ₂₀	t student	0.017*
Lac.Pro-P ₂₀ con Lac.Remoción-P ₂₀	W de Mann-Whitney (Wilcoxon)	0.000*

Nota. Lac.pre-P₂₀: valores de lactato obtenido antes de realizar la prueba P₂₀. Lac.Pro-P₂₀: valor de la cantidad de lactato medido inmediatamente finalizo P₂₀ restándole el valor de que tenía antes de P₂₀. Lac.post-P₂₀: valor del lactato obtenido inmediatamente finalizó P₂₀. Lac.Remoción-P₂₀: valor del lactato obtenido a los 3 minutos restándole el valor del lactato obtenido post-P₂₀ *: diferencia significativa. En los primeros 3 minutos de recuperación, el 65.2% de los ciclistas (15)

disminuyó su concentración de lactato, el 30.4% de ellos (7) aumento la concentración de lactato y 4.4% (1) se mantuvo igual.

4.4. VFC en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación

La actividad parasimpática fue analizada mediante la VFC por métodos de dominio tiempo, no lineal (**Tabla 11**) y dominio frecuencia (**Tabla 12**). La actividad simpática fue medida por el índice simpático, por métodos de dominio tiempo y no lineal (**Tabla 13**).

Tabla 11

AcPa en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación. Dominio Tiempo

AcPa Dominio Tiempo	Reposo	Reactividad	Recuperación
Mean RR (ms)	1159.33±168.74	406.61±31.41	433.59±33.8
SDNN (ms)	65.96±25.79	4.71±1.51	5.07±1.55
√RMSSD (ms)	80.73±38.32	4.72±2.2	5.04±2.41
SD1 (ms)	59.73±26.06	3.34±1.56	3.56±1.7
PNS index	2.27±1.26	-4±0.33	-3.77±0.37

Nota. Mean RR: media de los intervalos entre latidos cardiacos; SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos entre latidos cardiacos. √RMSSD: Raíz cuadrada del valor medio de las diferencias entre los latidos cardiacos sucesivos; SD1: desviación estándar 1 del diagrama de Poicare; PNS index: índice del sistema nervioso parasimpático; ms: milisegundos.

Tabla 12

AcPa en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación. Dominio Frecuencia

AcPa Dominio Frecuencia	Reposo	Reactividad	Recuperación
HF (ms ²) FFT	2415.85±2340.13	2.34±2.26	2.68±2.27
HF (%) FFT	48.32±17.15	12.44±7.23	12.03±7
HF (n.u.) FFT	50.86±17.12	15.66±9.18	15.58±8.41
Total power (ms ²) FFT	4560.46±3311.13	18.7±13.65	24.26±17.03
HF (ms ²) AR	2410.49±2177.01	2.04±1.96	2.42±2.14
HF (%) AR	44.37±17.12	12.47±8.07	12.43±7.02
HF (n.u.) AR	48.88±16.48	17.03±11.13	16.88±9.46

AcPa Dominio Frecuencia	Reposo	Reactividad	Recuperación
Total power (ms ²) AR	4873.91±3038.94	17.2±12.88	19.78±12.64

Nota. HF: Altas frecuencias; Total Power: Variabilidad total; ms²: milisegundos al cuadrado; %: porcentaje; n.u.: unidades normalizadas; FFT: Transformada rápida de Fourier; AR: Modelo Autorregresivo.

Tabla 13

AcSi en Reposo, Reactividad Parasimpática y Recuperación

AcSi	Reposo	Reactividad	Recuperación
Mean HR (beats/min)	52.8±7.57	148.39±11.13	139.18±10.66
Stress index	6.8±2.81	60.45±16.09	52.55±13.29
SD2 (ms)	72.82±26.73	5.65±1.86	6.11±1.79
SNS index	-1.33±0.66	15.96±3.85	13.5±3.29

Nota: Mean HR (beats/min): media de la frecuencia cardiaca en latidos por minuto; Stress index: Índice de estrés; SD2: desviación estándar 2 del diagrama de Poicare; SNS index: Índice del sistema nervioso simpático; ms: milisegundos.

4.5. Relación Interleucinas con UPF_{20.95%}W·kg⁻¹ y VFC

Para esta relación se utilizó el modelo de regresión completo. No existió cambio significativo de las interleucinas pre-P₂₀ comparado con post-P₂₀. No existió relación significativa de IL-6 y TNF-α con el rendimiento físico de UPF_{20.95%}W·kg⁻¹, p = 0.915 y 0.494 respectivamente. Tampoco existió relación con los parámetros de la VFC en reposo, reactividad parasimpática o recuperación.

4.6. Relación Lactatemia con UPF_{20.95%}W y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹

Existió relación significativa positiva entre la concentración de lactato post-P₂₀ y Pro-P₂₀ con el rendimiento físico del UPF_{20.95%}W y del UPF_{20.95%}W·kg⁻¹. No existió relación significativa entre Lac.Remocion-P₂₀ con el rendimiento físico (**tabla 14**).

Tabla 14

Relación Lactatemia con UPF_{20.95%}W y UPF_{20.95%}W·kg⁻¹

Lactatemia post-P ₂₀	Lactatemia y UPF _{20.95%W}		Lactatemia y UPF _{20.95%W} ·kg ⁻¹	
	Sig.	R ²	Sig.	R ²
Relación Lac.Pro vs W y Wkg	0.000*	.90	0.000*	.90
Relación Lac.post vs W y Wkg	0.000*	.94	0.000*	.94
Relación Lac.Remoción-P ₂₀ vs W y Wkg	0.143	.09	0.24	.10

Nota. Lac.Pro-P₂₀: valor de la cantidad de lactato medido inmediatamente finalizo P₂₀ restándole el valor que tenía antes de P₂₀. Lac.post-P₂₀: valor del lactato obtenido inmediatamente finalizó P₂₀. Lac.Remoción-P₂₀: valor del lactato obtenido a los 3 minutos restándole el valor del lactato obtenido post-P₂₀; W: vatios; Wkg: relación vatio kilogramo; Sig: nivel de significancia; *: este símbolo representa una relación significativa.

4.6.1. Relación Remoción Lactato-3min y Reactividad Parasimpática-3min

No existió una relación en la remoción del lactato con la reactividad parasimpática o con AcSi (**Tabla 15**).

Tabla 15

Relación Remoción Lactato-3min y Reactividad Parasimpática-3min

AcPa	Sig	R ²
SDNN (ms)	0.52	0.16
RMSSD (ms)	0.214	0.06
SD1 (ms)	0.214	0.06
PNS index	0.115	0.10
HF (ms ²) FFT	0.085	0.12
HF (%) FFT	0.415	0.03
HF (n.u.) FFT	0.496	0.02
Total power (ms ²) FFT	0.005*	0.29
HF (ms ²) AR	0.107	0.11
HF (%) AR	0.477	0.02
HF (n.u.) AR	0.523	0.01
Total power (ms ²) AR	0.012*	0.25
SNS index	0.217	0.06

Nota. SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos entre latidos cardiacos. $\sqrt{\text{RMSSD}}$: Raíz cuadrada del valor medio de las diferencias entre los latidos cardiacos sucesivos; SD1: desviación estándar 1 del diagrama de Poicare; PNS index: índice del sistema nervioso parasimpático; ms: milisegundos. HF: Altas frecuencias; Total Power: Variabilidad total; ms²: milisegundos al cuadrado; %: porcentaje; n.u: unidades normalizadas; FFT: Trasformada rápida

de Fourier; AR: Modelo Autorregresivo; SNS index: índice del sistema nervioso simpático; *: este símbolo representa una relación significativa.

4.7. Relación AcPa en reposo con $UPF_{20.95\%W}$ y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$

Existió una relación positiva de AcPa en reposo con el rendimiento físico de $UPF_{20.95\%W}$ y con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ (Tabla 16).

Tabla 16

Regresión VFC con $UPF_{20.95\%W}$ y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$

AcPa	$UPF_{20.95\%W}$		$UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$	
	sig	R ²	sig	R ²
SDNN (ms)	0.000	0.89	0.000*	0.91
RMSSD (ms)	0.000	0.85	0.000*	0.87
SD1 (ms)	0.000*	0.87	0.000*	0.86
PNS index	0.000*	0.82	0.000*	0.80
HF (ms ²) FFT	0.000*	0.54	0.000*	0.54
HF (%) FFT	0.000*	0.88	0.000*	0.88
HF (n.u.) FFT	0.000*	0.88	0.000*	0.89
Total power (ms ²)	0.000*	0.67	0.000*	0.67
HF (ms ²) AR	0.000*	0.60	0.000*	0.60
HF (%) AR	0.000*	0.87	0.000*	0.89
HF (n.u.) AR	0.000*	0.90	0.000*	0.91
Total power (ms ²) AR	0.000*	0.76	0.000*	0.75

Nota. SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos entre latidos cardiacos. RMSSD: Raíz cuadrada del valor medio de las diferencias entre los latidos cardiacos sucesivos; SD1: desviación estándar 1 del diagrama de Poicare; PNS index: índice del sistema nervioso parasimpático; ms: milisegundos. HF: Altas frecuencias; Total Power: Variabilidad total; ms²: milisegundos al cuadrado; %: porcentaje; n.u: unidades normalizadas; FFT: Transformada rápida de Fourier; AR: Modelo Autorregresivo; *: este símbolo representa una relación significativa. Sig: nivel de significancia.

4.8. Relación AcSi en reposo con $UPF_{20.95\%W}$ y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$

Existió una relación negativa de AcSi en reposo con el rendimiento físico de $UPF_{20.95\%W}$ y del $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ (Tabla 17).

Tabla 17

Relación AcSi con $UPF_{20.95\%W}$ y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$

AcSi	$UPF_{20.95\%W}$		$UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$	
	sig	R ²	sig	R ²
SNS index:	0.000*	-0.86	0.000*	-0.86

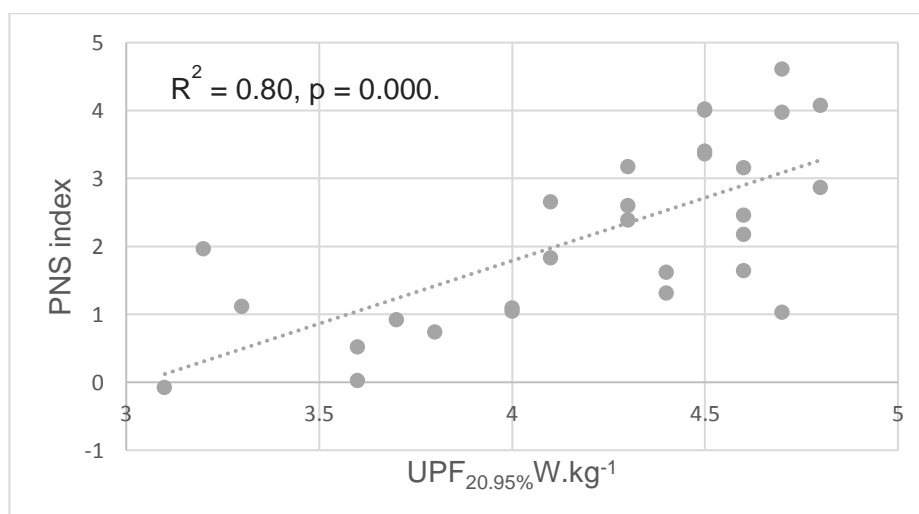
Nota. AcSi: Actividad simpática; SNS index: Índice del sistema nervioso simpático; ms: milisegundos; *: este símbolo representa una relación significativa; -: este signo significa una relación negativa.

4.8.1. Índice AcPa y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$

Los parámetros de la VFC que indican AcPa tanto en dominio tiempo y frecuencia, así como metodología no lineal e índice del sistema nervioso parasimpático, mostraron una relación significativa con el rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$. Esta relación fue realizada en reposo, en posición decúbito supino, respirando espontáneamente (**Figura 11**).

Figura 11

Regresión índice AcPa y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$



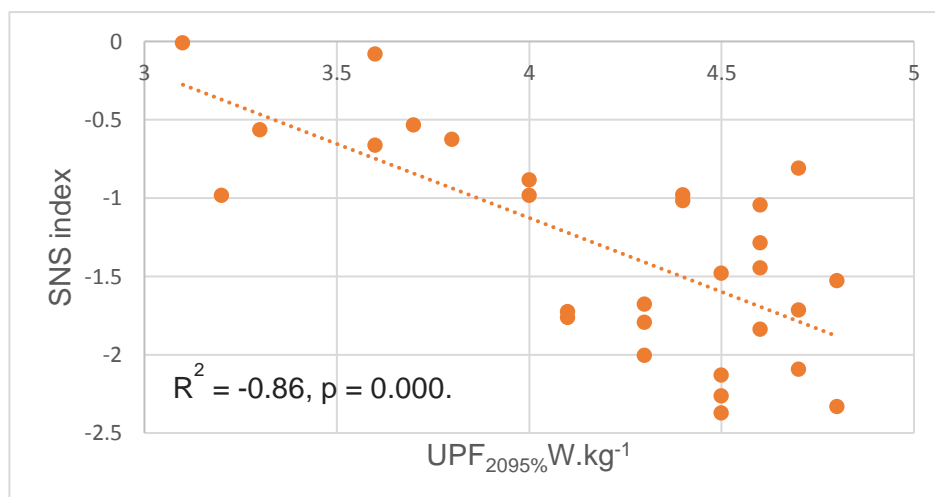
Nota. Los ciclistas con mayor AcPa en reposo, en posición decúbito supino, respirando espontáneamente, presentaron un mayor rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$.

4.8.2. Índice AcSi y $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$

El índice del sistema nervioso simpático en reposo se relacionó negativamente con el rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ (**Figura 12**).

Figura 12

Regresión AcSi y $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$



Nota. Los ciclistas con mayor AcSi en reposo, en posición decúbito supino, respirando espontáneamente, presentaron un menor rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$.

4.8.3. Relación Reactividad Parasimpática y Recuperación AcPa y AcSi con el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$

Existió una relación significativa positiva entre el índice de AcPa tanto en la reactividad parasimpática como la recuperación con el rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$, al igual que en los demás parámetros de la VFC. De igual forma se observó diferencia significativa pero negativa de AcSi tanto en Reactividad parasimpática como en la recuperación (**Tabla 17**).

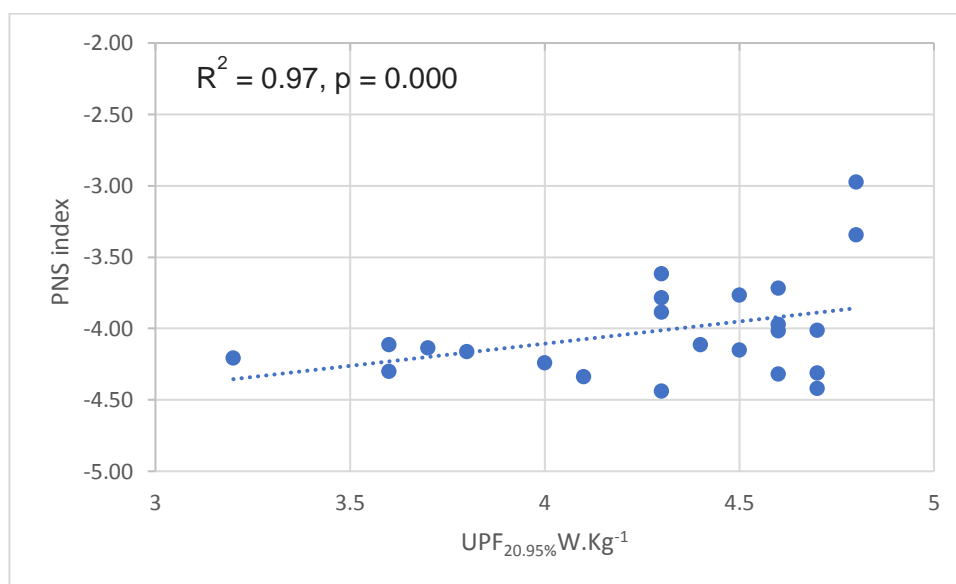
Tabla 18

Reactividad Parasimpática y Recuperación AcPa y AcSi con el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$

AcPa y AcSi	Reactividad Parasimpática		Recuperación	
	UPF _{20.95%} W·kg ⁻¹		UPF _{20.95%} W·kg ⁻¹	
	Sig.	R ²	Sig.	R ²
SDNN (ms)	0.000*	0.89	0.000*	0.91
RMSSD (ms)	0.000*	0.81	0.000*	0.91
SD1 (ms)	0.000*	0.81	0.000*	0.92
PNS index	0.000*	0.97	0.000*	0.96
HF (ms ²) FFT	0.000*	0.52	0.000*	0.51
HF (%) FFT	0.000*	0.74	0.000*	0.74
HF (n.u.) FFT	0.000*	0.73	0.000*	0.75
Total power (ms ²) FFT	0.000*	0.67	0.000*	0.68
HF (ms ²) AR	0.000*	0.50	0.000*	0.58
HF (%) AR	0.000*	0.68	0.000*	0.76
HF (n.u.) AR	0.000*	0.66	0.000*	0.76
Total power (ms ²) AR	0.000*	0.61	0.000*	0.72
SNS index	0.000*	-0.92	0.000*	-0.92

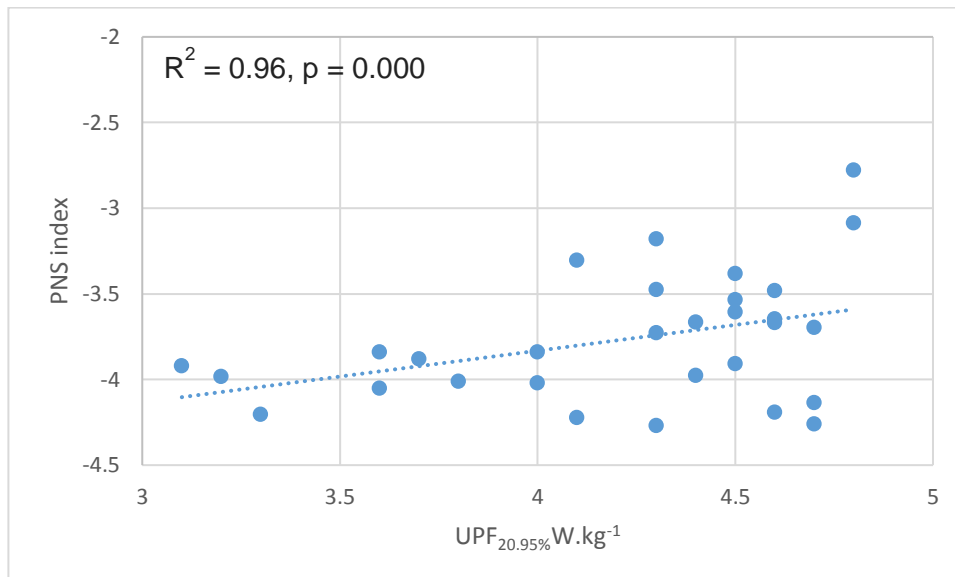
Nota. SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos entre latidos cardiacos. $\sqrt{\text{RMSSD}}$: Raíz cuadrada del valor medio de las diferencias entre los latidos cardiacos sucesivos; SD1: desviación estándar 1 del diagrama de Poicare; PNS index: índice del sistema nervioso parasimpático; SNS index: índice del sistema nervioso simpático; ms: milisegundos. HF: Altas frecuencias; Total Power: Variabilidad total; ms²: milisegundos al cuadrado; %: porcentaje; n.u: unidades normalizadas; FFT: Trasformada rápida de Fourier; AR: Modelo Autorregresivo; SNS index: Índice del sistema nervioso simpático; *: este símbolo representa una relación significativa; -: este signo significa una relación negativa.

Figura 13 Reactividad Parasimpática y Perfil de Potencia



Nota. Los ciclistas con mayor AcPa en los cinco primeros minutos de recuperación activa, respirando espontáneamente, presentaron una mayor recuperación de acuerdo con el rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$.

Figura 14 Recuperación y Perfil de Potencia



Nota. Los ciclistas con mayor AcPa en los tres primeros minutos de recuperación activa, respirando espontáneamente, presentaron una mayor reactividad parasimpática de acuerdo con el rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$.

5. Capítulo V. Discusión y Conclusión

5.1. Umbral de Potencia Funcional

En ciclismo, son el $\dot{V}O_2\max$ y lactatemia los parámetros clásicos para establecer zonas de entrenamiento (3,10,11). Sin embargo, el $UPF_{20.95\%W}$ se presenta como un parámetro para establecer siete zonas de entrenamiento (2). Al respecto, Borszcz y cols (2018) (43) encontraron una correlación de $R = .81$ entre $UPF_{20.95\%W}$ y el $\dot{V}O_2\max$ absoluto ($L \cdot \min^{-1}$), 236 ± 38 vatios relacionado a $3.50 \pm 0.6 L \cdot \min^{-1}$, estudio realizado en

23 ciclistas entrenados. De acuerdo con la metodología de medición de lactatemia, El estudio de Borszcz y cols (2018) (43) encontró una correlación de $R = .61$ entre el $UPF_{20.95\%W}$ con el umbral anaeróbico individual ($236. \pm 38$ vatios relacionado a 2.7 ± 0.5 mmol/L⁻¹). El estudio de Inglis y cols (2019) encontraron una correlación de $R = .96$ entre $UPF_{20.95\%W}$ y el máximo estado estable del lactato (MLSS) (261 ± 45 comparado con 243 ± 45 vatios). No obstante, el $UPF_{20.95\%W}$ no presentó buena sensibilidad a los cambios inducidos por 7 meses de entrenamiento. Por tanto, no se recomienda utilizarlo como una representación del máximo estado estable del lactato. Por su parte, el estudio de Borszcz y cols (2018) (47) halló una correlación de $R^2 = .81$, $UPF_{20.95\%W}$ de 251.7 ± 26.3 asociado a 248.3 ± 25 vatios, correspondiente a un MLSS de 4.1 ± 1.0 mmol/L⁻¹, concluyen que el $UPF_{20.95\%W}$ es una alternativa al MLSS, tanto en ciclistas entrenados como bien entrenados.

Los anteriores estudios muestran que el $\dot{V}O_{2max}$ (L·min⁻¹), la lactatemia y el $UPF_{20.95\%W}$, se correlacionan. No obstante, estos parámetros se deben aplicar de forma individual y son medidas independientes para evaluar y predecir el rendimiento físico y por consiguiente para establecer zonas de entrenamiento. Además, se debe tener precaución al predecir la concentración de lactato únicamente por el $UPF_{20.95\%W}$, ya que puede sobre estimar el umbral de concentración de lactato en las diferentes metodologías, porque la correlación es correspondiente con el nivel formación. Por otra parte, estos estudios proponen para diferentes niveles de formación, no restar el 5 % o restar un 8 % o un 10 % al UPF.

El $UPF_{20.95\%W} \cdot kg^{-1}$ es el perfil de potencia, el cual categoriza el rendimiento deportivo en ciclismo en ocho categorías. En este sentido, Allen y Coggan presentan el $UPF_{20.95\%W} \cdot kg^{-1}$ como un parámetro de clasificación y monitoreo del rendimiento físico.

Así, el rendimiento físico de los ciclistas del estudio de Denham y cols (2017) correspondió a “Moderado”, $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ de 2.62 ± 0.75 (44); en el estudio de Niño y Leguízamo (2019) fue $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ 4.5, correspondiente a la categoría “Muy buena” (46); el de Sanders y cols (2017) fue $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ de 4.7, correspondiente a la categoría “Muy buena” (40); el de Borszcz del 2018 fue $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ de 3.1, correspondiente a la categoría “Moderado” (43) y el del 2019, $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ fue de 3.4 ± 0.3 (47), correspondiente a la categoría “Moderado”; el de Valenzuela y cols (2018) (45) el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ fue de 3.39 ± 0.62 , la categoría de clasificación correspondió a “Moderado”. Los resultados de los seis anteriores estudios muestran que la clasificación de los ciclistas evaluados de acuerdo con el perfil de potencia está en dos categorías: Moderado y Muy Buena.

En ciclismo, son el $\dot{V}O_2$ max absoluto ($L \cdot min^{-1}$) y relativo ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), lactatemia máxima en estado estable, umbral del lactato, umbral anaeróbico individual, umbral de $4mmol \cdot L^{-1}$ y umbral de lactato (3,10,11) los parámetros para clasificar, monitorear y predecir el rendimiento físico. Sin embargo, El $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ se ha correlacionado con $\dot{V}O_2$ max y el tiempo de rendimiento de la carrera de ciclismo. Al respecto, el estudio de Denham y cols (2017) halló una correlación de $R = .93$, $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ de 2.62 ± 0.75 comparado con la potencia máxima de 305.5 ± 65.4 vatios, asociado a un $\dot{V}O_2$ max relativo de $46.8 \pm 9.1 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, $R^2 = .80$, considerándose el rendimiento físico del $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ predictor de la potencia máxima (44). El estudio de Sørensen y cols (2019) encontró una relación significativa entre $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ y el tiempo de rendimiento en la carrera $r = -0,74$. Por tanto, el UPF expresado de forma relativa en $W \cdot kg$ se presenta como parámetro alternativo para clasificar y monitorear el rendimiento físico.

Las categorías de clasificación fueron establecidas por Allen y Coggan, de acuerdo con los resultados de evaluaciones sistemáticas a cientos de ciclistas de diferentes niveles de formación, durante más de 10 años de experiencia como entrenadores de ciclismo (2). Sin embargo, está por demostrarse la relación en estas categorías y el rango de $W \cdot kg$ en cada una de ellas, con los parámetros estándar como el $\dot{V}O_2max$ y lactatemia. Además, la relación con las cinco niveles propuestos por De-Pauw, 2013 (10). A pesar de los pocos estudios realizados en esta forma de categorización, que ilustren el rendimiento físico actual de los ciclistas, el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$, se convierte en un parámetro promisorio guía de clasificación y monitoreo del rendimiento físico. En la práctica, tanto para ciclistas como para profesionales de ciencias del deporte, se convierte en un parámetro alternativo al $\dot{V}O_2max$ y lactatemia para monitorear el rendimiento físico y establecer los objetivos a corto, mediano y largo plazo. Por otra parte, el rendimiento físico en el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$ permite en la parte metodológica asociar el término, altamente entrenado, bien entrenado, profesionales, de nivel competitivo, de nivel recreativo, de alto rendimiento, de clase mundial y altamente experimentados a un valor de $W \cdot kg$.

5.2. Relación IL-6 con el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$

La ejecución de P_{20} incluyó 20 minutos de ejercicio previo con intensidades bajas y altas, denominado calentamiento y 5 minutos de recuperación activa. Por consiguiente, en la práctica, P_{20} tuvo una duración total de 45 minutos, de los cuales 20 minutos son a la máxima intensidad, pero de forma constante. Allen y Coggan proponen un calentamiento de 45 minutos, con lo cual la duración total es de 65 minutos. El calentamiento debe ser considerado, debido a que influye en los resultados del $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$, sobre todo en ciclistas de menor nivel de formación (124).

Es sabido, que las pruebas y el entrenamiento de alta intensidad y corta duración, inducen la producción y liberación significativa de citocinas pro-inflamatorias del tipo TNF- α en atletas de nivel recreativo y competitivo (19,20,57), valores de TNF- α superiores al de este estudio, tanto en reposo como post ejercicio, han sido reportados en nadadores, sin incremento significativo post ejercicio (125). De igual forma, el entrenamiento de alta intensidad y corta duración incrementa significativamente la producción de IL-6 en personas tanto entrenadas como no entrenadas (57,126–128), sin embargo en nadadores no observaron cambios en IL-6 post ejercicio (125).

El entrenamiento mayor a 2 horas, junto con competiciones como media maratón, una maratón, ultra maratón, duatlón, 164 km de ciclismo, involucran la resistencia de larga duración y de alta intensidad. Ambos, inducen la producción y liberación significativa de citocinas pro-inflamatorias como TNF- α (53,54,129,130). De la misma manera, el entrenamiento y competiciones mayor a 2 horas, induce el incremento de citocinas anti-inflamatorias del tipo IL-6 (53,54,58,130–133).

En general, entrenamiento de alta intensidad y corta duración, así como, competiciones mayor a dos horas inducen un incremento de citocinas pro-inflamatorias, lo cual puede aumentar el riesgo de lesiones e inflamación, en contraste ejercicio moderado (46-64% $\dot{V}O_2\max$) o ejercicio vigoroso con adecuados periodos de recuperación pueden lograr el máximo de beneficio (134).

En este estudio miokina IL-6 ni TNF- α se relacionaron con $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$, ni se incrementaron significativamente pos- P_{20} . IL-6 está relacionada con el metabolismo energético, en la estimulación de la lipólisis en fibras musculares tipo II (71), funciona como sensor de energía detectando niveles de glucógeno muscular (135) y como señal periférica de homeostasis energética (136).

P_{20} es una prueba submáxima que no induce incremento significativo de TNF- α 15 minutos pos- P_{20} . No es sabido si a los 30, 45 o 60 minutos pos- P_{20} se produzca un incremento significativo. Sin embargo, de acuerdo con este estudio, P_{20} se puede realizar indistintamente en cualquier periodo de entrenamiento dentro de la preparación anual de un ciclista. Lo anterior, en contraste con la realización de una prueba máxima que induce incremento significativo de TNF- α tanto, en ciclismo (19) como en atletismo (20).

5.3. Relación Lactatemia con $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ y con AcPa

Existió una relación significativa en la concentración de lactato producido durante P_{20} con el rendimiento físico obtenido en el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$. Esta relación muestra que los ciclistas con mayor rendimiento presentaron una mayor concentración de lactato al finalizar P_{20} $12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Otro análisis mostro, que al mantener una intensidad entre los 250 y 300 vatios se produce en promedio $9.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ de lactato durante P_{20} , con una tendencia a utilizar menos concentración de lactato a una intensidad mayor de vatios par los ciclistas con mayor rendimiento. A la fecha, este es el único estudio que ha evaluado y comparado lactatemia y VFC tanto con P_{20} como con el UPF.

El lactato se incrementa en sangre dependiendo del modo, duración e intensidad del ejercicio (47), desde $\sim 2 \pm 0.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ hasta $\sim 20 \pm 4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ o más, parte de este lactato es oxidado en el retículo mitocondrial de células musculares rojas para resintetizar la molécula de energía ATP (137), además bloquea la utilización de la glucosa y le indica al tejido graso que utilice la grasa como combustible (23). Así mismo, tanto el músculo cardíaco como el cerebro prefieren el lactato a la glucosa como combustible y funcionan con mayor intensidad con lactato. Estos procesos metabólicos

favorecen el rendimiento físico durante P_{20} , haciendo que los ciclistas utilicen el lactato como combustible y mantengan mayores intensidades de ejercicio con menor concentración de lactato, lo cual está acorde con lo mencionado por Faria, 2005 (11) y Robergs y cols. (2004) (138) en el sentido de que el lactato durante el ejercicio es beneficioso para el rendimiento físico.

En los primeros 3 minutos post P_{20} , correspondientes a la reactividad parasimpática, el 65.2% de los ciclistas (15 ciclistas) disminuyó su concentración de lactato, el 30.4% de ellos (7 ciclistas) aumento la concentración de lactato y 4.4% (1 ciclista) se mantuvo igual. Post ejercicio, más del 70 % del lactato es reconvertido a piruvato y oxidado en el Ciclo de Krebs (con producción de ATP más C_2O y H_2O), el otro 30 % del lactato removido en el proceso de recuperación se utiliza para la restitución de la glucosa sanguínea, como precursor neoglucogénico (en músculo y corazón en primera instancia y luego en el hígado) y para la restitución de aminoácidos y proteínas (73). Así mismo la curva de remoción del lactato sanguíneo es mucho más rápida con recuperación activa (73).

La remoción del lactato de los tres primeros minutos post P_{20} , correspondientes a la reactividad parasimpática no se relacionó con el rendimiento físico del $UPF_{20,95\%}W \cdot kg^{-1}$. Al respecto, como se mencionó anteriormente, parte del lactato producido por el músculo en contracción es captado y metabolizado para producir energía por células musculares rojas (fibras lentas o Tipo I), células cardiacas, convertido en glucosa por el hígado o eliminado en el sudor (137,138). Por tanto, la lactatemia es el resultado final de los procesos de formación, utilización y eliminación, por lo que los ciclistas presentan velocidades similares de remoción del lactato en los primeros tres minutos post ejercicio.

La reactividad parasimpática (92–96) no se relacionó significativamente con la remoción de lactato, porque en la recuperación los ajustes autonómicos pueden ser provocados principalmente por una reducida entrada de metabarorreflejos (88,104), ya que al terminar el ejercicio, la eliminación del reflejo presor del ejercicio, restablece el barorreflejo arterial a un nivel inferior y provoca una disminución inicial de la frecuencia cardíaca (cardio-desaceleración), mediada tanto por la reactivación parasimpática progresiva como la retirada simpática (88), independiente de la remoción del lactato.

5.3.1. AcPa en Reposo y Relación con el $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1}$

. SDNN (ms) está asociada con AcPa. este parámetro en el presente estudio, fue de 65.96 ± 25.79 ms, en los siguientes cuatro estudios, cuya población fueron ciclistas SDNN fue: 75.95 ± 15.41 ms (139); 79.6 ± 32.2 ms (140); 57.2 ± 20.9 ms (141) y 59.10 ± 6.52 ms (142). De acuerdo con lo anterior, los valores promedio y DE para el índice SDNN, correspondiente a ciclistas con diferentes niveles de formación oscilan entre 68.50 ± 20.90 ms. En nadadores se observa valores de 75.6 ms (143), en corredores y triatletas valores de 80 ms (141,144).

RMSSD (ms) indicador de AcPa, en el presente estudio fue 80.73 ± 38.32 ms; en el estudio de Earnest (2004), donde participaron ocho ciclistas que estaban compitiendo en la vuelta España 2001, los registros fueron obtenidos el primer día de competencia, el valor fue 44.89 ± 5.21 (ms) (142); en el estudio Arslan y Aras (2016) (141) en el que participaron seis ciclistas de Turquía (experiencia 9.7 ± 4.8 años), los registros fueron obtenidos después de dos semanas de entrenamiento aerobio, en periodo preparatorio, este índice correspondió a 42.2 ± 24.2 (ms) (141); en el estudio de Oliveira-Silva (2018) (139) participaron 12 ciclistas de Brasil, los registros fueron obtenidos un día antes de la competición y fue de 59.93 ± 18.70 (ms). De acuerdo con los anteriores estudios, el

valor promedio y DE para ciclistas en RMSSD (ms) es 59.01 ± 22.79 ms, para nadadores de ha observado valores de 71.4 ± 46.92 ms (145), para corredores y triatletas valores de 72.16 ± 39.20 ms (144,146–150) y para esquiadores de 98.15 ± 61.6 ms (151).

HF (ms²) indicador de AcPa, en el presente estudio fue: 2410.49 ± 2177.01 ms², en el estudio de Arslan y Aras (2016) (141) también en ciclistas fue: 456.2 ± 420.6 ms², en nadadores de 716.4 ± 441.14 ms² (145) y en corredores y triatletas de 1109.98 ± 1172.45 ms² (144,146–148,152).

SD1 (ms) del diagrama de Poicaré, indicador de AcPa en el presente estudio fue de 59.73 ± 26.06 , en el estudio de Oliveira-Silva (2018) (139) en ciclistas fue 52.60 ± 19.38 , en triatletas este parámetro fue de 73 ± 48 (144) y en corredores de 34.34 ± 15.18 (144).

En nuestro estudio el índice AcPa (PSN index) fue 2.3 ± 1.3 , este índice es el referente a utilizar para observar los cambios de acuerdo con el periodo o mesociclo de entrenamiento y el nivel de formación de los ciclistas. Sin embargo, se ha informado que los programas de entrenamiento influyen de manera diferente sobre AcPa, evaluada en reposo de cúbito supino (153), no obstante, este estudio no muestra específicamente los resultados sobre el PNS index. Aunque, todos los participantes de los estudios mencionados anteriormente hacen parte del deporte clasificado como de resistencia de larga duración, se observan diferencias en estos valores de SDNN (ms), RMSSD (ms) y SD1 (ms), lo que incide en el índice AcPa (PNS Index). De manera que, este corresponde a cada disciplina deportiva y es dependiente del nivel de formación de los atletas.

Uno de los parámetros a utilizar en la parte práctica, para una precisa dosificación de la intensidad del entrenamiento, valoración del rendimiento físico y adaptación a las cargas de entrenamiento, en deportes de resistencia de larga duración como el ciclismo

de ruta es el índice AcPa (PSN index), el cual indica y refleja el tono vagal cardiaco. De manera similar, el índice AcSi que en el presente estudio fue de -1.3 ± 0.7 , es otro de los parámetros a utilizar en la parte práctica para identificar la presencia de fatiga y valorar la desadaptación a las cargas de entrenamiento en ciclismo de ruta. Además, se ha demostrado que los programas de entrenamiento que se han llevado a cabo mediante el control de AcPa y AcSi, han inducido mejoras en el rendimiento físico y adaptaciones fisiológicas (154).

En reposo AcPa refleja el tono vagal cardiaco de las personas. Este se puede mejorar con la realización de ejercicio físico regular. Se observan cambios tan solo en seis semanas de entrenamiento (153), pero es el entrenamiento de resistencia de larga duración el que ocasiona un aumento significativo en el tono vagal cardiaco. Consecuentemente, AcPa es mayor en atletas comparado con no atletas (104).

En el presente estudio, los ciclistas con mayor AcPa en reposo presentaron mayor rendimiento tanto en el $UPF_{20.95\%W}$ como en el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$. El R^2 entre el índice de AcPa y $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ fue de 0.80, lo que significa el 80 % del rendimiento físico es explicado por AcPa. Este hallazgo indica que el índice AcPa (PNS inex) de la VFC es un parámetro para predecir el rendimiento físico de acuerdo con el UPF en ciclistas de nivel competitivo. Además, se puede inferir que la actividad parasimpática resulta útil para identificar una posible predisposición genética a los deportes de resistencia de larga duración como el ciclismo de ruta.

La relación significativa entre AcPa en reposo con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$ muestra la participación del SNA en el rendimiento físico. En este sentido, Machhada y cols (2017) (155) mostraron evidencia de que AcPa generada por un circuito del SNC determina la capacidad de hacer ejercicio, en un estudio realizado en animales (ratones machos).

Un índice AcPa (PNS inex) asociado al rendimiento físico en ciclismo y como predictor del mismo, está acorde con los resultados presentados por Verweij, Vegte y van de Harst (2018) (156), en el que realizaron un estudio genético y encontraron 25 polimorfismos de nucleótido único vinculados con el rol del SNA en la modulación de la frecuencia cardiaca, esta modulación relacionada con los índices SDNN (ms) y RMSSD (ms) ($R =$ desde 0.42 hasta 0.60). Así mismo, está acorde con lo descrito por Gourine y Ackland (2019) (89), que indican que la actividad vagal cardiaca determina causalmente la capacidad para hacer ejercicio, de ahí que un alto tono vagal cardiaco en atletas de élite, sea críticamente importante para conferir mayor tolerancia a la intensidad del entrenamiento, esenciales para lograr un superior rendimiento atlético.

5.3.2. Relación Reactividad Parasimpática y AcPa en la Recuperación con el $UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$

Los ciclistas con mayor rendimiento físico ya sea en el UPF o en el perfil de potencia ($UPF_{20.95\%W \cdot kg^{-1}}$) presentaron tanto una mayor reactividad parasimpática como una recuperación Post- P_{20} , el índice AcPa (PNS inex) fue de $R^2 = .97$ y $.96$ respectivamente. Así como una relación significativa negativa con el índice AcSi (SNS index) post P_{20} , $R^2 = -0.92$ y -0.92 en el índice AcSi (SNS index) respectivamente.

Los primeros tres minutos post-ejercicio corresponden a la reactividad parasimpática (92–96). La reactividad parasimpática es utilizada para identificar la presencia de fatiga (94–96). La evaluación de la reactividad parasimpática comúnmente se evalúa con la persona en condición pasiva (decúbito supino o sentado) (96,109,110,140). No obstante, en el presente estudio se evaluó la reactividad parasimpática de forma activa, pedaleando sobre la bicicleta, porque en atletas la recuperación post ejercicio es caminando o pedaleando según sea la actividad realizada,

es decir, en recuperación es activa. Por tanto, los datos de este estudio no fueron contrastados con los datos de los otros estudios.

A la fecha este es el único estudio que ha evaluado la reactividad parasimpática de esta forma y post P₂₀. Por otra parte, la posición del cuerpo debe ser considerada porque influye en las medidas de AcPa, con una postura más erguida como estar sentado o de pie, la recuperación es más lenta en comparación con la posición decúbito supino (107,108,157). Al terminar el ejercicio, los procesos neuronales, autonómicos, circulatorio, respiratorio y del reflejo presor del ejercicio que participan en el aumento de la frecuencia cardíaca (cardio-aceleración) se producen esencialmente a la inversa, donde la eliminación abrupta del "comando central" junto con la retroalimentación eliminada de los receptores musculares, restablece el barorreflejo arterial a un nivel inferior y provoca una disminución inicial de la frecuencia cardíaca (cardio-desaceleración) que es predominantemente mediado por un aumento en AcPa (88,90,91).

La recuperación inmediatamente posterior al ejercicio, como son los primeros 5 y 10 minutos, son utilizados para monitorear la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento y también para supervisar la presencia de fatiga post entrenamiento o competición (104,158,159). La evaluación de la recuperación comúnmente se evalúa con la persona en condición pasiva (decúbito supino o sentado) (96,109,110,140). De igual forma que en la reactividad parasimpática, en el presente estudio se evaluó la recuperación de forma activa pedaleando sobre la bicicleta, porque en atletas la recuperación post ejercicio es caminando o pedaleando según sea la actividad realizada, es decir, en recuperación es activa. No se encontraron datos de otros estudios para comparar, porque condiciones de recuperación como la posición el cuerpo también

influye en los valores de la recuperación de AcPa. Con una posición más erguida como sentado, la recuperación tarda un poco más (88,107,108), al igual que la recuperación activa o pasiva, han mostrado relación con la recuperación de AcPa (109–111). A la fecha este es el único estudio que ha evaluado la recuperación de esta forma y post P₂₀.

Por otra parte, la duración del ejercicio debe considerarse porque influye en la recuperación de AcPa, sobre todo en atletas de bajo nivel de rendimiento (88,98–100). Sin embargo, la intensidad del ejercicio es el principal determinante de la recuperación inmediata de AcPa post ejercicio (101–103). Así mismo, una mayor intensidad de ejercicio se asocia con una recuperación más lenta de las medidas de AcPa durante la primera hora y un ejercicio de baja intensidad se asocia con la recuperación rápida de AcPa (88,104,105). En la práctica, la monitorización diaria del entrenamiento y la competición, permite por un lado estructurar los microciclos de entrenamiento con referencia a la cinética de recuperación parasimpática cardíaca (7,160) y por otro, en carreras de una, dos o tres semanas, brinda orientaciones para idear la estrategia a los gregarios y definir los ataques al líder del equipo.

De acuerdo con los resultados del presente estudio, el índice AcPa por un lado, es mejor indicador en la reactividad parasimpática y en la recuperación activa, que los parámetros como RMSSD (ms) o las HF ya sea por la FFT (transformada rápida de Fourier) o AR (modelo autorregresivo) y por otro lado, tanto el índice AcPa como AcSi de la VFC se convierten en un parámetro alternativo a la capacidad cardiorrespiratoria y lactatemia máxima para identificar la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento, la presencia de fatiga y monitorear el rendimiento físico en ciclistas de nivel competitivo. Sin embargo, en estudios ulteriores se debe tener en cuenta variables como proceso de entrenamiento, especialidad dentro del equipo, nivel de formación de

los ciclistas (153), temperatura ambiente, horas de sueño en la noche o noches anteriores, nivel de estrés del día anterior y en el momento de la prueba (161) y altura donde viven los ciclistas (162), que influyen en las medidas de los parámetros de la VFC.

5.4. Conclusiones

Los ciclistas con mayor AcPa en reposo presentaron tanto un mayor $UPF_{20.95\%W}$ como un $UPF_{20.95\%W.kg^{-1}}$. Lo cual, muestra que AcPa es un parámetro para predecir el rendimiento físico tanto del UPF como del perfil de potencia en ciclistas de nivel competitivo. Adicionalmente, el índice AcPa plantea un escenario para una posible identificación de predisposición genética a los deportes de resistencia de larga duración, porque un alto tono vagal cardíaco es importante para conferir mayor tolerancia a la intensidad del entrenamiento, esencial para lograr un superior rendimiento físico.

Los ciclistas con mayor $UPF_{20.95\%W}$ y $UPF_{20.95\%W.kg^{-1}}$ presentaron tanto una mayor reactividad parasimpática como una mayor recuperación de AcPa, así como una relación significativa negativa con el índice AcSi. Los índices AcPa y AcSi se convierten en una alternativa a la capacidad cardiorrespiratoria máxima y lactatemia para identificar la adaptación a la intensidad del entrenamiento, presencia de fatiga post-entrenamiento o post-competición y monitorear el rendimiento físico en ciclistas de nivel competitivo. Además, el índice AcPa es mejor indicador que el RMSSD o las HF ya sea por la FFT o AR.

P_{20} es una prueba alternativa a P_{60} , su realización involucra principalmente el metabolismo glucolítico, no induce la producción significativa de IL-6, tampoco induce la producción significativa de TNF- α 15 minutos post- P_{20} , indicando que es una prueba que

se puede realizar indistintamente en cualquier periodo de entrenamiento, dentro de la preparación anual de un ciclista de ruta.

6. Perspectivas, Recomendaciones y Limitaciones

Para futuras investigaciones se propone evaluar AcPa en cada una de las ocho categorías del perfil de potencia W.kg. También, en estudios ulteriores se recomienda conocer el programa de entrenamiento desarrollado en los últimos tres meses. Dos días antes de la evaluación de la VFC controlar, las horas de descanso, sueño, ingesta de alimentos, bebidas y realizar los protocolos a todos los participantes el mismo día.

El proceso de expresar génicamente, sintetizar y liberar al torrente sanguíneo tanto TNF- α como IL-6 requiere de un tiempo determinado, por lo cual se sugiere realizar una curva de al menos una hora post-ejercicio, antes de descartar la relación de IL-6 con el $UPF_{20.95\%}W.kg^{-1}$. así mismo el incremento significativo de TNF- α post-P₂₀.

Referencias

1. Federación Colombiana de Ciclismo. Federación Colombiana de Ciclismo [Internet]. Noticias. 2020 [cited 2021 Aug 7]. Available from: <http://www.federacioncolombianadeciclismo.com/historia/>
2. Allen H, Coggan A. Entrenar y correr con potenciómetro. 4th ed. España; 2018. 443 p.
3. Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state—implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2003 [cited 2020 Oct 4];89(1):95–9. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00421-002-0783-1.pdf>
4. Dong JG. The role of heart rate variability in sports physiology (Review). *Exp Ther Med* [Internet]. 2016 May 1 [cited 2020 Nov 2];11(5):1531–6. Available from: <http://www.spandidos-publications.com/10.3892/etm.2016.3104/abstract>
5. Guyton AC, Hall JE. Tratado de Fisiología Médica [Internet]. 11th ed. Elsevier Science Health Science Division; 2006 [cited 2020 Oct 5]. Available from: https://books.google.com.co/books?id=_A7sQgAACAAJ&dq=tratado+de+fisiologia+medica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewiPrsOAvJ3sAhUFzIkKHSUZCsIQ6AEwAnoECAMQAq
6. Boron WF, Boulpaep EL. Medical Physiology : A Cellular and Molecular approach. second edition. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2009.
7. Javaloyes A, Sarabia JM, Lamberts RP, Plews D, Moya-Ramon M. Training Prescription Guided by Heart Rate Variability Vs. Block Periodization in Well-Trained Cyclists. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2020 Nov 15];34(6):1511–8. Available from: <http://journals.lww.com/10.1519/JSC.0000000000003337>
8. Gleeson M. Effects of exercise on immune function. *Sport Sci Exch* [Internet]. 2015 [cited 2020 Jun 28];28:1–6. Available from: <https://www.gssiweb.org/en/sports-science-exchange/Article/sse-151-effects-of-exercise-on-immune-function>
9. Tossige-Gomes R, Costa KB, Ottone V de O, Magalhães F de C, Amorim FT, Rocha-Vieira E. Lymphocyte Redox Imbalance and Reduced Proliferation after a Single Session of High Intensity Interval Exercise. Zissel G, editor. *PLoS One* [Internet]. 2016 Apr 20 [cited 2020 Nov 2];11(4):e0153647. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0153647>
10. De Pauw K, Roelands B, Cheung SS, De Geus B, Rietjens G, Meeusen R. Guidelines to classify subject groups in sport-science research [Internet]. Vol. 8, *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Human Kinetics Publishers Inc.; 2013 [cited 2020 Nov 10]. p. 111–22. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23428482/>
11. Faria EW, Parker DL, Faria IE. The science of cycling: Physiology and training - Part 1. *Sport Med*. 2005;35(4):285–312.
12. Ebert T, Martin D, Stephens B. Power output during a professional men's road-

- cycling tour. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2006 [cited 2020 Jun 27];1(4):324–35. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/1/4/article-p324.xml>
13. Passfield L, Hopker J, Jobson S, Friel D, Zabala M. Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. *J Sports Sci* [Internet]. 2017 Jul 18 [cited 2020 Jul 20];35(14):1426–34. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640414.2016.1215504>
 14. Pinot J, Grappe F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sport* [Internet]. 2011 [cited 2020 Jun 26];32(11):839–44. Available from: <http://dx.doi.org/>
 15. Delezie J, Handschin C. Endocrine crosstalk between Skeletal muscle and the brain. *Front Neurol* [Internet]. 2018 Aug 24 [cited 2020 Nov 7];9(AUG):698. Available from: www.frontiersin.org
 16. Giudice J, Taylor J. Muscle as a paracrine and endocrine organ. *Curr Opin Pharmacol* [Internet]. 2017 [cited 2020 Oct 10];34:49–55. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1471489217300024?casa_token=w7y4VXNq7KcAAAAA:t1_Ni5psh1YiygNNDKtmHaq8C9-XFqAajkRU6NxnvfJscXGNEtVkJb3Z_6uNI3X3izZK7CBmTA
 17. Hoffmann C, Weigert C. Skeletal muscle as an endocrine organ: The role of myokines in exercise adaptations. *Cold Spring Harb Perspect Med* [Internet]. 2017 Nov 1 [cited 2020 Nov 7];7(11):a029793. Available from: <http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/7/11/a029793.full>
 18. Karstoft K, Pedersen BK. Skeletal muscle as a gene regulatory endocrine organ. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2016 Jul 1;19(4):270–5.
 19. Joro R, Uusitalo A, DeRuisseau KC, Atalay M. Changes in cytokines, leptin, and IGF-1 levels in overtrained athletes during a prolonged recovery phase: A case-control study. *J Sports Sci* [Internet]. 2017 Dec 2 [cited 2020 Nov 13];35(23):2342–9. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640414.2016.1266379>
 20. Slusher AL, Zúñiga TM, Acevedo EO. Maximal Exercise Alters the Inflammatory Phenotype and Response of Mononuclear Cells. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 2018 Apr 1 [cited 2020 Nov 13];50(4):675–83. Available from: <https://journals.lww.com/00005768-201804000-00005>
 21. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 1979 [cited 2020 Oct 4];42(1):25–34. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00421101.pdf>
 22. Wasserman K, Mcllroy M. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* [Internet]. 1964 [cited 2020 Oct 4];14(6):844–52. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002914964900128>
 23. Brooks GA. The science and translation of lactate shuttle theory. *Cell Metab* [Internet]. 2018 [cited 2021 Nov 24];27(4):757–85. Available from:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550413118301864>
24. Mosienko V, Teschemacher AG, Kasparov S. Is L-lactate a novel signaling molecule in the brain? *J Cereb Blood Flow Metab* [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2020 Jun 30];35(7):1069–75. Available from: www.jcbfm.com
 25. Belli J, Bacal F, Bocchi E. Comportamento do ergorreflexo na insuficiência cardíaca. *Arq Bras* [Internet]. 2011 [cited 2020 Jun 27]; Available from: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0066-782X2011001100012&script=sci_arttext
 26. Dong J. The role of heart rate variability in sports physiology. *Exp Ther Med* [Internet]. 2016 [cited 2020 Nov 2];11(5):1531–6. Available from: <https://www.spandidos-publications.com/etm/11/5/1531?text=fulltext>
 27. Arce J, Segovia J, Ballesteros J. Valoración de la condición física por medio de test. Primera. Madrid: Ediciones Pedagógicas ; 1996.
 28. Portela SJ. Consideraciones sobre cómo desarrollar y mantener niveles de aptitud física. Colegio General de profesores y licenciados; 1986.
 29. Martínez LE. Pruebas de aptitud física [Internet]. Primera. Barcelona: Paidotribo; 2002 [cited 2020 Oct 19]. 25–32 p. Available from: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QAI0ugcRccgC&oi=fnd&pg=PA13&dq=aptitud+fisica&ots=myQ_alxC41&sig=o3G3ogotCINB2TUvfyLj6Zg_ama
 30. Billat V. FISIOLÓGÍA Y METODOLOGÍA DEL ENTRENAMIENTO. De la teoría a la práctica [Internet]. Primera. Barcelona: Paidotribo; 2002 [cited 2020 Jul 19]. 09–09 p. Available from: https://books.google.com.co/books?id=cM_OJJQH0lsC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Véronique+Billat%22&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjBspnz_9nqAhWmiOAKHbtzAmlQ6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q&f=false
 31. Cortegaza FL, Luong CD. Bases teóricas del rendimiento deportivo. *EFDeportes.com, Revista Digital · Año 20 · N° 207* [Internet]. 2015 Aug [cited 2020 Jul 19]; Available from: <https://www.efdeportes.com/efd207/bases-teoricas-del-rendimiento-deportivo.htm>
 32. Reglamento RFEC. REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE CICLISMO [Internet]. 2020 [cited 2020 Nov 5]. Available from: <https://rfec.com/index.php/es/smartweb/seccion/seccion/rfec/home>
 33. Reglamento UCI. Union Cycliste Internationale [Internet]. 2020 [cited 2020 Nov 5]. Available from: <https://www.uci.org/>
 34. Verkhoshansky Y. TEORÍA Y METODOLOGÍA DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO [Internet]. Primera. Barcelona: Paidotribo; 2002 [cited 2020 Oct 4]. 1–189 p. Available from: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=rcHpCFKiQUoC&oi=fnd&pg=P9&dq=Teoría+y+metodología+del+entrenamiento+deportivo&ots=DorE_TPH3r&sig=ygVnUjrU2hxLS2QrXMG_7aZgsog#v=onepage&q=Teoría+y+metodología+del+entrenamiento+deportivo&f=false
 35. Weineck J. Entrenamiento total. 2005 [cited 2020 Jul 19]; Available from:

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=blGKlpVmNrcC&oi=fnd&pg=PA11&dq=entrenamiento+total+weineck&ots=PhovKpAL_F&sig=zoxdSbp3vCRLYiYJY50h7IlshCM

36. Platonov VN. Teoría general del entrenamiento deportivo olímpico [Internet]. Primera. Barcelona: Paidotribo; 2001 [cited 2020 Jul 19]. Available from: <https://books.google.com.co/books?id=tBbimZs3msUC&printsec=frontcover&dq=Entrenamiento+deportivo+platonov&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwip0Mfqg9rqAhWSTd8KHSZTDlwQ6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=Entrenamiento+deportivo+platonov&f=false>
37. ACSM's AC of SM. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Tenth. Kluwer W, editor. Batilmore: Williams & Wilkins, Lippincott; 2017. 1–471 p.
38. Karsten B, Petrigna L, Klose A, Bianco A, Townsend N, Triska C. Relationship Between the Critical Power Test and a 20-min Functional Threshold Power Test in Cycling. *Front Physiol*. 2021 Jan 22;11.
39. Gavin TP, Van Meter JB, Brophy PM, Dubis GS, Potts KN, Hickner RC. Comparison of a field-based test to estimate functional threshold power and power output at lactate threshold. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2012 [cited 2020 Oct 5];26(2):416–21. Available from: https://cdn.journals.lww.com/nsca-jscr/FullText/2012/02000/Comparison_of_a_Field_Based_Test_to_Estimate.13.a.spx
40. Sanders D, Taylor RJ, Myers T, Akubat I. A field-based cycling test to assess predictors of endurance performance and establishing training zones. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2017 Mar [cited 2020 Jun 27];1. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28368958/>
41. MacInnis MJ, Thomas ACQ, Phillips SM. The reliability of 4-minute and 20-minute time trials and their relationships to functional threshold power in trained cyclists. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2020 Nov 7];14(1):38–45. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29809063/>
42. Morgan PT, Black MI, Bailey SJ, Jones AM, Vanhatalo A. Road cycle TT performance: Relationship to the power-duration model and association with FTP. *J Sports Sci*. 2019 Apr 18;37(8):902–10.
43. Borszcz F, Tramontin A, Bossi A, Carminatti L, Costa V. Functional Threshold Power in Cyclists: Validity of the Concept and Physiological Responses. *Int J Sports Med* [Internet]. 2018 Oct 25 [cited 2020 Oct 30];39(10):737–42. Available from: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0044-101546>
44. Denham J, Scott-Hamilton J, Hagstrom AD, Gray AJ. Cycling Power Outputs Predict Functional Threshold Power And Maximum Oxygen Uptake. *J Strength Cond Res*. 2017 Sep;1.
45. Valenzuela P, Morales J, Foster C, Lucia A, de la Villa P. Is the functional threshold power a valid surrogate of the lactate threshold? *J Sport* [Internet]. 2018 [cited 2020 Jun 26]; Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/13/10/article-p1293.xml>
46. Niño W, Leguizamón J. Correlación entre el Umbral Funcional de Potencia y el

- Umbral de Lactato en los ciclistas del equipo élite “Boyacá es para vivirla.” Tesis maestría en Pedagogía de la cultura Física. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; 2019.
47. Borszcz FK, Tramontin AF, Costa VP. Is the functional threshold power interchangeable with the maximal lactate steady state in trained cyclists? *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2019 Sep 1 [cited 2020 Oct 30];14(8):1029–35. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/14/8/article-p1029.xml>
 48. Pratesi A, Tarantini F, Di Bari M. Skeletal muscle: an endocrine organ. *Clin cases Miner bone Metab* [Internet]. 2013 [cited 2020 Oct 10];10(1):11. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3710002/>
 49. Dembic Z. *The Cytokines of the Immune System: The Role of Cytokines in Disease Related* [Internet]. 1 edición. Elsevier, editor. Mica Haley; 2015 [cited 2020 Jun 29]. 17–200 p. Available from: <https://books.google.com.co/books?id=DdacBAAQBAJ&printsec=frontcover&q=The+Cytokines+of+the+Immune+System&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjQnuCbtqfqAhVKT98KHduBAh0Q6AEWAHoECAYQAg#v=onepage&q=The+Cytokines+of+the+Immune+System&f=false>
 50. Reid MB, Li YP. Tumor necrosis factor- α and muscle wasting: A cellular perspective. *Respir Res*. 2001;2(5):269–72.
 51. Larsen A, Lindal S, Aukrust P, Toft I, Aarsland T. Effect of exercise training on skeletal muscle fibre characteristics in men with chronic heart failure. Correlation between skeletal muscle alterations, cytokines and. *Int J Cardiol* [Internet]. 2002 [cited 2020 Oct 10];83(1):25–32. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167527302000141>
 52. Gielen S, Adams V, Möbius-Winkler S, Linke A, Erbs S, Yu J, et al. Anti-inflammatory effects of exercise training in the skeletal muscle of patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* [Internet]. 2003 [cited 2020 Oct 10];42(5):861–8. Available from: <https://www.onlinejacc.org/content/42/5/861.abstract>
 53. Bernecker C, Scherr J, Schinner S, Braun S, Scherbaum WA, Halle M. Evidence for an exercise induced increase of TNF- α and IL-6 in marathon runners. *Scand J Med Sci Sport*. 2013 Apr;23(2):207–14.
 54. Krzemiński K, Buraczewska M, Miśkiewicz Z. Effect of ultra-endurance exercise on left ventricular performance and plasma cytokines in healthy trained men. *Biol Sport* [Internet]. 2016 [cited 2020 Oct 11];33(1):63. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4786588/>
 55. Petersen AMW, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise [Internet]. Vol. 98, *Journal of Applied Physiology*. American Physiological Society; 2005 [cited 2020 Jun 30]. p. 1154–62. Available from: <https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappphysiol.00164.2004>
 56. Reihmane D, Jurka A, Tretjakovs P, Dela F. Increase in IL-6, TNF- α , and MMP-9, but not sICAM-1, concentrations depends on exercise duration. *Eur J Appl*

- Physiol. 2013 Apr;113(4):851–8.
57. Zwetsloot K, John C, Lawrence M. High-intensity interval training induces a modest systemic inflammatory response in active, young men. *J Inflamm Res* [Internet]. 2014 [cited 2020 Oct 11];7:9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3920540/>
 58. Luk HY, Levitt DE, Lee EC, Ganio MS, McDermott BP, Kupchak BR, et al. Pro- and anti-inflammatory cytokine responses to a 164-km road cycle ride in a hot environment. *Eur J Appl Physiol*. 2016 Oct 1;116(10):2007–15.
 59. Clarke CJP, Hales A, Hunt A, Foxwell BMJ. IL-10-mediated suppression of TNF- α production is independent of its ability to inhibit NF κ B activity. *Eur J Immunol*. 1998 May;28(5):1719–26.
 60. Opal SM, Depalo VA. Anti-Inflammatory Cytokines [Internet]. Vol. 117, CHEST. 2000 [cited 2020 Oct 18]. Available from: <http://journal.publications.chestnet.org/pdfaccess.ashx?url=/data/journals/chest/21942/>
 61. Ostrowski K, Rohde T, Asp S, Schjerling P, Pedersen BK. Pro- and anti-inflammatory cytokine balance in strenuous exercise in humans. *J Physiol*. 1999 Feb 15;515(1):287–91.
 62. Leng S, McElhaney J, Walston D, Xie D, Fedarko N, Kuchel G. ELISA and multiplex technologies for cytokine measurement in inflammation and aging research. *Biol Sci Med Sci* [Internet]. 2008 [cited 2020 Oct 18];63(8):879–84. Available from: <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article-abstract/63/8/879/567391>
 63. Jürimäe J, Mäestu J, Jürimäe T, Mangus B, von Duvillard S. Peripheral signals of energy homeostasis as possible markers of training stress in athletes: a review. *Metabolism* [Internet]. 2011 [cited 2020 Jun 30];60(3):335–50. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026049510000636?casa_token=en=jlFH5JSrjHEAAAAA:PWQnwN223eljaAK4ZWbPt6pekfYtVS6u-RfzDN_ptJ9AvoQpS6kkDKrdgNX3jn5DozOVbkrJw
 64. Pedersen B. Muscles and their myokines. *jeb.biologists.org* [Internet]. 2011 [cited 2020 Jun 30]; Available from: <https://jeb.biologists.org/content/214/2/337.short>
 65. Pedersen B, Åkerström T, Nielsen A, Fischer C. Role of myokines in exercise and metabolism. Vol. 103, *Journal of Applied Physiology*. 2007. p. 1093–8.
 66. Pedersen B, Fischer C. Beneficial health effects of exercise - the role of IL-6 as a myokine. *Trends Pharmacol Sci*. 2007 Apr 1;28(4):152–6.
 67. Scheller J, Chalaris A, Schmidt-Arras D, Rose-John S. The pro- and anti-inflammatory properties of the cytokine interleukin-6. *Biochim Biophys Acta (BBA)-Molecular Cell Res* [Internet]. 2011 [cited 2020 Oct 10];878–88. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167488911000425>
 68. Albu A, Lupu D. Adipokines, systemic inflammation and exercise. In: *Palestrica of the Third Millennium Civilization & Sport* [Internet]. 2015 [cited 2020 Oct 10]. p.

- 257–61. Available from: [http://pm3.ro/pdf/61/PM3_Nr.3\(61\)_2015m.pdf#page=59](http://pm3.ro/pdf/61/PM3_Nr.3(61)_2015m.pdf#page=59)
69. León-Ariza HH, Botero-Rosas DA, Acero-Mondragón EJ, Reyes-Cruz D. Soluble interleukin-6 receptor in young adults and its relationship with body composition and autonomic nervous system. *Physiol Rep* [Internet]. 2019 Dec 1 [cited 2021 May 1];7(24). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31872577/>
 70. Huh JY. The role of exercise-induced myokines in regulating metabolism [Internet]. Vol. 41, *Archives of Pharmacal Research*. Pharmaceutical Society of Korea; 2018 [cited 2020 Nov 7]. p. 14–29. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12272-017-0994-y>
 71. MacDonald TL, Wan Z, Frenedo-Cumbo S, Dyck DJ, Wright DC. IL-6 and epinephrine have divergent fiber type effects on intramuscular lipolysis. *J Appl Physiol*. 2013 Nov 15;115(10):1457–63.
 72. Mckee T, Mckee JR. *bioquímica la base molecular de la vida* [Internet]. Tercera Ed. McGRAW-HILL I, editor. Madrid; 2003 [cited 2020 Jun 29]. 108–530 p. Available from: https://www.google.com.co/search?biw=1366&bih=608&tbm=bks&ei=Lgj6Xv2gII_Tu_Qapzl_AA&q=bioquimica+la+base+molecular+de+la+vida&oq=bioquimica+la+base+molecular+de+la+vida&gs_l=psy-ab.3...1075947.1090527.0.1091399.39.32.0.0.0.0.496.4026.2-2j5j4.11.0...0...1
 73. Mazza JC. Ácido láctico y ejercicio (Parte II). *Actual en Cienc del Deport* [Internet]. 1997 [cited 2021 Nov 24];5–14. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Mazza%2C+J.+C.+1997&btnG=
 74. Davis J, Vodak P, Wilmore J, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol*. 1976;41(4):544–50.
 75. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: How valid are they? [Internet]. Vol. 39, *Sports Medicine*. Sports Med; 2009 [cited 2020 Jun 29]. p. 469–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19453206/>
 76. Feriche B, Delgado M. Evolution and practical application of anaerobic threshold in sports training. Review. *Eur J Hum Mov* [Internet]. 2010 [cited 2020 Oct 4];2:35–9. Available from: <https://recyt.fecyt.es/index.php/ejhm/article/view/56115>
 77. Ribas J. Lactato: De indeseable a valioso metabolito. El papel de la producción de lactato en la regulación de la excitabilidad durante altas demandas de potencia en las fibras musculares. *Arch med Deport* [Internet]. 2010 [cited 2020 Jun 29];(211–230). Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3276596>
 78. López chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio* [Internet]. 3rd ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana; 2006 [cited 2021 Jun 7]. 182–239 p. Available from: https://books.google.com.co/books?id=LBSwgL-WTHEC&printsec=copyright&hl=es&source=gbs_pub_info_r#v=onepage&q&f=false
 79. Keul J. Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur

- Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. Dtsch Z Sport [Internet]. 1979 [cited 2020 Oct 4];30:212–8. Available from: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10008306355/>
80. Mader A, Heck H. A theory of the metabolic origin of “anaerobic threshold.” *Int J Sports Med*. 1986;7(1):45–65.
 81. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold . *Int J Sport Med* . 1985;6(03):117–30.
 82. Farrell P, Wilmore J, Coyle E, Billing E, Costill D. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sport* [Internet]. 1979 [cited 2020 Oct 4];11(4):338–44. Available from: https://www.academia.edu/download/49855369/Plasma_lactate_accumulation_and_distance20161025-6356-h4t0qv.pdf
 83. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med*. 1981;2(1):23–6.
 84. Billat LV, Sirvent P, Guillaume P, Koralsztein JP, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sport Med*. 2003;33(6):407–26.
 85. Londeree BR, Ames SA. Maximal steady state versus state of conditioning. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1975 Dec;34(1):269–78.
 86. Coote JH, Hilton SM, Perez-Gonzalez JF. The reflex nature of the pressor response to muscular exercise. *J Physiol* [Internet]. 1971 Jul 1 [cited 2020 Jun 27];215(3):789–804. Available from: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/jphysiol.1971.sp009498>
 87. White DW, Raven PB. Autonomic neural control of heart rate during dynamic exercise: Revisited. Vol. 592, *Journal of Physiology*. Blackwell Publishing Ltd; 2014. p. 2491–500.
 88. Michael S, Graham KS, Oam GMD. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals-a review. Vol. 8, *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A.; 2017.
 89. Gourine A V., Ackland GL. Cardiac vagus and exercise [Internet]. Vol. 34, *Physiology*. American Physiological Society; 2019 [cited 2020 Jul 15]. p. 71–80. Available from: www.physiologyonline.org
 90. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CL de M. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging* [Internet]. 2014 Sep 1 [cited 2020 Jun 27];34(5):327–39. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/cpf.12102>
 91. Pichon A, De Bisschop C, Roulaud M, Denjean A. Spectral Analysis of Heart Rate Variability during Exercise in Trained Subjects. *researchgate.net* [Internet]. 2004 [cited 2020 Jul 15]; Available from: <https://www.researchgate.net/publication/8134523>

92. Cunha FA, Midgley AW, Gonçalves T, Soares PP, Farinatti P. Parasympathetic reactivation after maximal CPET depends on exercise modality and resting vagal activity in healthy men. *Springerplus*. 2015;4(1):100.
93. Guzii O, Romanchuk A. Determinants of the functional state of sportsmen using heart rate variability measurements in tests with controlled respiration. *J Phys Educ Sport [Internet]*. 2018;18(2):715–24. Available from: www.efsupit.ro
94. Hottenrott L, Ketelhut S, Hottenrott K. Commentary: Vagal Tank Theory: The Three Rs of Cardiac Vagal Control Functioning – Resting, Reactivity, and Recovery. *Front Neurosci*. 2019 Dec 5;13:1300.
95. Laborde S, Mosley E, Mertgen A. Vagal Tank theory: The three Rs of cardiac vagal control functioning - resting, reactivity, and recovery. *Front Neurosci*. 2018 Jul 10;12(JUL).
96. Schäfer D, Olstad BH, Wilhelm M. Can Heart Rate Variability Segment Length During Orthostatic Test Be Reduced To 2 Min? *Med Sci Sport Exerc*. 2015 May;47:48.
97. Kaikkonen P, Mann TNC, Rusko H, Hynynen E, Mann T, Nummela A. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *Eur J Appl Physiol [Internet]*. 2010 Feb [cited 2020 Oct 6];108(3):435–42. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/26892420>
98. Casonatto J, Tinucci T, Dourado A, Polito M. Cardiovascular and autonomic responses after exercise sessions with different intensities and durations. *Clinics [Internet]*. 2011 [cited 2020 Jun 25];66(3):453–8. Available from: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-59322011000300016&script=sci_arttext&lng=es
99. Kaikkonen P, Nummela A, Rusko H. Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *Eur J Appl Physiol*. 2007 Dec;102(1):79–86.
100. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic Recovery after Exercise in Trained Athletes: Intensity and Duration Effects. *Med Sci Sport Exerc [Internet]*. 2007 [cited 2020 Jul 14];39(8):1366–73. Available from: <http://www.acsm-msse.org>
101. Daniłowicz-Szymanowicz L, Raczak G, Pinna GD, Maestri R, Ratkowski W, Figura-Chmielewska M, et al. The effects of an extreme endurance exercise event on autonomic nervous system activity. *Pol Merkur Lek organ Pol Tow Lek [Internet]*. 2005 [cited 2020 Jun 25];19(109):20–31. Available from: <https://europepmc.org/article/med/16194022>
102. Blasco-Lafarga C, Martínez-Navarro I, Mateo-March M. Is Baseline Cardiac Autonomic Modulation Related to Performance and Physiological Responses Following a Supramaximal Judo Test? *PLoS One [Internet]*. 2013 Oct 18 [cited 2020 Jun 25];8(10). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24205273/>
103. Da Silva DF, Verri SM, Nakamura FY, Machado FA. Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices in endurance runners: A case study with a high-level team. *Eur J Sport Sci [Internet]*. 2014 [cited 2020 Jun 27];14(5):443–51. Available from:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23998661/>

104. Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. Vol. 43, *Sports Medicine*. 2013. p. 1259–77.
105. Michael S, Jay O, Halaki M, Graham K, Davis GM. Submaximal exercise intensity modulates acute post-exercise heart rate variability. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2016 Apr 1 [cited 2020 Jun 27];116(4):697–706. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-016-3327-9>
106. Ranadive S, Fahs C, Yan H, Rossow L, Agliovlastis S, Fernhall B. Heart rate recovery following maximal arm and leg-ergometry. *Clin Auton Res* [Internet]. 2011 [cited 2020 Jun 25];21(2):117–20. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10286-010-0094-2.pdf>
107. Buchheit M, Al Haddad H, Laursen PB, Ahmaidi S. Effect of body posture on postexercise parasympathetic reactivation in men. *Exp Physiol* [Internet]. 2009 [cited 2020 Jun 27];94(7):795–804. Available from: [https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1113/expphysiol.2009.048041@10.1002/\(ISSN\)1469-445X\(CAT\)VirtualIssues\(VI\)bbep2011](https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1113/expphysiol.2009.048041@10.1002/(ISSN)1469-445X(CAT)VirtualIssues(VI)bbep2011)
108. Barak O, Jakovljevic D, Gacesa J. Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. *J Sport* [Internet]. 2010 [cited 2020 Jun 27]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761735/>
109. Al Haddad H, Laursen PB, Chollet D, Ahmaidi S, Buchheit M. Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *Int J Sports Med*. 2011;32(8):598–605.
110. Boullosa DA, Barros ES, Del Rosso S, Nakamura FY, Leicht AS. Reliability of heart rate measures during walking before and after running maximal efforts. *Int J Sports Med* [Internet]. 2014 [cited 2020 Jun 25];35(12):999–1005. Available from: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0034-1372637>
111. Dupuy O, Mekary, S NB. Reliability of heart rate measures used to assess post-exercise parasympathetic reactivation. *Clin Physiol* [Internet]. 2012 [cited 2020 Jun 25]; Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-097X.2012.01125.x>
112. Task Force ES of the E. Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation* [Internet]. 1996 Mar 1 [cited 2020 Jul 15];93(5):1043–65. Available from: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
113. Gameli FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the Polar S810 Heart Rate Monitor to Measure R-R Intervals at Rest. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 2006 May [cited 2020 Jun 16];38(5):887–93. Available from: <http://journals.lww.com/00005768-200605000-00013>
114. Nunan D, Sandercock GRH, Brodie DA. A Quantitative Systematic Review of Normal Values for Short-Term Heart Rate Variability in Healthy Adults. *PACE*

- [Internet]. 2010 Nov [cited 2021 May 1];33(11):1407–17. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
115. Brennan, M., Palaniswami, M., & Kamen P. Do existing measures of Poincare plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Trans Biomed Eng.* 2001;48(11):1342–7.
 116. Baevsky RM. Methodical recommendations use kardivar system for determination of the stress level and estimation of the body adaptability standards of measurements and physiological interpretation [Internet]. 2009 [cited 2021 May 1]. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Methodical+recomm endations+use+kardivar+system+for+determination+of+the+stress+level+and+e stimation+of+the+body+adaptability+standards+of+measurements+and+physiol ogical+interpretation&btnG=
 117. de Boer RW, Karemaker JM, Strackee J. Spectrum of a series of point events, generated by the integral pulse frequency modulation model. *Med Biol Eng Comput.* 1985 Mar;23(2):138–42.
 118. Acharya UR, Joseph KP, Kannathal N, Lim CM, Suri JS. Heart rate variability: A review [Internet]. Vol. 44, *Medical and Biological Engineering and Computing*. Springer; 2006 [cited 2021 May 1]. p. 1031–51. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11517-006-0119-0>
 119. Kamen P, Krum H, science AT-C, 1996 undefined. Poincare plot of heart rate variability allows quantitative display of parasympathetic nervous activity in humans. *portlandpress.com* [Internet]. [cited 2021 May 1]; Available from: <https://portlandpress.com/clinsci/article/91/2/201/76585>
 120. Hernández Sampieri R, Mendoza Torres C. *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA* - Roberto Hernandez Sampieri - Google Libros [Internet]. México: McGraw Hill ; 2018 [cited 2021 Jul 18]. Available from: https://books.google.com.co/books?id=5A2QDwAAQBAJ&printsec=frontcover&q=Metodología+de+la+investigación&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Metodología+de+la+investigación&f=false
 121. Wayne WD. *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. 4th ed. LIMUSA, editor. México; 2017. 15–737 p.
 122. Sousa V, Driessnack M, de IM-R latino-americana, 2007 undefined. Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte 1: diseños de investigación cuantitativa. *SciELO Bras* [Internet]. [cited 2021 Jul 18]; Available from: <https://www.scielo.br/j/rlae/a/7zMf8XypC67vGPrXVrVFGdx/?format=pdf&lang=es>
 123. Otzen T, Morphology CM. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int J Morphol* [Internet]. 2017 [cited 2021 Jul 20];35(1):227–32. Available from: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci_arttext

124. Borszcz FK, Tramontin AF, Costa VP. Reliability of the Functional Threshold Power in Competitive Cyclists. *Int J Sports Med* [Internet]. 2020 Jan 17 [cited 2021 Aug 11];41(03):175–81. Available from: <http://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/a-1018-1965>
125. Pussieldi GA, Veneroso CE, De Paz JA, Teixeira MM. Inflammatory and antiinflammatory response after acute swimming exercise. *Rev Int Med y Ciencias la Act Fis y del Deport* [Internet]. 2018 Sep 1 [cited 2020 Oct 11];18(71):413–21. Available from: <https://revistas.uam.es/rimcafd/article/view/9958>
126. Cullen T, Thomas AW, Webb R, Hughes MG. Interleukin-6 and associated cytokine responses to an acute bout of high-intensity interval exercise: The effect of exercise intensity and volume. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2016 Apr 8;41(8):803–8.
127. Cipryan L. The effect of fitness level on cardiac autonomic regulation, IL-6, total antioxidant capacity, and muscle damage responses to a single bout of high-intensity interval training. *J Sport Heal Sci*. 2018 Jul 1;7(3):363–71.
128. Eaton M, Granata C, Barry J, Safdar A, Bishop D, Little J. Impact of a single bout of high-intensity interval exercise and short-term interval training on interleukin-6, FNDC5, and METRN mRNA expression in human. *J Sport Heal Sci* [Internet]. 2018 [cited 2020 Oct 11];7(2):191–6. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095254617300030>
129. Konrad M, Nieman DC, Henson DA, Kennerly KM, Jin F, Wallner-Liebmann SJ. The acute effect of ingesting a quercetin-based supplement on exercise-induced inflammation and immune changes in runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* [Internet]. 2011 [cited 2020 Oct 11];21(4):338–46. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsnem/21/4/article-p338.xml>
130. Nieman DC, Konrad M, Henson DA, Kennerly K, Shanely RA, Wallner-Liebmann SJ. Variance in the acute inflammatory response to prolonged cycling is linked to exercise intensity. *J Interf Cytokine Res*. 2012 Jan 1;32(1):12–7.
131. Cosio-Lima L, Desai B, Schuler P, Keck L, Scheeler L. A comparison of cytokine responses during prolonged cycling in normal and hot environmental conditions. *Open access J Sport Med* [Internet]. 2011 [cited 2020 Jun 30];2:7. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3781876/>
132. Forti L, Roie E Van, Njemini R, Coudyzer W, Beyer I, Delecluse C, et al. Effects of resistance training at different loads on inflammatory markers in young adults. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2017 [cited 2020 Oct 11];117(3):511–9. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00421-017-3548-6.pdf>
133. Sugama K, Suzuki K, Yoshitani K, Shiraishi K, Kometani T. Urinary excretion of cytokines versus their plasma levels after endurance exercise - PubMed. *Exerc Immunol Rev* 19 [Internet]. 2013 [cited 2020 Nov 8];19:29–49. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23977718/>
134. Cerqueira É, Marinho DA, Neiva HP, Lourenço O. Inflammatory Effects of High and Moderate Intensity Exercise—A Systematic Review. *Front Physiol*. 2020 Jan

- 9;10:1550.
135. Pedersen B. Muscular interleukin-6 and its role as an energy sensor. *Med Sci Sports Exerc.* 2012 Mar;44(3):392–6.
 136. Jürimäe J, Mäestu J, Jürimäe T, Mangus B, Von Duvillard S. Peripheral signals of energy homeostasis as possible markers of training stress in athletes: A review. Vol. 60, *Metabolism: Clinical and Experimental.* W.B. Saunders; 2011. p. 335–50.
 137. Philp A, Macdonald AL, Watt PW. Lactate—a signal coordinating cell and systemic function. *J Exp Biol* [Internet]. 2005 [cited 2020 Jun 30];208(24):4561–75. Available from: <https://jeb.biologists.org/content/208/24/4561.short>
 138. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* [Internet]. 2004 [cited 2020 Nov 9];87(3):R502–16. Available from: www.ajpregu.org
 139. Oliveira-Silva I, Silva VA, Cunha RM, Foster C. Autonomic changes induced by precompetitive stress in cyclists in relation to physical fitness and anxiety. *PLoS One* [Internet]. 2018 Dec 1 [cited 2020 Jun 27];13(12). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30589905/>
 140. Borges NR, Reaburn PR, Doering TM, Argus CK, Driller MW. Autonomic cardiovascular modulation in masters and young cyclists following high-intensity interval training. *Clin Auton Res.* 2017 Apr 1;27(2):83–90.
 141. Arslan E, Aras D. Comparison of body composition, heart rate variability, aerobic and anaerobic performance between competitive cyclists and triathletes. *J Phys Ther Sci* [Internet]. 2016 [cited 2020 Jun 27];28(4):1325-1329. Available from: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/28/4/28_jpts-2015-968/_article/-char/ja/
 142. Earnest CP, Jurca R, Church TS, Chicharro JL, Hoyos J. Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *Br J Sport Med* [Internet]. 2004 [cited 2020 Jun 27];38:568–75. Available from: <http://bjsm.bmj.com/>
 143. Scorcine C, Madureira F, Freitas C, Pereira R, Couto A, Kayamori J, et al. Classification of Heart Rate Variability in Swimming. *J Exerc Physiol Online* [Internet]. 2019 [cited 2020 Oct 23];22(5):157–64. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Classification+of+Heart+Rate+Variability+in+Swimming&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AkiBZlhHXBwgJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des
 144. Saboul D, Bernard C, Lyon U, Hautier CA, Pialoux V, Hautier C. The impact of breathing on HRV measurements: Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2013 Sep [cited 2020 Oct 23];13(5):534–42. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2013.767947>
 145. Palak K, Furgała A, Ciesielczyk K, Szyguła Z, Thor PJ. The changes of heart rate variability in response to deep breathing in professional swimmers. *Folia Medica Cracoviensia* [Internet]. 2013 [cited 2020 Oct 23];LIII:43–52. Available from: <https://journals.pan.pl/Content/87576/mainfile.pdf>

146. Abad CCC, Do Nascimento AM, Gil S, Kobal R, Loturco I, Nakamura FY, et al. Cardiac autonomic control in high level brazilian power and endurance track-and-field athletes. *Int J Sports Med*. 2014;35(9):772–8.
147. Berkoff D, Cairns C, Sanchez L, Moorman III C. Heart rate variability in elite American track-and-field athletes. *J strength Cond Res* [Internet]. 2007 [cited 2020 Oct 23];21(1):227. Available from: <http://search.proquest.com/openview/043a9f2c53826913f3e2ee0557d9e46a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=30912>
148. Bonaduce D, Petretta M, Cavallaro V, Apicella C, Ianniciello A, Romano M, et al. Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1998 [cited 2020 Oct 23];30(5):691–6. Available from: <https://europepmc.org/article/med/9588610>
149. Marocolo M, Nadal J, Benchimol-Barbosa PR. The effect of an aerobic training program on the electrical remodeling of the heart: high-frequency components of the signal-averaged electrocardiogram are. *Brazilian J Med Biol Res* [Internet]. 2007 [cited 2020 Oct 23];40(2):199–2008. Available from: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-879x2007000200006&script=sci_arttext
150. Molina G, Porto L, Fontana K, Junqueira L. Unaltered R–R interval variability and bradycardia in cyclists as compared with non-athletes. *Clin Auton Res* [Internet]. 2013 [cited 2020 Oct 23];23(3):141–8. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10286-013-0196-8.pdf>
151. Schäfer D, Gjerdalen GF, Solberg EE, Khokhlova M, Badtieva V, Herzig D, et al. Sex differences in heart rate variability: a longitudinal. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2015 [cited 2020 Oct 23];115(10):2107–14. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Sex+differences+in+heart+rate+variability%3A+a+longitudinal+study+in+international+elite+cross-country+skiers&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3ApQ4xZyPHvPgJ%3A%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des
152. Aubert A, Beckers F, Ramaekers D. Short-term heart rate variability in young athletes. *J Cardiol* [Internet]. 2001 [cited 2020 Oct 23];37:85. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11433833>
153. Kingsley JD, Figueroa A. Acute and training effects of resistance exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* [Internet]. 2016 [cited 2020 Nov 15];36(3):179–87. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Acute+and+training+effects+of+resistance+exercise+on+heart+rate+variability&btnG=
154. Düking P, Zinner C, Reed JL, Holmberg H-C, Sperlich B. Predefined vs data-guided training prescription based on autonomic nervous system variation: A systematic review. *Wiley Online Libr* [Internet]. 2020 Dec 1 [cited 2022 Aug 23];30(12):2291–304. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sms.13802>
155. Machhada A, Trapp S, Marina N, Stephens RC, Whittle J, Lythgoe MF, et al. Vagal determinants of exercise capacity. *Nat Commun* [Internet]. 2017 [cited

- 2020 Jun 26];8(1):1–7. Available from:
<https://www.nature.com/articles/ncomms15097/>
156. Verweij N, Vegte Y, van de Harst P. Genetic study links components of the autonomous nervous system to heart-rate profile during exercise. *Nat Commun* [Internet]. 2018 [cited 2020 Nov 16];9(1):1–9. Available from:
<https://www.nature.com/articles/s41467-018-03395-6>
 157. Flatt AA, Globensky L, Bass E, Sapp BL, Riemann BL. Heart Rate Variability, Neuromuscular and Perceptual Recovery Following Resistance Training. *Sports* [Internet]. 2019 Oct 18 [cited 2020 Jun 25];7(10):225. Available from:
<https://www.mdpi.com/2075-4663/7/10/225>
 158. Ahmadian M, Dabidi Roshan V. Heart rate recovery following arm cranking is positively associated with resting heart rate variability in children. *Sport Sci Health*. 2015 Dec 5;11(2):153–7.
 159. Bellenger CR, Fuller JT, Thomson RL, Davison K, Robertson EY, Buckley JD. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med* [Internet]. 2016 Oct 1 [cited 2020 Nov 15];46(10):1461–86. Available from:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-016-0484-2>
 160. Carrasco-Poyatos M, González-Quílez A, Martínez-González-moro I, Granero-Gallegos A. HRV-Guided Training for Professional Endurance Athletes: A Protocol for a Cluster-Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Heal* 2020, Vol 17, Page 5465 [Internet]. 2020 Jul 29 [cited 2022 Aug 23];17(15):5465. Available from: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/15/5465/htm>
 161. Catai AM, Pastre CM, da Silvaa E, de Medeiros Takahashi AC, Marques Vanderlei LC. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian J Phys Ther* [Internet]. 2020 [cited 2022 Aug 23];24(2):91–102. Available from:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1413355518307974?casa_token=G5bliECxYVwAAAAA:Orp_yKtnaHArq_0FvkyHkRP1eC7CsPlwaLIVsDtmRsl dZMEFiiSGw-1j_cwD5HQyYnpv1AbOQ
 162. Povea C, Schmitt L. Effects of Intermittent Hypoxia on Heart Rate Variability during Rest and Exercise Hypoxic Training View project Heart Rate variability In sports and physical Activity View project. *Artic High Alt Med Biol* [Internet]. 2005 Sep [cited 2020 Oct 5];6(3):215–25. Available from:
<https://www.researchgate.net/publication/7579530>

Anexos

Anexo 1 Aval Comité de Bioética



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS PARA LA SALUD
COMITÉ DE BIOÉTICA

FECHA	9 de Octubre de 2017
CONSECUTIVO	CBCS-054

Nombre del Investigador	Ivan Leonardo Duque Vera
Facultad	Ciencias para la Salud
Grupo de Investigación	Bioimpedancia Eléctrica
Proyecto de Investigación:	Respuesta autonómica cardíaca, metabólica e inflamatoria y su relación con el rendimiento en el test funcional de potencia en ciclistas

EVALUACIÓN:

Se considera una investigación **con RIESGO MÍNIMO**, de acuerdo a la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud.

CONSIDERACIONES:

Los investigadores deben tener en cuenta que si existen cambios en la formulación del proyecto o las condiciones de los sujetos investigados (Consentimiento Informado-Asentimiento Informado), esto debe ser informado a este Comité.

El Comité podrá solicitar información posterior sobre el desarrollo del proyecto y los cambios de acuerdo a las recomendaciones establecidas.

ACTA No 015 de 2017
SE APRUEBA (x)
SE APRUEBA CON RECOMENDACIONES ()
NO SE APRUEBA ()

NATALIA GARCIA RESTREPO
Presidente

Anexo 2

Consentimiento Informado

**UNIVERSIDAD DE CALDAS COLOMBIA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN BIOIMPEDANCIA ELECTRICA-FIMED**

**FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN
INVESTIGACIONES**

Título de la investigación: Respuesta autonómica cardiaca, metabólica e inflamatoria y su relación con el rendimiento en el test funcional de potencia en ciclistas

Duitama, 6 de Noviembre de 2019

Yo, _____, una vez informado sobre los propósitos, objetivos, procedimientos de intervención y evaluación que se llevarán a cabo en esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a **IVAN LEONARDO DUQUE** y **JAVIER PORRAS ALVAREZ**, investigadores de la universidad de caldas, para la realización de los siguientes procedimientos:

1. Datos demográficos e información básica de la persona
2. **Evaluación de la respuesta autonómica cardiaca:** la cual consiste en llevar una banda o sensor cardiaco alrededor del tórax a nivel de la 6ta costilla torácica durante 20 minutos, tiempo en el que estará decúbiteo supino, de pie haciendo ejercicio en bicicleta y sentado.
3. **Evaluación de respuesta inflamatoria:** se extraerá un tubo de 5 mililitros de muestra biológica de sangre, se obtendrá mediante venopunción directa en la región antecubital antes y después del test de ejercicio
4. **Evaluación de la respuesta metabólica:** se extraerán 2gotas de sangre del lóbulo de la oreja, durante el test de ejercicio, una gota antes y una después del test físico
5. **Test de ejercicio. Umbral funcional de potencia:** consiste en pedalear durante 20 minutos a una intensidad constante sobre un cicloergometro, con un calentamiento previo de 20 minutos

Riesgos esperados: El ejercicio físico puede generar molestias como dolores musculares durante y al finalizar el ejercicio, así como en los 3 días siguientes. También, durante la realización del ejercicio puede presentar sensación de debilidad, cansancio físico o sensación de desmayo, pero esto es muy poco probable que ocurra porque los protocolos de ejercicio son ya rutinarios para los ciclistas. Sin embargo, durante los protocolos se contará con la presencia de un profesional de la salud, en caso de presentar molestias o inconvenientes está en plena libertad de dejar el estudio por voluntad propia.

Beneficios: los resultados de este estudio pretenden brindar un aporte académico científico desde la respuesta autonómica, metabólica e inmune del organismo al entrenamiento de alto rendimiento, lo cual permitirá comprender el impacto a corto y mediano plazo del ejercicio en el organismo del deportista particularmente el ciclista

Adicionalmente se me informó que:

- Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria, estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento.
- No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitan mejorar los procesos de evaluación y programación del entrenamiento.
- Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente. Esta información será archivada en papel y medio electrónico. El archivo

del estudio se guardará en el laboratorio del grupo de Investigación de la Universidad de Caldas, bajo la responsabilidad de los investigadores.

- Los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros u otras instituciones educativas.
- Cuando finalicemos la investigación, informaremos de los resultados generales, lo haremos escribiendo y compartiendo informes y yendo a encuentros con personas interesadas en nuestro trabajo.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad de manera libre y espontánea.

Nombre completo participante:

_____ Firma: _____

Cédula de ciudadanía: _____ Dirección: _____

Teléfono de contacto: _____ E-mail: _____

Investigador principal:

IVÁN LEONARDO DUQUE VERA.

Tel: 311 7481480

E-mail: duqueivan@ucaldas.edu.co

JAVIER PORRAS ALVAREZ

Celular: 314 302 9381

Emil. porrasalvarez@gmail.com

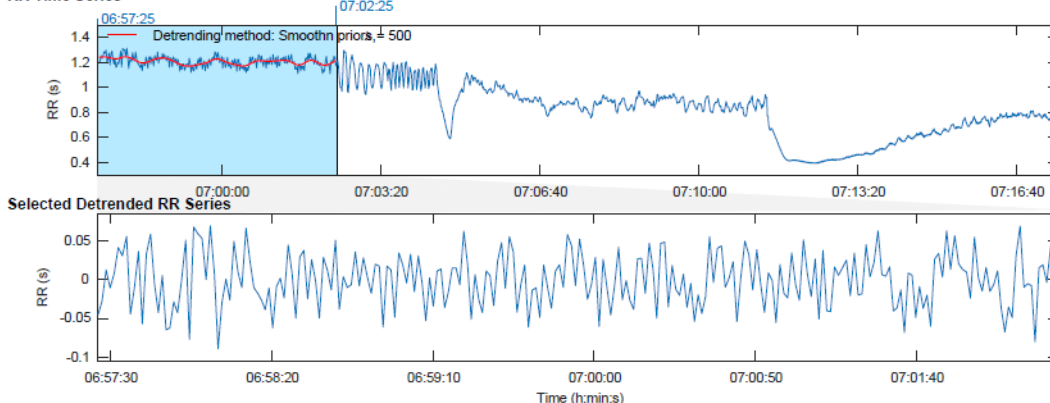
Anexo 3

Análisis VFC en Reposo Métodoa Dominio Tiempo, Frecuencia y no Lineal

La siguiente figura muestra los datos de los archivos hrm por los métodos de dominio tiempo, frecuencia y no lineales, procesado en el software Kubios, en un ciclista en reposo durante cinco minutos con respiración espontanea.

HRV Analysis - General Results

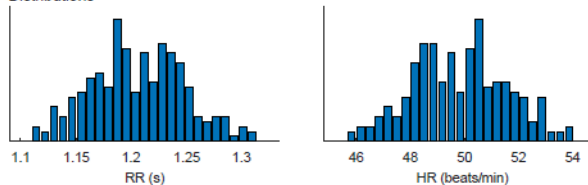
RR Time Series Results for single samples: sample 1/7



Time-Domain Results

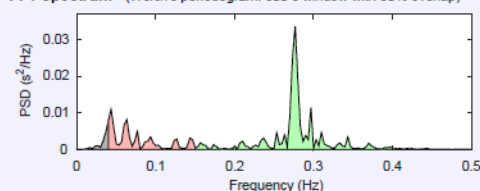
Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	1205.8
STD RR (SDNN)	(ms)	34.1
Mean HR*	(beats/min)	49.76
Min/Max HR	(beats/min)	46.34/52.45
RMSSD	(ms)	48.4
NNxx	(beats)	83
pNNxx	(%)	33.6
RR triangular index		10.783
TINN	(ms)	157.0

Distributions*



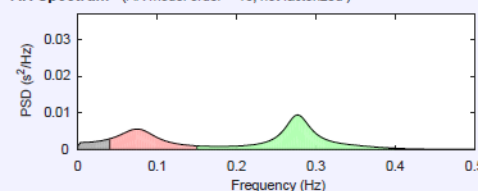
Frequency-Domain Results

FFT spectrum (Welch's periodogram: 300 s window with 50% overlap)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (log)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0400	46	3.829	5.2	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0433	255	5.542	28.9	30.5
HF (0.15-0.4 Hz)	0.2767	582	6.366	65.8	69.4
Total		884	6.784		
LF/HF		0.439			

AR Spectrum (AR model order = 16, not factorized)

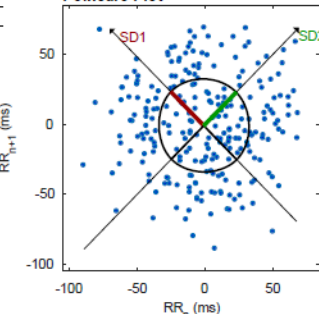


Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (log)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0400	84	4.431	8.2	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0733	348	5.853	33.9	36.9
HF (0.15-0.4 Hz)	0.2767	594	6.387	57.9	63.0
Total		1027	6.934		
LF/HF		0.586			

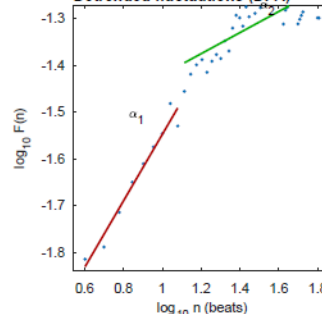
Nonlinear Results

Variable	Units	Value
Poincare Plot		
SD1	(ms)	34.3
SD2	(ms)	33.8
SD2/SD1		0.985
Approximate Entropy (ApEn)		
Sample Entropy (SampEn)		0.979
Detrended Fluctuation Analysis (DFA)		
Short-term fluctuations _{p,1}		0.711
Long-term fluctuations _{p,2}		0.226
Correlation Dimension (D2)		3.416
Recurrence Plot Analysis (RPA)		
Mean line length (Lmean)	(beats)	6.62
Max line length (Lmax)	(%)	36
Recurrence rate (REC)	(%)	12.80
Determinism (DET)		93.22
Shannon Entropy (ShanEn)		2.579
Multi-Scale Entropy (MSE)		0.207 - 2.540

Poincare Plot



Detrended fluctuations (DFA)

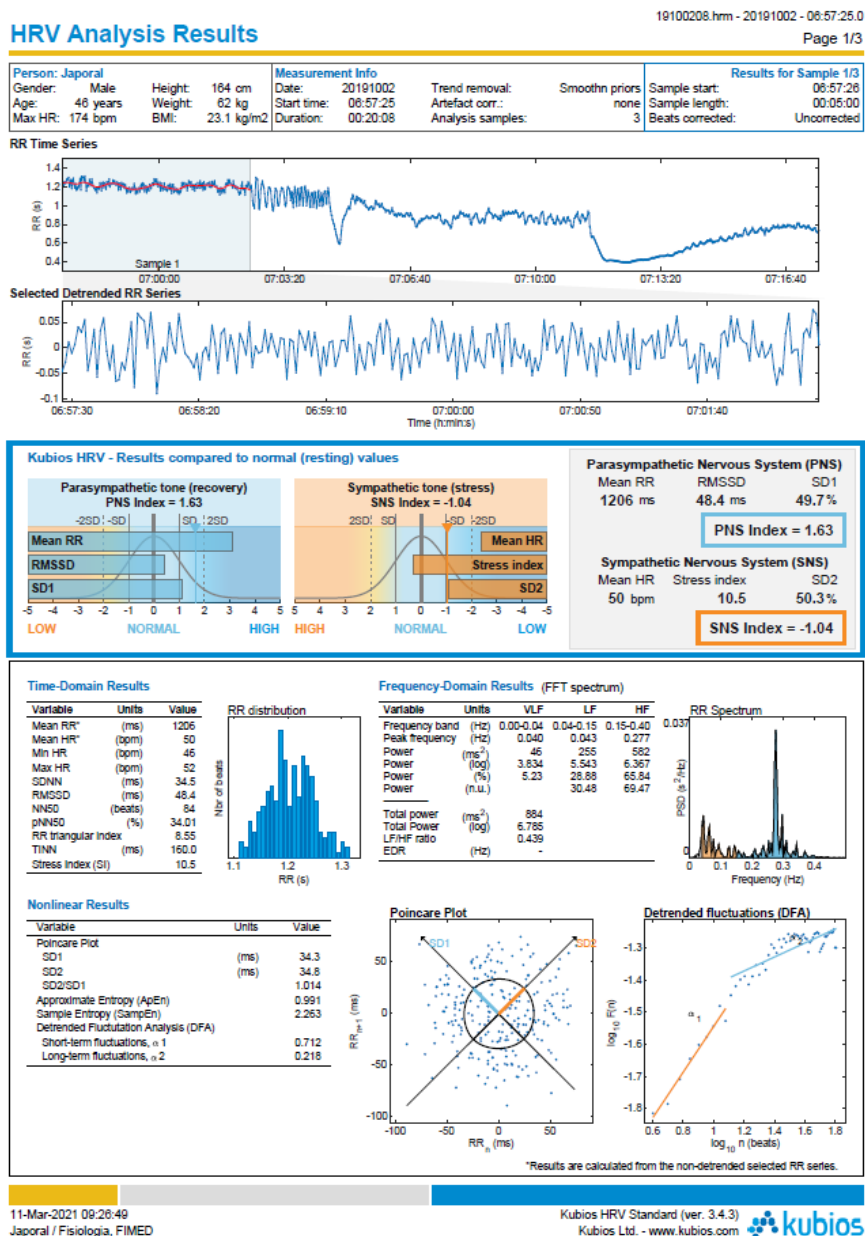


*Results are calculated from the non-detrended selected RR series.

Anexo 4

Análisis del índice AcPa y AcSi en Reposo

La siguiente figura muestra los datos de los archivos hrm en los índices AcPa y AcSi, procesado en el software Kubios, en un ciclista durante 5 minutos con respiración espontánea.




Anexo 6

Prueba de Hematología

LABORATORIO CLINICO		DRA. AYDEE TABORDA GONZALEZ	
Calle 16 N°15 – 21 Cosn.205		BACTERIOLOGA Universidad del Valle	
Segundo Piso Banco AV Villas		Especialista en Microbiología Médica	
Tel: 7601614 Cel.: 3006557204		Universidad Javeriana	
PACIENTE:	CHIA BERMUDEZ LUIS CARLOS	FECHA NACIMIENTO:	18/02/1997
EDAD:	22 Años	SEXO:	Masculino
HISTORIA:	1073709075	FECHA INGRESO:	31/10/2019 08:54
ORDEN:	201910310042	FECHA IMPRESIÓN:	31/10/2019 10:25
MEDICO:	null		

Prueba	Resultado	Unidad	Valor de Referencia
HEMATOLOGÍA			
Hemograma completo Tipo IV			
Impedancia			
Recuento de eritrocitos	4.56	10 ⁶ /μL	4.50 - 6.50
Hemoglobina.	14.20	g/dL	12.00 - 17.00
Hematocrito.	43.00	%	37.00 - 54.00
Volumen corpuscular medio (MCV)	94.3	fL	80.0 - 100.0
Hemoglobina corpuscular media (MCH)	31.20	pg	27.00 - 32.50
Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC)	33.10	g/dL	32.00 - 36.00
Amplitud de distribución eritrocitaria	14.80	%	11.00 - 16.00
Recuento de leucocitos	2.60	↓ 10 ³ /μL	4.00 - 10.00
RECUENTO DIFERENCIAL MANUAL			
NEUTROFILOS: 40%			
LINFOCITOS: 49%			
MONOCITOS: 11%			
Polimorfonucleares neutrófilos (%)	38.6	↓ %	40.0 - 65.0
Linfocitos (%)	52.4	↑ %	20.0 - 45.0
Celulas mixtas %	9.00	%	1.00 - 12.00
Polimorfonucleares neutrófilos (#)	1.02	↓ 10 ³ /μL	2.00 - 7.50
Linfocitos (#)	1.38	10 ³ /μL	1.00 - 4.00
Celulas Mixtas #	0.24	↓ 10 ³ /μL	1.00 - 12.00
Recuento de plaquetas	234.0	10 ³ /μL	150.0 - 450.0
Volumen plaquetario medio	8.30	fL	6.00 - 11.00
Plaquetocrito	0.190	%	0.150 - 0.500



Aydee Taborda G.
Especialista en Microbiología y I.D.
Universidad del Valle
REG. 1422

Anexo 7

Aplicación y Análisis de los Resultados por la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

Caso Hipotético

Identificar la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento, presencia de fatiga, monitorear y predecir el rendimiento físico, es posible con la evaluación de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC). Al igual que una posible identificación de predisposición genética a los deportes de resistencia de larga duración como el ciclismo de ruta. Esta es una metodología emergente que consiste en utilizar un pulsómetro o equipo que mida intervalos RR o el tiempo entre latido cardíaco, en reposo o durante el ejercicio. Luego los datos se pasan al software para procesar la información.

La forma de identificar la adaptación/desadaptación a la intensidad del entrenamiento y monitorear el rendimiento es evaluar la VFC en reposo. Pero también puede evaluar la reactividad parasimpática y la recuperación después del entrenamiento o la competición. Acá voy a poner un ejemplo para el caso de evaluación de la VFC en reposo.

Un ciclista diariamente en horas de la mañana, en ayunas (en estado preprandial sin comer alimentos) preferiblemente antes de levantarse, en posición decúbito supino, realiza la evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante 5 minutos, con un equipo que realice registros RR.

Al procesar los datos en el software, el índice AcPa (PSN index), por ejemplo, fue de 4.5, esto significa que esta 4.5 desviaciones estándar por encima de la media de la población normal, porque un valor de PSN index = 0.0 (cero) significa que AcPa es igual a la media de la población normal, mientras que un valor negativo de PSN index = -1.5 indica que esta 1.5 desviaciones estándar por debajo de la media de la población

normal. Por lo tanto, en reposo, el índice de AcPa se encuentra típicamente (con el 95% de la población) entre -2 y +2, es decir, dentro de ± 2 SD de la distribución normal de la población.

El valor PSN index puede variar por diferentes circunstancias, dentro de ellas el nivel de sueño durante la noche, enfermedad y por la intensidad del entrenamiento del día anterior. Utilice los siguientes criterios para tomar decisiones respecto al programa de entrenamiento que está llevando a cabo:

1. Si el valor de PSN index sigue siendo de 4.5 o cercano a este valor, esto es indicativo por un lado de buena adaptación al entrenamiento o por otro lado que la intensidad del ejercicio no es lo suficiente para inducir adaptaciones, va a depender del objetivo propuesto en el microciclo que está desarrollando. Para lo cual, se recomienda hacer un registro diario para observar la curva de comportamiento de este valor. Por tanto, si el objetivo era aplicar una intensidad de entrenamiento para mantener e ir mejorando progresivamente el rendimiento físico un valor de PSN index cercano a 4.5 en definitiva es un indicativo de buena adaptación al entrenamiento.

2. Si el valor de PSN index es muy inferior de 4.5, por ejemplo 2.0, aunque esta por arriba de la media de la población normal puede ser indicativo de mala adaptación a la intensidad del entrenamiento. Pero si el valor es inferior -2 y este valor continúa por varios días es indicativo de mala adaptación al entrenamiento. Pero también pueden significar que la intensidad del ejercicio es la adecuada, que está acorde con el objetivo propuesto y lo que necesita es brindar tiempo o intensidades de entrenamiento diferentes para la suficiente recuperación.

3. Si el valor de PSN index es mayor o igual a 4.5, esto es indicativo de buena adaptación a la intensidad del entrenamiento y mejora del rendimiento. El incremento de PSN index lleva consigo varias sesiones o meses de entrenamiento.

Similares criterios se pueden utilizar cuando se evalúa la reactividad parasimpática o recuperación post entrenamiento o post competición. La realización de una curva diaria de estos parámetros brinda orientación del comportamiento del organismo a la intensidad del entrenamiento o de la competición.

La forma de identificar presencia de fatiga es evaluar la VFC en reposo, teniendo en cuenta el valor del SNS index. El software también proporciona el valor del SNS index, es decir con la misma evaluación diariamente en horas de la mañana, en ayunas (en estado preprandial sin comer alimentos) preferiblemente antes de levantarse, en posición decúbito supino, durante 5 minutos obtiene tanto el índice PNS como SNS.

En este caso se obtuvo un valor en reposo SNS index de -1.5. Esto significa que está 1.5 desviaciones estándar por debajo de la media de la población normal, porque un valor de SNS index = 0.0 (cero) significa que AcSi es igual a la media de la población normal. Por tanto, en reposo, el índice AcSi se encuentra típicamente (con el 95% de la población) entre -2 y +2, es decir, dentro de ± 2 SD de la distribución normal de la población.

El valor SNS index puede variar por diferentes circunstancias, dentro de ellas el nivel de sueño durante la noche, enfermedad y por la intensidad del entrenamiento del día anterior. Utilice los siguientes criterios para tomar decisiones respecto al programa de entrenamiento que está llevando a cabo:

1. Si el valor de SNS index sigue siendo de -1.5 o -2, esto es indicativo de que no hay presencia de fátiga. No obstante, se debe hacer la curva del control diario

2. Si el valor de SNS index es muy superior de -2, por ejemplo 5.0 o 8.5, es indicativo de una insuficiente recuperación a la intensidad de entrenamiento y posible presencia de fatiga. Porque el valor de 5 u 8 significa que esta 5 u 8 desviaciones estándar por encima de la media de la población normal.

La posible identificación de predisposición genética a los deportes de resistencia de larga duración como el ciclismo de ruta, requiere realizar la evaluación de la VFC en reposo y determinar el PNS index, por ejemplo, fue de 5.0, luego compararlo con personas de su edad y moderadamente entrenadas en ciclismo de ruta, luego al revisar y tener en cuenta cuantas desviaciones estándar está por encima de este tipo de población. Posteriormente realizar un test o prueba como el caso de P_{20} y determinar $UPF_{20,95\%}W \cdot kg^{-1}$. Es este caso el $UPF_{20,95\%}W \cdot kg^{-1}$ fue de 4.81, al revisar la categoría, correspondió a Excelente. Es este caso se relacionó el PNS index con el rendimiento físico.

Anexo 8

Valores de Lactato y de UPF

Ciclista	Lactato Pre-test	Lactato inm	Lactato Post-test (3min)	UPF _{20W}	UPF _{20.95%W}	UPF _{20.95%W} Kg ⁻¹
1	1.5	12.4	11.9	228	216.6	3.2
2	3.1	12.4	13.8	338	321.1	4.3
3	3.2	10.6	9.1	258	245.1	4
4	3.2	8.8	8.7	293	278.4	4.6
5	3.2	15.8	9.8	234	222.3	3.6
6	2.1	11.1	14.9	302	286.9	4.7
7	3.2	18.1	19	244	231.8	3.6
8	3.2	21.3	14.8	307	291.7	4.6
9	1.8	12.5	12.5	264	250.8	4.7
10	3	9	11.15	311	295.5	4.3
11	1.8	11.1	11.7	306	290.7	4.3
12	1.6	8.9	9.8	215	204.3	3.7
13	1.7	11.1	10.2	254	241.3	4.1
14	1.6	12.6	10.1	279	265.1	4.8
15	2.1	14	13	269	255.6	4.4
16	1.9	16.5	11.2	234	222.3	3.8
17	1.4	10.1	9.2	265	251.8	4.6
18	2	15.9	16.2	298	283.1	4.8
19	1.4	14.6	14.4	240	228	4.7
20	2	7.5	6.7	258	245.1	4.6
21	1.5	14.1	13.2	290	275.5	4.3
22	1.5	12.7	10.3	273	259.4	4.5
23	2.2	12.4	12	284	269.8	4.5

Nota: inm: inmediatamente finalizo P₂₀.

Anexo 9*Valores de TNF- α e IL-6 Antes y 15 Minutos Después de P₂₀*

Ciclista n=23	IL-6	IL-6 D	TNF-α	TNF-α D
1	2.73	8.00	36.31	34.30
2	2.73	2.73	17.25	21.74
3	2.73	8.00	17.25	21.74
4	8.00	2.73	14.90	17.25
5	2.73	2.73	32.28	42.21
6	2.73	8.00	61.12	59.27
7	2.73	2.73	36.31	32.28
8	2.73	2.73	32.28	40.26
9	2.73	8.00	65.72	70.28
10	2.73	8.00	28.16	46.08
11	2.73	8.00	66.64	74.82
12	2.73	8.00	26.05	30.23
13	2.73	2.73	17.25	19.52
14	2.73	2.73	64.81	62.97
15	8.00	2.73	97.13	84.69
16	2.73	2.73	28.16	32.28
17	2.73	2.73	28.16	33.29
18	2.73	8.00	28.16	34.30
19	2.73	2.73	32.28	36.31
20	2.73	2.73	44.15	46.08
21	2.73	2.73	32.28	27.11
22	8.00	2.73	32.28	28.16
23	2.73	2.73	40.26	30.23

Nota: D. después de 15 minutos de P₂₀

Anexo 10*VFC Reposo Durante 5 Minutos*

Ciclista n=29	PNS index	RMSSD (ms)	HF (ms²)	SD1 (ms)	SDNN (ms)
1	0.87	66.10	1733.36	46.81	53.3232
2	1.61	93.17	1712.01	65.97	88.9977
3	2.08	56.03	1394.67	41.61	52.1074
4	4.32	152.54	6074.98	108.09	112.1727
5	2.05	68.06	1396.10	48.25	55.6901
6	3.76	155.27	6957.88	109.98	113.072
7	2.94	71.20	969.61	50.44	47.4123
8	3.11	103.09	2476.63	73.21	77.375
9	0.89	33.80	435.77	24.00	28.6164
10	1.09	75.23	2714.04	53.30	66.705
11	2.17	75.23	2714.04	57.45	66.705
12	0.47	65.88	1366.95	46.59	76.7326
13	4.90	163.55	10976.45	115.87	114.2987
14	1.63	67.31	143.36	47.74	54.1588
15	3.25	115.13	2297.23	81.59	98.8296
16	5.73	215.20	14758.34	152.46	142.5671
17	3.29	112.46	2910.58	79.75	82.7844
18	0.91	48.42	604.91	34.30	36.1064
19	3.14	91.75	2530.75	65.06	65.0978
20	2.86	117.68	2619.44	83.36	82.7194
21	1.26	81.45	1711.08	57.68	79.6277
22	1.36	84.86	1103.15	59.95	73.0276
23	2.45	113.73	5798.67	80.54	92.3912
24	4.07	113.90	3847.15	80.72	73.7134
25	1.02	48.45	673.62	34.33	43.589
26	1.63	48.40	581.74	34.28	34.0732
27	2.58	72.87	516.65	40.66	57.2009
28	3.39	150.82	5764.22	43.50	110.5873
29	4.02	132.46	5828.94	93.81	94.0481

Anexo 11*VFC Recuperación Activa Durante 5 Minutos*

Ciclista n=29	PNS index	RMSSD (ms)	HF (ms²)	SD1 (ms)	SDNN (ms)
1	-3.18	7.08	3.39	10.78	5.3961
2	-3.67	6.07	4.20	4.33	6.9412
3	-3.86	3.07	0.73	2.17	3.7862
4	-3.34	5.81	1.65	4.10	5.1467
5	-3.56	5.24	2.18	3.71	6.2411
6	-4.21	2.67	1.79	1.89	4.2364
7	-3.96	4.26	1.31	3.01	3.2491
8	-4.30	2.33	0.36	1.66	2.21
9	-3.47	4.45	2.42	3.17	5.477
10	-4.02	2.51	1.09	1.76	3.735
11	-3.71	6.43	5.01	4.53	6.3108
12	-3.70	3.55	1.47	2.53	4.5316
13	-3.73	5.97	1.16	4.26	4.1258
14	-3.99	6.29	4.66	4.46	6.2075
15	-3.55	5.76	3.41	4.08	5.5169
16	-4.15	2.64	1.25	1.86	3.13
17	-3.54	6.41	2.21	4.51	5.7678
18	-3.87	3.65	1.43	2.55	4.4895
19	-4.26	3.28	0.45	2.38	4.1669
20	-3.22	6.36	5.94	4.45	7.4507
21	-4.02	3.38	1.68	2.55	4.1749
22	-3.76	4.20	2.58	2.96	4.449
23	-4.24	2.44	0.66	1.72	4.1601
24	-2.90	11.39	6.17	8.05	6.9593
25	-4.23	4.45	1.07	2.44	5.4315
26	-3.71	4.38	0.89	3.05	4.2184
27	-3.18	10.79	11.08	7.64	9.1713
28	-3.60	3.42	3.06	3.15	3.0333
29	-3.98	2.84	1.21	2.02	3.9667

Anexo 12*VFC Reactividad Parasimpática 3 Minutos*

Ciclista n=29	PNS index	RMSSD (ms)	HF (ms²)	SD1 (ms)	SDNN (ms)
1	-4.16	4.08	0.84	2.89	2.9067
2	-4.44	2.29	0.22	1.62	2.0285
3	-3.83	6.59	1.36	4.67	5.2883
4	-3.70	4.41	1.53	3.12	4.8311
5	-4.24	2.67	0.89	1.89	3.3807
6	-3.98	6.00	5.75	4.25	6.6771
7	-3.84	3.46	1.11	2.45	3.3891
8	-4.11	5.76	1.11	4.08	3.9779
9	-4.26	6.02	5.60	4.26	5.4397
10	-3.85	6.16	4.11	4.36	5.492
11	-4.41	2.55	0.42	1.81	2.8075
12	-4.42	3.72	0.44	2.63	2.714
13	-4.46	3.32	0.37	2.35	2.5585
14	-3.86	6.09	1.10	4.31	4.4098
15	-3.93	5.33	2.16	3.78	4.6996
16	-4.08	3.12	1.59	2.21	4.0908
17	-4.36	3.42	0.24	2.42	4.9153
18	-4.17	3.85	0.71	2.73	3.3985
19	-3.60	7.18	1.85	5.08	6.1395
20	-3.48	6.28	4.64	4.45	7.5212
21	-4.17	3.20	1.39	2.27	4.2149
22	-4.05	3.03	0.57	2.15	4.2219
23	-4.34	2.51	1.06	1.77	3.257
24	-3.14	12.22	6.48	8.65	7.3828
25	-4.46	3.20	0.54	2.26	2.6357
26	-4.02	3.93	0.55	2.78	3.7591
27	-3.62	8.44	8.33	5.98	7.2073
28	-3.84	4.21	2.32	2.98	4.4507
29	-4.17	2.38	0.73	1.68	3.5963