Reproducibilidad inter-sujeto del tiempo hasta la extenuación a intensidad del Máximo Estado Estable de Lactato

Trabajo Fin de Máster
Julio de 2015

Autor:
Jose Ramón Lillo Beviá
21.480.986K

Tutor:
Prof. Dr. Jesús García Pallarés

Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Murcia

El alumno de máster D. José Ramón Lillo Beviá, con número de D.N.I. 21.480.986-K, estudiante del Máster Oficial "Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte", desarrollado por la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Murcia, presenta su trabajo FIN DE MÁSTER, titulado:

"Reproducibilidad inter-sujeto del tiempo hasta la extenuación a intensidad del Máximo Estado Estable de Lactato"

El presente trabajo FIN DE MASTER fue tutorizado por el Prof. Dr. D. Jesús García Pallarés, el cual acredita, a través de este documento, la idoneidad del presente trabajo de investigación y le otorga el Vº Bº a su contenido para llevar a cabo la defensa de pública de su proyecto de investigación.

Para que así conste, se firma la presente en San Javier, a 24 de julio de 2015

Fdo.: Dr. D. Jesús García Pallarés

Lillo-Bevia, JR. (2015). *Reproducibilidad inter-sujeto del tiempo hasta la extenuación a intensidad del Máximo Estado Estable de Lactato*. Murcia: Universidad de Murcia.

RESUMEN

El Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS) se corresponde con la intensidad de esfuerzo constante más elevada que puede ser soportada sin acumulación continua de lactato. Este estudio tiene como objetivo analizar la variabilidad inter-sujeto de los tiempos hasta la extenuación, o tiempos límite (Tlim), a la intensidad de MLSS, así como encontrar otras variables fisiológicas predictoras de este Tlim que permitan estimar su resultado, reduciendo notablemente los requerimientos logísticos y recursos materiales asociados al test MLSS. Seis ciclistas bien entrenados se sometieron a una batería de pruebas de laboratorio randomizadas y contrabalanceadas para establecer su rendimiento individual a intensidad de MLSS (250 ± 58 W), Potencia Aeróbica Máxima en un test incremental máximo (370 ± 64 W), así como de Capacidad (691 ± 59 W)) y Potencia Anaeróbica (866 ± 124 W) láctica mediante un test Wingate. Finalmente, todos los participantes realizaron un test hasta la extenuación a intensidad de MLSS en cicloergómetro, durante el que se monitorizaron los valores de, producción de lactato, frecuencia cardiaca y temperatura timpánica. Se realizó un análisis descriptivo de los resultados obtenidos que mostró un alta variabilidad inter-sujeto en el Tlim a MLSS (77.8 ± 13.8 min; CV = 17.7%). No obstante, los diferentes análisis de regresión múltiple indican que un número reducido de variables fisiológicas estudiadas, como los valores de capacidad anaeróbica obtenidos del test Wingate, o los resultados del test incremental máximo, pueden llegar a explicar el 99.4% de la varianza del Tlim a MLSS. Además, este análisis de regresión múltiple nos permite definir ecuaciones predictoras para estimar el Tlim a MLSS con mínimo error (r = 0.994 – 1.00) sin necesidad de realizar sus protocolos específicos. Estas ecuaciones de predicción van a reducir de forma notable los recursos materiales, humanos y de tiempo que son actualmente necesarios para obtener esta información considerada de vital importancia para el diseño y valoración del programa de entrenamiento de los ciclistas.

Palabras claves: MLSS, máximo estado estable de lactato, capacidad Anaeróbica, Tiempo hasta la extenuación, Tlim.

Lillo-Bevia, JR. (2015). Inter-subject reproducibility Time to exhaustion at Maximum Lactate Steady State intensity. Master's Thesis. Murcia: University of Murcia (Spain).

ABSTRACT

The maximal lactate steady state (MLSS) is defined as the highest effort intensity that can be maintained over time without a continual blood lactate accumulation. The aim of this study is to analyze the inter-individual variability in time to exhaustion (Tlim) at maximum lactate steady state intensity, as well as to seek other physiological predictor variables that allow the estimation of that value reducing notably the logistic requirements and material resources associated with the MLSS test. Six well-trained male cyclists volunteered for this investigation who performed several randomized and counterbalanced laboratory tests to establish their individual performance at MLSS intensities (250 ± 58 W), Maximal Aerobic Power in an incremental test (370 ± 64 W), as well as their Capacity (691 ± 59 W) and Lactic Anaerobic Power (866 ± 124 W) through a Wingate test. In the end, each cyclist carried out a test until exhaustion at MLSS intensities on a cycle ergometer where lactate, heart rate and tympanic temperature were measured. A descriptive analysis of the results were made which showed a high inter-subject variability in time to exhaustion values (77.8 ± 13.8 min; CV=17.7%). Despite of this fact, different multiple regression analysis showed that with only a limited number of the physiological variables studied, like the anaerobic capacity obtained in the Wingate test or the MAP test values, we are able to explain the 99.4% of the Tlim variance at MLSS. Moreover, this multiple regression analysis allows us to define predictive equations to estimate the Tlim at MLSS intensity with a minimal error (r = 0.994 – 1.00), without carrying out their specific protocols. These predictive equations will significantly reduce the number of human, material and time resources that are needed at present to achieve that information considered vital to design and evaluate the workout program in cyclists.

Key words: maximal lactate steady state, anaerobic capacity, time to extenuation, Tlim.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres, dado que sin ellos no hubiese llegado a ser quien soy.

Gracias a mi pareja Lourdes, por su apoyo incondicional, por soportarme en estos meses de trabajo intenso y estresante.

Gracias a mis compañeros de Master, de los cuales he aprendido mucho y sin quienes no hubiese sido tan agradable este viaje.

A todos los profesores y profesoras que han impartido docencia en este Master, por su cercanía, dedicación, apoyo y esfuerzo.

Finalmente y de forma muy especial a mi tutor, el Dr. Jesus García Pallarés. Ciertos viajes solo se inician cuando en nuestro camino se cruza alguna persona que nos inspira, que nos ofrece la confianza y el respeto necesarios para afrontar los inconvenientes de la travesía.

A todos gracias

ÍNDICE DEL TRABAJO

Índice **Pág.**

1. Introducción……. 1
1.1. El concepto de Máximo Estado Estable de Lactato…… 7
1.1.1. Mecanismos fisiológicos de producción y eliminación del Ácido Láctico……. 7
1.1.2. Técnicas para determinar la concentración de lactato en el Estado Estable de Lactato (MLSSc) y la potencia equivalente a esta intensidad (MLSSw)…….. 8
1.1.3. Aspectos interesantes del concepto de Máximo Estado Estable de Lactato para el rendimiento deportivo…….. 11
1.2. Test anaeróbico Wingate……. 12
2.Objetivos……. 15
3.Hipótesis……. 19
4.Metodología…… 23
4.1. Diseño……. 25
4.2. Participantes……. 25
4.3. Material…….……. 26
4.4. Pruebas de determinación de los hitos fisiológicos……..... 27
4.4.1. Test salud y familiarización previo (IMAPRE)…… 27
4.4.2. Test incremental máximo (IMA).…… 27
4.4.3. Test Wingate……. 28
4.4.4. Test de determinación MLSS……..…… 29
4.4.5. Test de tiempo límite MLSS……..... 30
4.5. Análisis estadístico……. 32
5. Resultados…… 33
6. Discusión…….. 41
7. Conclusiones…… 49
8. Limitaciones del Estudio…….. 53
9. Referencias……. 57

10. Anexos..... 65
10.1. Anexo I..... 67
10.2. Anexo II..... 71
10.3. Anexo III..... 75

ÍNDICE DE TABLAS

Índice **Pág.**

Tabla 1. Relación de artículos sobre Tlim a intensidad de MLSS…… 5

Tabla 2. Características de la muestra ……..……..… 26

Tabla 3. Valores relativos a intensidad MLSS y PAM ……. 35

Tabla 4. Resultados de Test Wingate. ……..……. 35

Tabla 5. Valores fisiológicos durante test Tlim ……..……. 36

Tabla 6. Relaciones entre variables fisiológicas……. 37

Tabla 7: Resumen de correlaciones y significación de las variables…….. 39

Tabla 8. Ecuaciones de predicción de Tlim……. 40

Tabla 9. Intensidades promedio MLSS/PAM (MLSS/$VO2_{max}$)……... 44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Índice **Pág.**

Ilustración 1. Diferentes concentraciones de lactato en función del deporte. 12

Ilustración 2. Modelo de determinación de MLSS..……...…….. 30

Ilustración 3. Ejemplo de la evolución de las variables cardiorrespiratorias, metabólicas y cinemáticas de pedaleo durante el Tlim a MLSS……..... 37

Ilustración 4. Gráficos de dispersión de las variables con correlación directa…….. 38

Ilustración 5. Gráficos de dispersión de las variables con correlación inversa……... 39

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SIGLAS	**DESCRIPCIÓN**
ATP	Adenosín trifosfato
CANL	Capacidad Anaeróbica Láctica
FC_{max}	Frecuencia cardiaca máxima
IAT	Umbral Anaeróbico Individual
IMA	Test Incremental Máximo
IMA_{PRE}	Test IMA de salud y familiarización previo
Mínimo Pot.	Potencia mínima en test WINGATE
MLSS	Máximo Estado Estable de Lactato
MLSSc	Carga a intensidad de MLSS
MLSSw	Potencia a intensidad de MLSS
PAM	Potencia Aeróbica Máxima
Pico Pot.	Potencia pico en test WINGATE
Promedio Pot.	Potencia media en test WINGATE
RPM	Revoluciones por minutos de pedaleo.
Tlim	Tiempo límite hasta la extenuación
VAM	Velocidad aeróbica máxima
$VO2_{max}$	Volumen Máximo de Oxigeno
[Lact]	Concentración de lactato
$\%FC_{max}$	Porcentaje de la FC máxima
FcMLSS	Frecuencia cardiaca a intensidad de MLSS
%MLSS/Promedio Pot.	Relación de potencia MLSS en relación Promedio potencia en test WANT
%MLSS/Pico Pot.	Relación de potencia MLSS en relación Pico potencia en test WANT
%PAM	Porcentaje de la potencia aeróbica máxima
%PAM/Pico Pot.	Relación de PAM en relación Pico potencia en test WANT
%VAM	Porcentaje de la velocidad aeróbica máxima
$\%VO2_{max}$	Porcentaje de consumo máximo de oxígeno

1. INTRODUCCIÓN

Los valores de consumo máximo de oxígeno han sido ampliamente considerados como parámetros imprescindibles para definir el rendimiento deportivo en deportes de resistencia (Jones y Carter, 2000). Tradicionalmente este valor de consumo máximo de oxígeno ha sido asociado con el éxito en el rendimiento deportivo, especialmente en pruebas de resistencia de media y larga duración (Astrand, 1976). Sin embargo, también ha sido ampliamente demostrado que personas con valores similares de consumo máximo de oxígeno, pueden ostentar diferentes marcas en una misma distancia de competición (Allen, Seals, Hurley, Ehsani, y Hagberg, 1985). Igualmente, deportistas bien entrenados pueden mejorar ampliamente sus respectivas marcas sin cambios significativos en los valores de consumo máximo de oxígeno, hecho este que indica que otros aspectos pueden afectar al rendimiento (Ivy, Withers, Vanhandel, Elger, y Costill, 1980).

Entre estas variables que pueden afectar igualmente el rendimiento cardiorrespiratorio de los deportistas, podemos considerar la influencia del umbral anaeróbico (Allen et al., 1985). Estos autores demostraron que algunos atletas pueden tener tiempos de competición similares en una carrera de 10 kilómetros, a pesar de presentar diferencias en sus respectivos consumos máximos de oxígeno de hasta un 9%. Diferentes investigadores (Beneke, 2003; Billat, Sirvent, Koralsztein, Mercier, 2003) han equiparado de una manera más o menos acertada, este hito fisiológico al Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS), definido este como “la carga más alta, donde la producción de lactato alcanza un estado estable” (Beneke, 1995). Otros estudios han demostrado que los valores de lactato capilar difieren según el medio de locomoción, (Beneke y vonDuvillard, 1996; Fontana, Boutellier, y Knoepfli-Lenzin, 2009) y a pesar de estas diferencias, el mismo criterio se usa para la definición de MLSS. Es probable que estos cambios en las concentraciones de lactato estén relacionadas con la cantidad de masa muscular implicada en el ejercicio (Beneke, Leithauser, y Hutler, 2001).

Parece obvio que la diferencia en 1mmol/L^{-1} en la concentración de lactato capilar en un valor absoluto de 8 mmol/L^{-1}, es menos significativa que la relativa a una concentración de 5 mmol/L^{-1}. Con el protocolo utilizado para la determinación del MLSS (Beneke, 2003), estamos seguros que los deportistas soportarán una carga estable durante al menos 30 minutos, pero no sabemos con seguridad el

tiempo hasta la extenuación (Tlim) en esos mismos sujetos. La literatura científica contiene diferentes trabajos que tratan de definir esta duración, aunque existe una gran variabilidad en los resultados observados.

Así por ejemplo, el Tlim en atletas entrenados en resistencia de mediana edad puede alcanzar los 44 ± 10 min (Billat, Sirvent, Lepretre, y Koralsztein, 2004), 55.0 ± 8.5 min en ciclistas jóvenes bien entrenados (Baron et al., 2008), 37.7 ± 8.9 y 34.4 ± 5.4 en ciclistas y atletas moderadamente entrenados (Fontana et al., 2009), 62 ± 6 en sujetos jóvenes no entrenados (Mendes et al., 2013), 54.7 ± 10.9 en ciclistas entrenados (Grossl, de Lucas, de Souza, y Antonacci Guglielmo, 2012), 68 ± 11 en corredores entrenados (Dittrich, de Lucas, Beneke, y Antonacci Guglielmo, 2014), 64 ± 15 en corredores de media maratón bien entrenados (Legaz-Arrese, Carranza-Garcia, Serrano-Ostariz, Gonzalez-Rave, y Terrados, 2011) y 57 ± 4 en sujetos físicamente activos (Santos, Alves, Turnes, Guilherme, Beneke y Caputo, 2015). Estos estudios se realizaron siguiendo diferentes protocolos de determinación de los valores de estado estable de lactato, utilizando para ello muestras compuestas por sujetos de heterogénea condición física y realizados con diferentes ejercicios deportivos. Varios estudios han analizado el aumento o disminución del Tlim con el entrenamiento sin alcanzar resultados concluyentes (Billat et al., 2004; Mendes et al., 2013), aunque existen evidencias de que este cambia independientemente de la evolución en el tiempo de los valores de consumo máximo de oxígeno (Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, y Gibala, 2005; Markov, Spengler, Knopfli-Lenzin, Stuessi, y Boutellier, 2001). Asimismo, (de Barros et al., 2011), confirmaron que los valores de Tlim a intensidad de MLSS varían en función de la temperatura ambiental

Tabla 1. Relación de artículos sobre Tlim a intensidad de MLSS (elaboración propia).

AUTOR	DEPORTE	TÍTULO	Método determinación MLSS	PAM/VAM	% VO2 MLSS/V02 max	PROMEDIO $VO2_{max}$ (ml/kg/min-1)	MLSS Tlim	MUESTRA
Baron et al., 2008	Ciclismo	Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity	Beneke (1992)	323.2 ± 30.2	71.3 ± 5.2%	54.8 ± 8.2	55.0 ± 8.5 min	11 ciclistas entrenados
Billat, et al., 2004	Carrera	Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners	2 palieres de 20' (95% y 105% VAM	PRE 16.8 ± 1.3 km/h; POST 17.5 ± 1.1	85.2 ±4.5%	PRE 55.1 ± 4.2; POST 57.6 ± 3.9	PRE 44 ± 10min; POST 63 ± 12min	11 atletas de mediana edad de resistencia, entrenados
Dittrich, Naiandra et al., 2014	Carrera	Time to exhaustion at continuous and intermittent maximal lactate steady state during running exercise	Beneke (1992)	17.6 ± 1 km/h	82%	61.7 ± 3,9	68 ± 11 min	10 Atletas entrenados
Fontana, Piero et al., 2009	Ciclismo y carrera	Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects	Beneke (1992)	Ciclismo 402 ± 52W; Carrera 18.5 ± 1.5 km/h	Ciclismo: 62 ± 5%; Carrera: 71 ± 4%		Ciclismo 37.7 ± 8.9 min; Carrera 34.4 ± 5.4 min	
Grossl, et al., 2012	Ciclismo	Time to exhaustion at intermittent maximal lactate steady state is longer than continuous cycling exercise	Beneke (1992)	337.4 ± 32.4W	74.3 ± 3.0%	59.9 ± 9.6	54.7 ± 10.9 min	14 ciclistas entrenados
Legaz-Arrese, et al., 2009	Carrera	The Traditional Maximal Lactate Steady State Test versus the 5 × 2000 m Test	Beneke y 5*2000m				GR Control ± 62min; GR Entrenam ± 70min	8 atletas de resistencia entrenados
Mendes et al., 2013	Ciclismo	Six weeks of aerobic training improves VO2max and MLSS but does not improve the time to fatigue at the MLSS	Beneke (1992)	GR control 139 ± 22W; GR entrenam 150 ± 27W	GR control 76.4 ± 13.2%; GR entrenam 73.2 ± 9.6%	44.9 ± 4.8	GR control ± 62min; GR entrenam ± 70min	21 sujetos sanos desentrenados
Santos, et al., 2015	Ciclismo	Caffeine Affects Time to Exhaustion and Substrate Oxidation during Cycling at Maximal Lactate Steady State	Beneke (1992)	272 ± 37W	73 ± 11%	51.0 ± 5.0	Con cafeína: 70 ± 4.1 min Con placebo: 57 ± 4.1 min	8 sujetos activos

Hay autores que han tratado de encontrar variables que correlacionen positivamente con los valores de tiempo límite a diferentes intensidades (Billat, Bernard, Pinoteau, Petit, y Koralsztein, 1994). Estos investigadores publicaron que el Tlim a intensidad equivalente a la velocidad aeróbica máxima (VAM) en atletas, está relacionado con la velocidad a MLSS expresada en $\%VO2_{max}$, así como con la velocidad a MLSS expresada en %VAM. Igualmente en otro estudio, se halló correlación positiva entre los valores de Tlim y los valores de velocidad a umbral ventilatorio 2, expresado como porcentaje del valor de consumo máximo de oxígeno ($\%VT2/VO2_{max}$) (Billat, Renoux, Pinoteau, Petit, y Koralsztein, 1994b).

La tolerancia al ejercicio está limitada por diferentes factores, tales como reservas energéticas, demandas cardiovasculares, perfil ácido-base, estado de hidratación, temperatura ambiental, así como por la temperatura interna corporal (Pallares y Morán-Navarro, 2012). Baron et al. (2008), investigaron las causas asociadas a la fatiga en intensidad de máximo estado estable y no encontraron ninguna relación que explicara la interrupción del ejercicio al analizar la frecuencia cardiaca, las variables respiratorias, los valores de lactato, la concentración de piruvato, o el PH sanguíneo. Sus resultados ayudaron a confirmar la hipótesis de que la fatiga se produce como resultado de una conjunción de varios factores que conducen a una reducción de la intensidad, en caso de estar permitida, o a interrumpir el ejercicio (Noakes, Gibson, y Lambert, 2005) .

Baron et al. (2008), asocian la fatiga con un incremento de la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE), como consecuencia de un incremento en las exigencias del sistema nervioso central a los músculos del sistema locomotor y a los del sistema respiratorio. El cuerpo humano funciona como un sistema complejo durante el ejercicio, usando el control de las reservas energéticas en respuesta a la retroalimentación de diferentes sistemas desde determinados sensores centrales y periféricos. El cerebro regula el funcionamiento de los sistemas corporales durante el ejercicio para asegurar que la actividad planificada se completa sin afectar a la homeostasis celular. El control es aplicado a través de cambios en el grado de reclutamiento de la musculatura esquelética durante el ejercicio y a través de los

efectos de la inhibición de la percepción incremental de la fatiga, que es generada por el cerebro durante la actividad (Noakes et al., 2005).

1.1. EL CONCEPTO DE MÁXIMO ESTADO ESTABLE DE LACTATO.

1.1.1. **Mecanismos fisiológicos de producción y eliminación del Ácido Láctico**.

Según describió Billat et al. (2003), la cinética del metabolismo del lactato durante el ejercicio ha sido habitualmente inferida a partir de las mediciones de la concentración de lactato en la sangre y en los músculos. La producción de ácido láctico se refiere con carácter habitual a la tasa de producción en los músculos, excepto cuando se refiera explícitamente a la concentración sanguínea. Sin embargo, la eliminación puede darse tanto en los músculos como en las diferentes células sanguíneas. Donovan y Brooks (1983), encontraron que durante un incremento gradual de la intensidad del ejercicio, la tasa de generación y desaparición del ácido láctico está relacionada de forma exponencial con los valores de consumo de oxígeno y sin embargo, está relacionada linealmente con la concentración arterial de lactato.

Mediante la administración isotópica de lactato etiquetado, los valores de rotación y oxidación pueden ser determinados y por tanto, se consiguió demostrar un incremento sustancial desde los valores en reposo a los valores generados a intensidad moderada, con solo un ligero incremento en la concentración sanguínea (Donovan y Brooks, 1983).

En reposo y durante la realización de ejercicio de baja intensidad (hasta el 50% del VO_{2max} aproximadamente), la producción y eliminación de lactato se produce a una tasa equivalente. A intensidad de MLSS, el proceso de aparición es equilibrado por el proceso de eliminación. La concentración de lactato sanguíneo a intensidad de MLSS representa el punto máximo donde este equilibrio se consigue. La tasa de aparición y desaparición de lactato sanguíneo es medido en mg/min^{-1}, o bien, es normalizada a los valores de masa corporal en $mg/kg/min^{-1}$, y es igual a entre 3 y 4 $mg/kg/min^{-1}$ a una concentración de lactato de entre 4 y 8 $mmol/L^{-1}$.

1.1.2. Técnicas para determinar la concentración de lactato en el Estado Estable de Lactato (MLSSc) y la potencia equivalente a esta intensidad (MLSSw).

El concepto de MLSS fue propuesto por Margaria, Mangili, y Cerretelli, (1964), usando entre cinco y ocho cargas de ejercicio constantes para determinarlo. Con el fin de abreviar este largo protocolo, el método fue sustituido por el concepto de umbral ventilatorio (Wasserman y McIlroy, 1964) y por la determinación del umbral láctico a través de la concentración de lactato sanguíneo, mediante protocolos de cargas progresivas, o mediante protocolos de escalones con carga constante de larga duración y recuperación casi completa entre ellos (Donovan y Brooks, 1983).

Baldari y Guidetti (2000) sugirieron que el MLSS podría ser también determinado a través del llamado Umbral individual de lactato (IAT), determinado de acuerdo con el protocolo de Stegmann, Kindermann, y Schnabel (1981), dado que el IAT se obtenía asignando valores de lactato sanguíneo a escalones sucesivos durante un test incremental, en lugar de escalones de carga constante. El IAT se definió como la tasa metabólica donde la eliminación de lactato sanguíneo durante el ejercicio es, a la vez máxima y equivalente a la tasa de desaparición.

Estudios recientes han encontrado diferencias relevantes en la intensidad de esfuerzo que propicia el MLSS, el VT2 y el umbral de lactato, evidenciando que son hitos fisiológicos claramente diferentes (Moran, 2014). Este mismo estudió apunta al método del Umbral de Lactato + 0.5 mmol/L^{-1} (i.e., 0.5 mmol/L^{-1} por encima de la línea de base) como el método más válido y reproducible para estimar la carga del MLSS.

Schnabel, Kindermann, Schmitt, Biro, y Stegmann (1982), en un trabajo donde los sujetos corrían en una cinta durante 50 minutos a intensidad de IAT (75 ± 2% del $VO2_{max}$), publicaron que tras un ajuste arterial inicial, el lactato se estabilizó con diferentes valores para cada deportista, entre 2.7 y 6.0

mmol/L^{-1}. Sin embargo, ellos no confirmaron que los valores de IAT fuesen equivalentes a los de MLSS.

En la actualidad, la mayoría de los trabajos de investigación se realizan siguiendo el protocolo de trabajo con cargas constantes por periodos de 30 minutos (Beneke y vonDuvillard, 1996), y descansos superiores a 24 horas entre cada prueba, protocolo este considerado como el Gold Standard en la determinación del MLSS. Por definición, el MLSS se corresponde con aquella concentración de lactato sanguíneo que varía menos de 1 mmol/L^{-1} entre el minuto 10 y el minuto 30 de cada una de estas pruebas.

Aunque esta metodología es predominante en la actualidad, diferentes autores han propuesto pruebas diferentes con el fin de simplificar el protocolo y la duración de las cargas. Realizar entre 2 y 5 pruebas de 30 minutos de duración, con descansos superiores a 24 horas entre cada una, implica una alta disponibilidad de recursos temporales que dificultan su aplicación generalizada en deportistas. Entre estos autores podemos destacar el algoritmo de McLellan y Jacobs (1993), que proponía la determinación del MLSS a través de 3 cargas de 30 minutos de duración cada una, separadas por 1 hora de descanso.

Igualmente y para evitar un procedimiento tan largo, Bacon y Kern, (1999) y Billat, Dalmay, Antonini, y Chassain (1994), validaron un protocolo que permitía una estimación inmediata de la intensidad del ejercicio correspondiente al MLSS, para atletas de larga distancia, usando únicamente dos cargas de intensidad sub-máxima de 20 minutos. Estos dos test eran ejecutados entre el 60 y el 90% de la velocidad a $VO2_{max}$ y separados por un descanso completo de 40 minutos. Las intensidades de los dos test se correspondían con las inmediatamente inferiores y superiores al comienzo de la acumulación de lactato establecida en un test incremental, el cual también determinaba el $VO2_{max}$. Este enfoque fue validado comprobando el MLSS durante una sesión de 1 hora a esta intensidad (Billat, Dalmay, et al., 1994).

MacIntosh, Esau, y Svedahl (2002), propusieron otro protocolo de determinación del MLSS a través del método de lactato mínimo (Tegtbur, Busse, y Braumann, 1993). Según esta metodología se realizaron dos sprints de 500 metros en bicicleta a máxima intensidad, con un descanso entre ambas de 60 segundos, seguidos de 8 minutos de recuperación. Después de esta recuperación se realizó un test incremental con escalones de 1500 metros, que comenzaba a una velocidad de 4 $km.hr^{-1}$ inferior a la velocidad media de un test previo de 20 minutos de duración y se aplicaban incrementos posteriores de 1 $km.hr^{-1}$, seguidos de periodos de recuperación de 1 minuto entre cada uno de estos incrementos. Muestras de lactato sanguíneo se extrajeron entre los minutos 7 y 8 de la primera recuperación y posteriormente en cada minuto de recuperación intra-escalones. Los valores de lactato describían una curva polinómica y se consideraba el valor inferior como el equivalente al MLSS.

Legaz-Arrese et al. (2011) propusieron otra metodología para la determinación del MLSS a través de la realización de 5 series de 2000 metros, empezando la primera de ellas a una velocidad inferior en 0.9 km/h^{-1} al promedio de velocidad de una media maratón, seguidos de escalones sucesivos con incrementos de velocidad de 0.3 km/h^{-1}. Se consideró como velocidad equivalente a MLSS, aquella que suponía un incremento de lactato sanguíneo no superior a 0,4 $mmol/L^{-1,}$ respecto a los valores del primer 2000.

Palmer, Potteiger, Nau, y Tong (1999), propusieron otro método de determinación en una sola sesión del MLSS. Los sujetos corrían a una intensidad determinada durante 9 minutos y si los valores de lactato sanguíneo entre los minutos 3 y 9 no diferían en más de 1 $mmol/L^{-1}$, se incrementaba la velocidad en 15 $metros/min^{-1}$. Se consideraba velocidad equivalente a MLSS a la última dónde no se superaba el valor de 1 $mmol/L^{-1}$ entre los minutos 3 y 9.

1.1.3. Aspectos interesantes del concepto de Máximo Estado Estable de Lactato para el rendimiento deportivo.

El máximo MLSS no depende del rendimiento de los atletas, hecho este confirmado por un trabajo de Beneke, Hutler, y Leithauser (2000), donde compararon a 33 sujetos (23.7 ± 5.5 años), 10 ciclistas experimentados y 23 sujetos físicamente activos. Todos realizaron un test escalonado hasta la extenuación, así como entre tres y seis pruebas con carga constante a distintas intensidades. Los autores constataron que el MLSS no correlacionaba con los niveles de rendimiento de los sujetos, por lo que, este valor no se podía usar como predictor del rendimiento.

Existen diferencias entre los niveles de lactato sanguíneo relacionados con la intensidad de la carga de trabajo, con los diferentes tipos de ejercicio, así como con el perfil metabólico de los sujetos. Beneke y vonDuvillard (1996), compararon los niveles de lactato sanguíneo a intensidad de MLSS en un estudio donde participaron 11 remeros, 16 ciclistas y 6 patinadores de velocidad. Dedujeron que el MLSS era independiente de la disciplina o del instrumento utilizado para el desplazamiento, y sin embargo, sí que dependía de la morfología y de las demandas específicas en términos de implicación de grupos musculares de las diferentes disciplinas y deportistas. Tal y como se puede observar en la Ilustración 1, las curvas de concentración de lactato sanguíneo para cada una de las disciplinas son muy estables a lo largo del tiempo, pero tienen diferencias significativas entre ellas ($p \geq .05$). Por esta razón no se puede utilizar este hito fisiológico como un predictor de rendimiento universal, dadas las importantes variaciones existentes entre disciplinas, a menos que se utilice únicamente para una disciplina concreta.

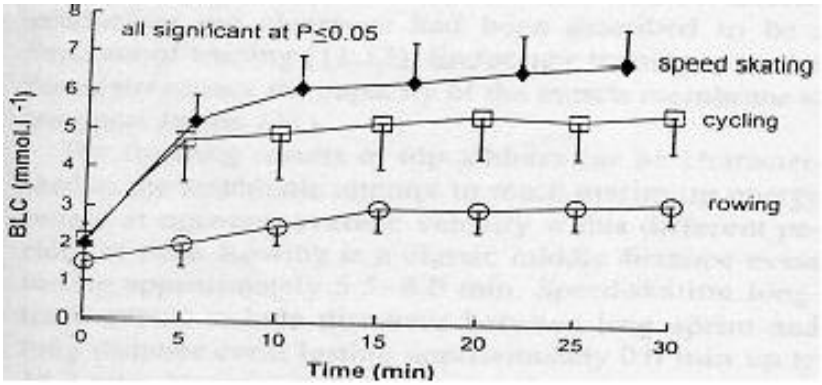


Ilustración 1. Diferentes concentraciones de lactato en función del deporte (Beneke, 1995)

1.2. EL TEST WINGATE

El test Wingate de 30 segundos ha sido usado desde los años 70 del siglo XX para medir la capacidad de producción de potencia de corta duración en ciclismo (Bar-Or, Dotan, y Inbar, 1977). El test consiste en una prueba en cicloergómetro de 30 segundos de duración a máxima intensidad, contra una resistencia relacionada con el peso corporal del sujeto (75 kp/kg de peso corporal en un cicloergómetro Monark con freno mecánico). La cadencia de pedaleo durante el test se monitoriza cada 5 segundos. Tres parámetros pueden ser calculados de estos registros:

1. **El máximo valor de potencia durante el test** (pico de potencia), valor que determina la potencia anaeróbica máxima.
2. **La cantidad total de trabajo** (promedio de potencia), cuyo valor se considera en la literatura como un índice de la capacidad anaeróbica láctica.
3. **La medida de la disminución de potencia** (llamado índice de fatiga). El pico de potencia se corresponde con el valor máximo de potencia que se da normalmente en los primeros 10 segundos. La diferencia entre el valor máximo y mínimo en los diferentes valores medidos cada 5 segundos, dividido entre el tiempo transcurrido, se corresponde con el índice de fatiga.

Los valores de producción de potencia en este test se obtienen predominantemente con fuentes de energía anaeróbicas, hecho este que estresa fundamentalmente a las vías de obtención de energía anaeróbica.

La acumulación de los iones H+ intramusculares, parece ser igualmente un factor importante en el agotamiento durante este período breve de ejercicio de alta intensidad (Parkhouse y McKenzie, 1984), al contrario de lo que sucede en los casos de ejercicios aeróbicos prolongados. Entre sus otros efectos, la acidosis interfiere con la velocidad de la glucogenólisis anaeróbica. Estos datos fueron confirmados en un estudio experimental donde a un grupo de sujetos se les administró una cantidad determinada de bicarbonato sódico y se comparó el resultado de aplicar un test Wingate frente a otro grupo de control, que únicamente recibió una sustancia placebo (Inbar et al., 1983).

2. OBJETIVOS

Para la presente investigación, una vez realizada la revisión bibliográfica, conocido el marco teórico y definido el problema de estudio, nos planteamos los siguientes objetivos:

- Describir los tiempos límite hasta la extenuación (Tlim) de los diferentes sujetos a intensidad equivalente a la del Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS) y valorar el nivel de variabilidad existente entre ellos.
- Detectar la variable o variables que puedan predecir o explicar los diferentes valores de tiempo límite (Tlim).

3. HIPÓTESIS

En base a estos objetivos, las hipótesis que nos planteamos antes de la realización de este estudio fueron:

- **Hipótesis 1**: Existe una alta variabilidad inter-sujeto en los valores de Tlim a intensidad constante equivalente a la de MLSS.
- **Hipótesis 2**: Existen diferentes variables cardiorrespiratorias que permiten predecir los tiempos límite a intensidad de MLSS, como son, la potencia aeróbica máxima, el índice de fatiga obtenido de un test Wingate y los valores de potencia anaeróbica láctica.

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño:

El diseño de este trabajo de fin de Master estuvo condicionado por los objetivos buscados, la naturaleza de las variables dependientes y el tipo de muestra de la que se disponía. Atendiendo a estas características, el estudio se puede considerar cuantitativo, no experimental y descriptivo, siendo de carácter transversal dado que los datos se analizaron sincrónicamente, no resultando afectada la muestra por cambios adaptativos como resultado de las pruebas realizadas.

Las pruebas de este estudio se realizaron siempre a la misma hora del día en cada participante para controlar los efectos del ritmo circadiano (Mora-Rodriguez, Garcia Pallares, Lopez-Samanes, Fernando Ortega, y Fernandez-Elias, 2012), así como bajo similares condiciones ambientales (21–24°C y 45–55% de humedad relativa) que garantizaran unos valores estables de rendimiento, dado que, el estudio de de Barros et al. (2011), confirmó que los Tlim a intensidad de MLSS varían en función de la temperatura a la que se realiza la actividad física.

Para asegurar una adecuada ventilación de los ciclistas, se situó un ventilador a 1 metro en posición oblicua, 45º a su izquierda, con intensidad aproximada de 20 km/h. La altura del ventilador coincidió con la del pecho de los sujetos. Asimismo y para asegurar unas condiciones óptimas de hidratación, se les permitió ingerir agua at libitum durante todas las pruebas.

4.2. Participantes:

Para este estudio se realizó un muestreo de tipo casual o incidental. Un grupo compuesto por seis ciclistas varones bien entrenados de nivel aficionado, participaron voluntariamente. Todos los sujetos fueron sometidos a un test inicial y a un examen físico previo (incluido electrocardiograma - ECG) para garantizar un adecuado nivel de salud cardiovascular, que les permitiese realizar todos los protocolos y tests del estudio. Además del apto cardiosaludable, se estableció como criterio de inclusión alcanzar un VO_{2max} superior a 55.0 ml/kg/min en el test incremental inicial. Los deportistas fueron

informados sobre las pruebas y los posibles riesgos y beneficios del proyecto. El estudio, que cumplió con la Declaración de Helsinki, fue aprobado por la Comisión de Bioética de la Universidad de Murcia (Anexo 1). Los deportistas cumplimentaron y firmaron con carácter preceptivo un consentimiento informado (Anexo 2), así como un cuestionario de aptitud física (Anexo 3). Las características de la muestra quedan descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de la muestra (elaboración propia)

Sujeto	Peso (kg)	Edad (años)	Altura (cm)	IMC (kg/cm2)	Años Experiencia	Horas pedaleo/semana	PAM (W)	Fc_{max} (lat/min)
S1	92.7	32	192	25.15	6	4.0	450	186
S2	77.8	33	173	25.99	5	4.0	350	188
S3	89.8	44	189	25.14	15	3.5	425	167
S4	84.4	35	183	25.34	5	5.0	400	181
S5	67.3	21	181	20.54	2	2.0	300	173
S6	70.4	23	167	25.24	2	2.0	300	173
Media	80.4	31	180	24.6	6	3.4	370	178
DE	10.3	8	9	2.0	5	1.2	64	8

Nota: IMC: Índice de masa corporal; PAM: Potencia Aeróbica Máxima; FC_{max}: frecuencia cardiaca máxima

4.3. Material:

Los diferentes test incrementales para la determinación de los hitos fisiológicos, así como el test de tiempo límite a intensidad constante, se desarrollaron en un cicloergómetro con freno electromagnético (Ergoselect 200, Ergoline, Alemania). Los datos de frecuencia cardiaca se registraron mediante un monitor de frecuencia cardiaca (Polar RS400; Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Los valores de lactatemia fueron analizados con un analizador Lactate Pro-2 (Arkray, Japon), con tiras reactivas Lactate ProTM2. La temperatura timpánica se medió con un termómetro digital Beurer GmbH FT65.

4.4. Pruebas de determinación de los hitos fisiológicos

4.4.1. Test de salud y familiarización previo (IMAPRE)

Los ciclistas realizaron un test incremental máximo hasta el agotamiento (IMA_{PRE}), con un calentamiento de 10 min a 50 W, comenzando inmediatamente después el protocolo en rampa con incrementos de 25 $W \cdot min^{-1}$ hasta el agotamiento. Durante cada estadío de la prueba se monitorizó la actividad eléctrica del corazón mediante un ECG estándar de 12 electrodos (Quark T12, Cosmed, Italia), así como la presión sanguínea cada dos estadíos (GaMma GST, Heine, Alemania) con el fin de garantizar que todos los participantes tuviesen una respuesta cardio saludable que les permitiera participar en el estudio.

4.4.2. Test incremental máximo (IMA)

Los ciclistas realizaron un test incremental máximo hasta el agotamiento (IMA), en cicloergómetro con su propio calzado ciclista, usando fijaciones en los pedales. Las dimensiones del ergómetro se ajustaron individualmente para permitir una posición lo más ajustada posible a las habituales en sus respectivas bicicletas. Tras un calentamiento de 15 minutos, dividido en periodos de 5 min a intensidades del 30, 40 y 50% del valor PAM alcanzado en los test de salud previos, comenzó el protocolo en rampa con incrementos de 25 $W \cdot min^{-1}$ hasta el agotamiento. La cadencia fue libremente elegida por los sujetos durante toda la prueba. Se monitorizó en todo momento la frecuencia cardiaca mediante un monitor de frecuencia cardiaca (Polar RS400 -Polar Electro Oy-, Kempele, Finland). Se establecieron los valores máximos de oxígeno (VO_{2max}) y la potencia aeróbica máxima (PAM) de acuerdo a los siguientes criterios:

- VO_{2max}: El consumo máximo de oxígeno se calculó de forma indirecta a través de la aplicación de la ecuación de predicción de (Storer, Davis, y Caiozzo, 1990), que estima el VO_{2max} mediante los valores de potencia máxima alcanzada

en el test IMA, la edad y el peso en kilos de los sujetos. (VO_{2max} ($ml.min_{-1}$) =(10.51 * PAMw) + (6.35 * kg) – (10.49 * edad) + 519.3).

- PAM: se definió como la máxima carga (W) que pudo resistir cada participante durante un estadio completo (1 minuto).

Para confirmar que la pruebas fueron efectivamente máximas, y por lo tanto se había alcanzado el VO_{2max} de los participantes, los test debían cumplir al menos uno de estos dos criterios (Astrand y Ryhming, 1954):

- Alcanzar un Cociente Respiratorio (VCO2/VO2) igual o superior a 1.10.
- Registrar al menos el 90% de la frecuencia cardiaca máxima teórica del sujeto.

4.4.3. Test WINGATE

Utilizando un ergómetro Monark® se situó la resistencia del péndulo al 7.5% de la masa corporal del participante. Tras un calentamiento estandarizado de 15 minutos de pedaleo suave 60-100 W intercalado con sprints de 5 segundos, los ciclistas debían pedalear a 60 W con una cadencia de 60 rpm durante 30 segundos, y cuando el experimentador lo consideraba apropiado, fijaba la resistencia individual y comenzaba la prueba. Los participantes pedaleaban durante los 30 s a la máxima cadencia posible sin ningún tipo de distribución del esfuerzo. Los sujetos recibieron motivación verbal continua para ayudarles a generar la máxima potencia durante toda la prueba. El experimentador midió las revoluciones por minuto (RPM) alcanzadas cada 5 segundos, así como el mayor valor de RPM que se mostraba en el monitor. El pico de potencia alcanzado (potencia anaeróbica) y el promedio de potencia (capacidad lactácida) se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

- **Pico de potencia(W) = Resistencia del Péndulo (Kp) * Cadencia máxima**

- **Promedio de potencia(W) = Resistencia del Péndulo (Kp) * Cadencia media**

Para la realización de estas pruebas y al igual que en el resto de este estudio, los sujetos estuvieron equipados con su propio calzado ciclista, usando fijaciones automáticas para asegurar la adecuada transmisión de potencia a los pedales. Las dimensiones del cicloergómetro se ajustaron igualmente a las medidas individuales de sus respectivas bicicletas de entrenamiento.

4.4.4. Test determinación MLSS

El MLSS se definió en esta investigación como la carga externa (i.e., potencia) constante durante 30 minutos que producía un incremento de 1 mmol/L^{-1} en la concentración de [Lact] entre los minutos 10 y 30. Todos los ciclistas realizaron entre 2 y 4 repeticiones de este test, separadas por un mínimo de 72 horas, periodo en el que se solicitó a los participantes que no realizasen ningún tipo de esfuerzo intenso de resistencia ni entrenamientos de fuerza, hasta que se determinó el MLSS de acuerdo a estos criterios:

- La intensidad de la primera repetición se estableció en el 65% de PAM (W), registrada en el test incremental máximo (IMA).
- En función del resultado de la primera repetición, la carga se incrementó o se redujo para el siguiente intento en 0.2 W·kg^{-1} (~15 W) en el caso de que la [Lact] objetivo no se hubiese alcanzado por defecto o por exceso, respectivamente.
- En caso de que dos cargas consecutivas, una por defecto y otra por exceso, no cumpliesen los criterios para establecer el MLSS, éste se determinó en la carga intermedia entre ambas intensidades (Ilustración 2).

Siguiendo este protocolo, los participantes necesitaron completar entre 3 y 5 intentos para localizar la carga de MLSS. El calentamiento

estandarizado para todas las pruebas del test MLSS consistió en 15 minutos, divididos en periodos de 5 minutos al 30, 40 y 50% de la potencia aeróbica máxima alcanzada en el test incremental máximo (IMA).

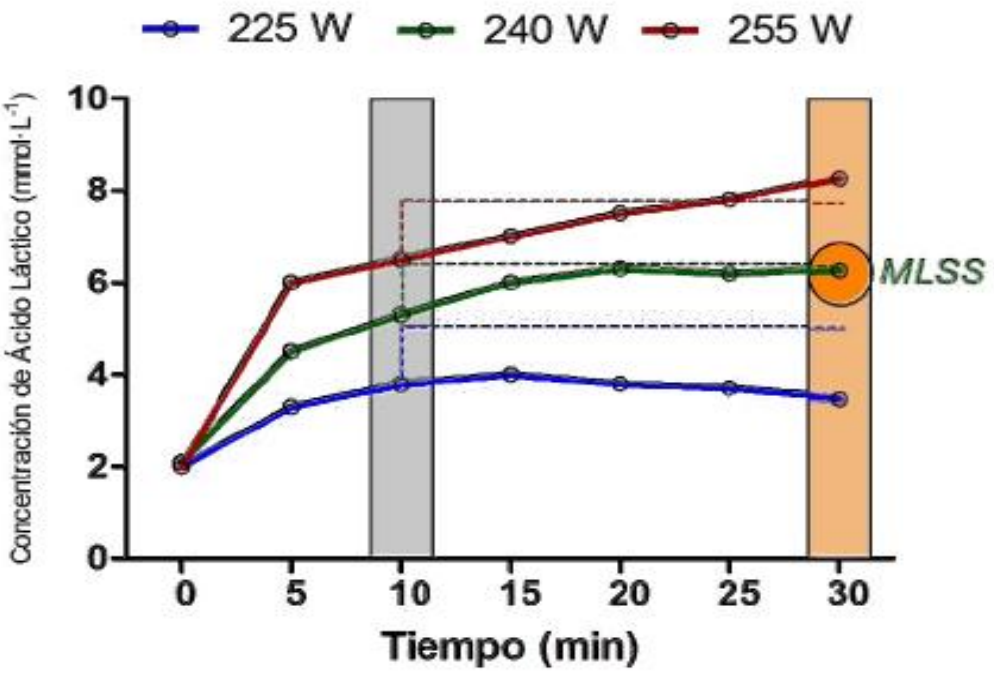


Ilustración 2. Modelo de determinación de MLSS (Moran, 2014)

4.4.5. Test de tiempo límite MLSS

Tras un periodo de recuperación mínimo de 72 horas tras la determinación de la carga de MLSS, en la que los participantes no realizaron ningún tipo de sesión de entrenamiento de fuerza o resistencia, se solicitó a todos los sujetos que realizasen un test a intensidad constante hasta la extenuación, con la carga de MLSS previamente determinada individualmente.

El calentamiento consistió en un esfuerzo aeróbico a intensidad sub-máxima y creciente durante 15 minutos en función de la PAM (W) alcanzada en el test incremental máximo (IMA), con cadencia libre, a las siguientes intensidades descritas para la realización del calentamiento del test IMA (ver epígrafe 4.4.1), seguido de un descanso pasivo previo al inicio del test de 5 minutos.

Durante los días de celebración de las pruebas se estandarizó la ingesta calórica de la comida principal inmediatamente anterior a cada test Tlim. Los sujetos consumieron un mínimo de 2941 kJ, de los cuales al menos el 50% se ingirió en forma de carbohidratos. Para garantizar esta ingesta y distribución calórica, todos los participantes comieron 3 horas antes del comienzo de la prueba un plato de lasaña precocinada de una conocida marca comercial.

Antes de someterse a la prueba de MLSS, se constató el estado de euhidratación de los participantes mediante la medición de la gravedad específica de la orina (Usg; URC-NE, Atago, Japan). En caso de que los participantes presentasen una Usg superior a 1.020 (Fernandez-Elias et al., 2014), se les pidió que reposaran en sedestación durante 30 minutos ingiriendo 500 ml de agua antes de comenzar la prueba. Se exigió igualmente a los participantes un descanso durante la noche anterior de al menos 8 horas, y se prohibió la ingesta de bebidas o sustancias estimulantes durante el día de la prueba, así como el consumo de alcohol en las 48 horas previas a cada test. Tampoco se permitió el uso de música durante la celebración del test, para evitar cualquier tipo de contaminación en el ritmo de pedaleo y en resultado de la prueba (Jarraya et al., 2012).

Durante la realización de cada test Tlim, se insistió a los sujetos en que bebiesen un mínimo de 150 ml de agua cada 15 minutos, con el fin de asegurar un estado de reposición de líquidos adecuado (Popowski et al., 2001). Los experimentadores monitorizaron los valores de [Lact], RPM y FC cada 10 minutos. Los sujetos fueron animados para permanecer a esta intensidad el mayor tiempo posible, registrando los minutos y segundos hasta la extenuación.

Los diferentes test Tlim finalizaron por incapacidad de los sujetos para continuar, o bien cuando la frecuencia de pedaleo (RPM) disminuyó hasta valores inferiores a 60 RPM durante más de 3 segundos.

4.5. Análisis estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándar para calcular los valores promedio y las desviaciones estándar. Se estudió la posible correlación entre la variable dependiente Tlim y el resto de variables, utilizando el Coeficiente de Correlación de Pearson (r) y el grado de significación de esta relación teniendo en cuenta n-2 grados de libertad. Para la interpretación del coeficiente de correlación se empleó la referencia de Vincent (2005):

- Valor de r < .7 = Correlación baja
- Valor de r entre .7 y .8 = Correlación moderada
- Valor r > .8 = Correlación alta

Los valores de p inferiores o iguales a .05 fueron considerados estadísticamente significativos.

Asimismo y con el fin de explicar la varianza de la variable dependiente Tlim, se realizó un análisis de regresión múltiple en el que se incluyeron las covariables que mejor correlacionaban presentaban con ésta, tras aplicar el Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Para los análisis se utilizó el software de análisis estadístico SPSS+ V.19.0.

5. RESULTADOS

En la tabla 3 se muestran en términos relativos los datos de PAM, MLSS y Fc MLSS/Fc_{max} .

Tabla 3. Valores relativos a intensidad MLSS y PAM

Sujeto	PAM (W/kg)	MLSS (W/kg)	FcMLSS vs Fc_{max}
S1	4.85	3.53	91.0%
S2	4.50	2.96	85.5%
S3	4.73	3.33	88.6%
S4	4.74	3.19	83.1%
S5	4.46	2.97	89.2%
S6	4.26	2.53	86.7%
Media	4.6	3.08	87.3%
DE	0.2	0.35	2.9%

Nota: Frecuencia cardiaca a intensidad MLSS (FcMLSS)

En la tabla 4 se muestran los datos estadísticos descriptivos que se desprenden de los resultados del test Wingate realizado por los participantes.

Tabla 4. Resultados test Wingate

Sujeto	Pico Pot (W)	Mínimo Pot.(W)	Promedio Pot. (W)	Índice Fatiga	Pico Pot/MC (W/kg)	Mínimo Pot./MC (W/kg)	Promedio Pot./MC (W/kg)
S1	1044	554	770	46.9%	11.3	6.0	8.3
S2	869	496	685	42.9%	11.2	6.4	8.8
S3	834	668	708	19.9%	9.3	7.4	7.9
S4	948	539	737	43.1%	11.2	6.4	8.7
S5	678	500	610	26.3%	10.1	7.4	9.1
S6	823	456	641	44.6%	11.7	6.5	9.1
Media	866	535	691	37.3%	10.8	6.7	8.6
DE	124	74	59	11.3%	0.9	0.6	0.5

Nota: Masa corporal (MC); Promedio Pot: Promedio potencia en Wingate; Pico Pot.: Pico de potencia en Wingate; Mínimo Pot: Potencia mínima en test Wingate.

En la tabla 5 se muestran la deriva cardiaca, metabólica y cinemática de pedaleo, que experimentaron los participantes durante la realización de las pruebas Tlim.

Tabla 5. Valores fisiológicos durante test Tlim

Sujeto	Carga (W)	[Lact] final (mmol/L)	Deriva cardiaca	Deriva cadencia
S1	327	-	5.5%	-21.7%
S2	230	5.5	15.03%	-10.0%
S3	299	13.1	7.6%	-20.9%
S4	269	6.7	16.0%	-23.1%
S5	200	5.0	10.7%	-5.5%
S6	178	3.6	6.8%	-13.9%
Media	250.5	6.8	10.3%	-15.8%
DE	57.9	3.7	4.42%	7.2%

De los valores contenidos en las tablas 3 y 5, se observa una alta variabilidad inter-sujeto en los tiempos límite analizados (77.8 ± 13.8 minutos, CV = 17.7%), así como en los valores de [Lact] final (6.8 ± 3.7 mmol/L^{-1}, CV = 54.4%), deriva cardiaca (10.26 ± 4.42 ppm, CV = 43.0%) y disminución de la cadencia de pedaleo (15.84 ± 7.17 rpm, CV = 45.2%). En la ilustración 4 se muestra un ejemplo de la evolución de las variables cardiorrespiratorias, metabólicas y cinemáticas del pedaleo durante la realización de los Tlim.

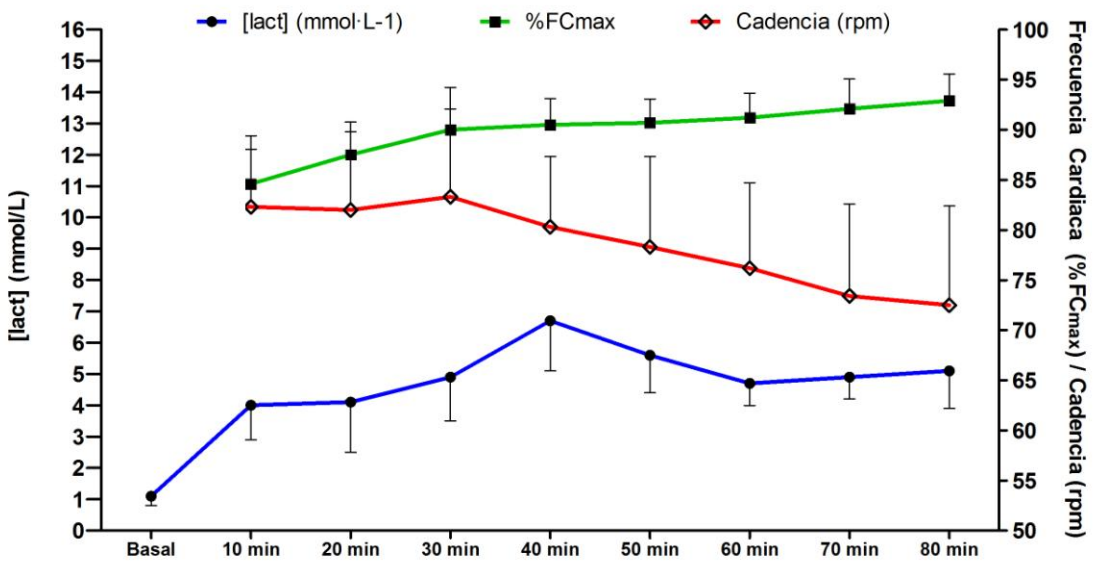


Ilustración 3. Ejemplo de la evolución de las variables cardiorrespiratorias, metabólicas y cinemáticas de pedaleo durante el Tlim a MLSS

En la tabla 6 se muestran los valores comparados en términos porcentuales entre las principales variables fisiológicas analizadas en este estudio

Tabla 6. Relaciones entre variables fisiológicas

Sujeto	MLSS Tlim (min)	MLSS/PAM	MLSS/Promedio Pot.	MLSS/ Pico Pot	PAM/Promedio Pot.	PAM/Pico Pot
S1	73.5	72.7%	42.5%	31.3%	58.4%	43.1%
S2	84.6	65.7%	33.6%	26.5%	51.1%	40.3%
S3	52.8	70.4%	42.3%	35.9%	60.1%	51.0%
S4	80.2	67.3%	36.5%	28.4%	54.3%	42.2%
S5	82.7	66.7%	32.8%	29.5%	49.2%	44.3%
S6	93.1	59.3%	27.8%	21.6%	46.8%	36.5%
Media	77.8	67.0%	35.9%	28.9%	53.3%	42.9%
DE	13.8	4.6%	5.7%	4.8%	5.2%	4.8%

Nota: Promedio Pot: Promedio potencia en Wingate; Pico Pot.: Pico de potencia en Wingate

Con el fin de analizar las posibles relaciones entre la variable dependiente Tlim y el resto de variables estudiadas, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson. Se observaron altas correlaciones positivas entre los valores de Tlim y la

variable Promedio potencia (W/kg) en el test WINGATE (r = .949, p = .004) como se muestra en la ilustración 4.

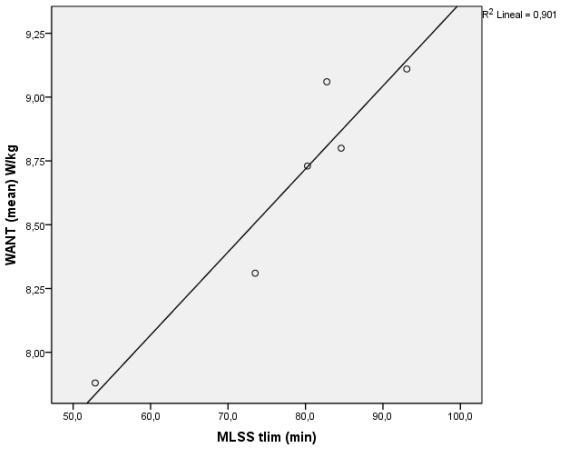
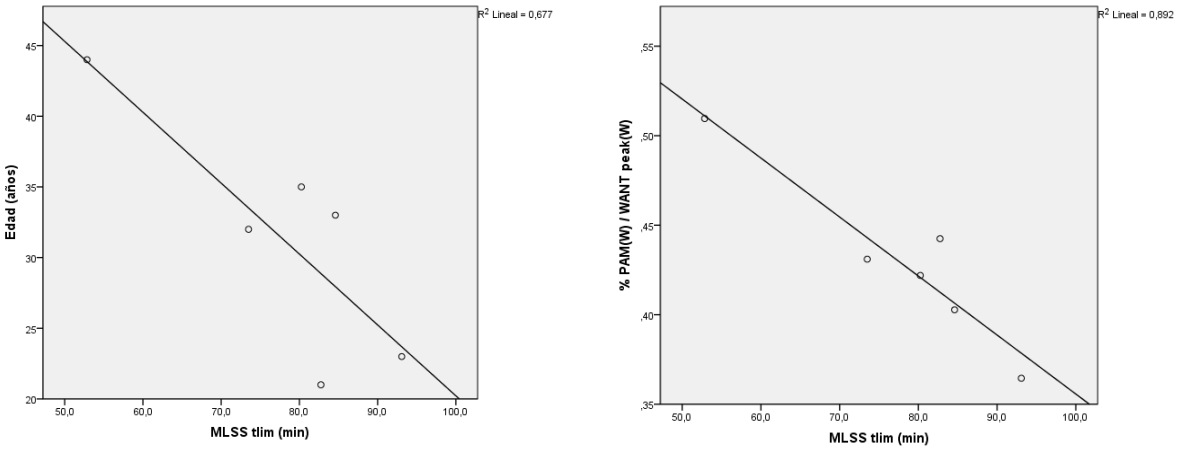


Ilustración 4. Gráficos de dispersión de las variables con correlación directa

Asimismo se encontraron correlaciones inversas altas entre los valores de Tlim y los valores de Edad(años) (r = -.823, p = .044), %PAM/Pico potencia (r = -.944, p = .005), %MLSS/Pico potencia (r = -.942, p = .005), %PAM/Promedio potencia (r = -.894, p =.016) y %MLSS/Promedio potencia (r = -.859, p = .028), valores representados gráficamente en la ilustración 6.



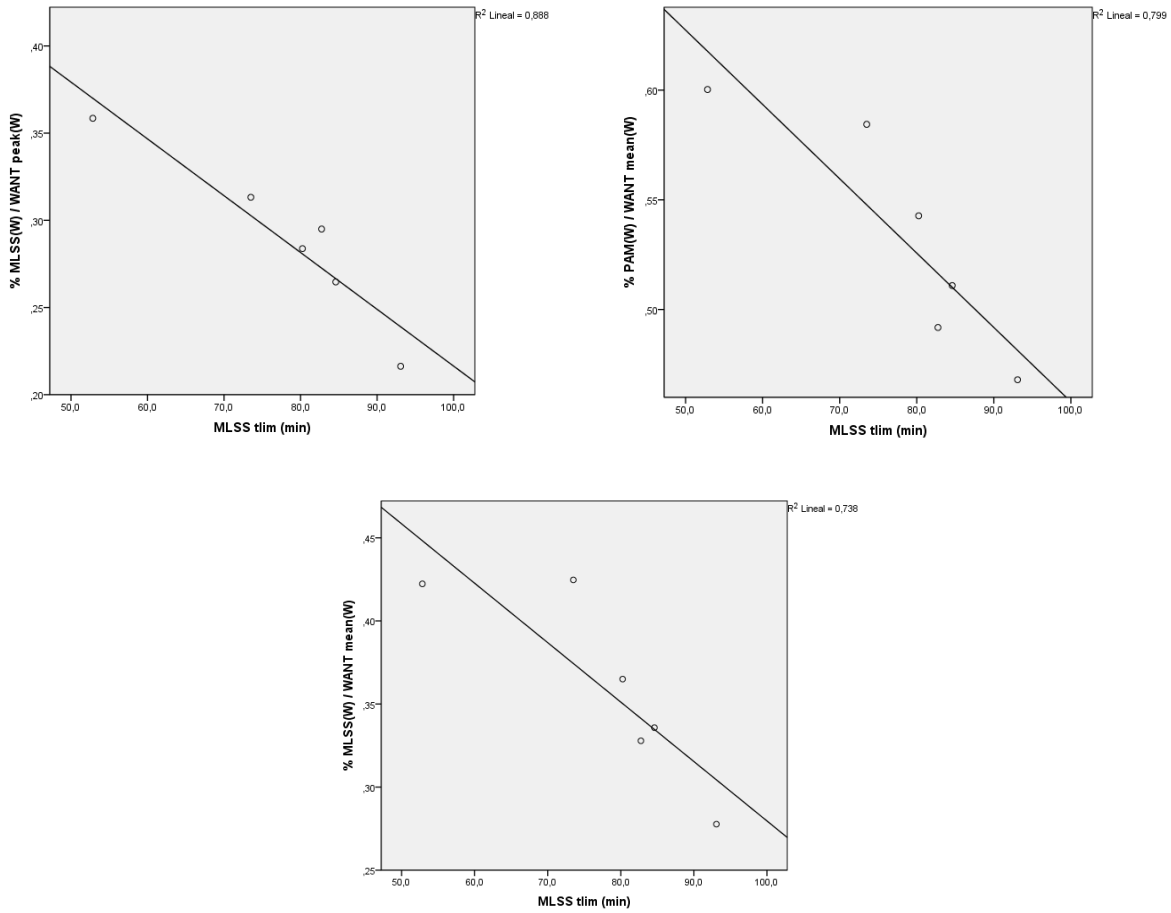


Ilustración 5. Gráficos de dispersión de las variables con correlación inversa

Los resultados encontraron una correlación baja entre los valores de Tlim y la variable Índice de Fatiga (r = .647, p = .165). En la tabla 7 se muestra un resumen de correlaciones y nivel de significación de las variables estudiadas más relevantes.

Tabla 7. Resumen de correlaciones y significación de las variables

VARIABLES	r	p
Test Tlim [Lact] final	-.992	.001
Promedio potencia (W/kg)	.949	.004
% MLSS/Promedio potencia	-.859	.028
% MLSS/Pico potencia	-.942	.005
% PAM/Pico potencia	-.944	.005
% PAM/Promedio potencia	-.894	.016
% MLSS/PAM	-.747	.088

Se realizaron igualmente diferentes análisis de regresión lineal múltiple con la variable Tlim como variable dependiente y con algunas de las variables con correlaciones elevadas como covariables, siendo las variables %MLSS/PAM, Promedio potencia (W/kg) y %MLSS/Pico potencia, las que generaron las ecuaciones con mayor capacidad predictiva. Se concretaron dos ecuaciones diferentes en función de la posibilidad o no de incluir un valor real de MLSS. Estas ecuaciones están descritas en la tabla 8.

Tabla 8. Ecuaciones de predicción de Tlim

ECUACIÓN	R^2	VARIABLES PREDICTORAS
Y = 36.747(X1)-157.634(X2)+17.554(X3)–31.011	1.000	X1 = % MLSS/PAM X2 = % PAM/Pico potencia X3 = Promedio potencia (W/kg)
Y= -146.798(X1)+15.695(Z2)+5.036	.9943	X1 = %PAM/Pico potencia X2 = Promedio potencia (W/kg)

6. DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como objetivo proporcionar información sobre la posible variabilidad biológica de los valores de tiempo límite a intensidad de estado estable de lactato (MLSS), así como encontrar otras variables de rendimiento que permitiesen explicar los resultados de esta variable determinante del rendimiento cardiorrespiratorio. El principal hallazgo de esta investigación fue que existe una notable variabilidad inter-sujeto en los resultados del tiempo hasta la extenuación a intensidad de MLSS. Así mismo, los resultados de este estudio nos indican que algunas variables cardiorrespiratorias y de rendimiento obtenidas de otros test más sencillos y menos costosos, pueden ayudarnos a predecir el Tlim a MLSS de forma precisa y válida.

A tenor de los resultados de Tlim, se confirmó la hipótesis de la existencia de una alta variabilidad entre ellos, de forma similar a la encontrada en estudios anteriores. En este caso los valores de Tlim encontrados (77.8 ± 13.8 minutos), son similares a los descritos en artículos previos, detallados en las tablas 1 y 9 (Dittrich et al., 2014; Legaz-Arrese et al., 2011; y Mendes et al., 2013). Por otro lado, estos resultados difieren respecto a los descritos por otros autores que emplearon metodologías y muestras similares. Así por ejemplo, Baron et al. (2008) publicaron unos tiempos límite más reducidos (55.0 ± 8.5 minutos); Billat et al. (2004) describieron en un diseño cuasi-experimental pre-post, un resultado pre (44 ± 10 minutos) y otro post (63 ± 12 minutos); Fontana et al. (2009) describieron los tiempos límite en función de la actividad deportiva realizada (ciclismo 37.8 ± 8.9 minutos y carrera 34.4 ± 5.4 minutos); Grossl et al. (2012) publicaron para un test Tlim con ejercicio sin interrupción y hasta la extenuación, unos valores promedio de 54.7 ± 10.9 minutos y Santos de Oliveira, et al. (2015) diferenciaron los tiempos límite en función de si los ciclistas tomaron previamente cafeína (70.0 ± 4.1) o bien solo tomaron un placebo (57.0 ± 4.1 minutos).

Los factores que podrían explicar la disparidad en los resultados de las investigaciones pueden ser múltiples: i) composición de las respectivas muestras (sexo, edad, nivel y experiencia deportiva, capacidad volitiva, etc.; ii) los diferentes protocolos de determinación de la intensidad de MLSS; iii) el modo de desplazamiento durante la prueba (carrera, pedaleo o nado). En todo caso, un posible elemento de comparación entre las publicaciones sería el valor de la

potencia a MLSS normalizado por el valor de la PAM. Existen pequeñas diferencias en los criterios de cálculo del valor PAM, pero siempre tienen en cuenta la meseta producida por el consumo máximo de oxígeno a intensidades máximas o próximas a este valor máximo. La existencia o no de esta meseta, permite diferenciar la PAM del valor de potencia pico a intensidades máximas.

Los valores reportados por otros estudios que han analizado el Tlim a intensidad de MLSS están descritos en la tabla 9.

Tabla 9. Intensidades promedio MLSS/PAM (MLSS/$VO2_{max}$)

AUTOR	DEPORTE	MLSSc/$VO2_{max}$c	Tlim
Baron et al., 2008	Ciclismo	71.3 ± 5.2% (%VO2)	55.0 ± 8.5 min
Billat, et al., 2004	Carrera	PRE 82.1 POST 86.8%	PRE 44 ± 10min; POST 63 ± 12min
Dittrich, Naiandra et al., 2014	Carrera	82.0%	68 ± 11 min
Fontana, Piero et al., 2009	Ciclismo y carrera	Ciclismo 62 ± 5%; Carrera 71 ± 4%	Ciclismo 37.8 ± 8.9 min; Carrera 34.4 ± 5.4 min
Grossl, . et al., 2012	Ciclismo	74.3 ± 3.0%	54.7 ± 10.9 min
Legaz-Arrese, et al., 2009	Carrera		V5x2000m 94 ± 21 MLSS 64 ± 15
Mendes et al., 2013	Ciclismo	GR Control 64.3%; GR Entrenamiento 68.5%	GR Control ± 62min; GR Entrenamiento ± 70min
Santos de Oliveira, et al., 2015	Ciclismo	73.0 ± 11.0%	Con cafeína: 70.0 ± 4.1 min Con placebo: 57.0 ± 4.1 min

Nota: Relación entre la carga a intensidad MLSS con la carga intensidad de $VO2_{max}$ (MLSSc/$VO2_{max}$c)

Diferentes teorías no contrastadas científicamente, estiman la duración hasta la extenuación del ejercicio en función de la intensidad de este. La duración real de los tiempos límite de cada hito fisiológico podría ser un elemento de cuantificación real de la carga soportada por los deportistas en sus procesos de entrenamiento.

La literatura científica ha descrito en múltiples trabajos los Tlim a intensidad de consumo máximo de oxígeno en diferentes medio de locomoción (Fernandes y Vilas-Boas, 2012; Laursen, Shing, y Jenkins, 2003; Faina et al., 1997; Morton y Billat, 2000), e incluso a intensidades cercanas a este, determinadas en función de porcentajes del $VO2_{max}$ (Blondel, Berthoin, Billat, y Lensel, 2001; Bergstrom et al., 2012; Billat, Renoux, Pinoteau, Petit, y Koralsztein, 1994ª; Blondel, Berthoin, Billat, y Lensel, 2001; McLellan, Cheung, y Jacobs, 1995; McLellan, Cheung, y Jacobs, 1995; Renoux, Petit, Billat, y Koralsztein, 2000). Todos los trabajos demuestran una gran variabilidad inter-sujeto de este valor Tlim. Así sucede también en los estudios que analizan los Tlim a intensidad de MLSS, con resultados similares a los encontrados en nuestro trabajo.

La gran variabilidad, encontrada de forma generalizada, muestra que la intensidad relativa a la contribución aeróbica no representa la misma intensidad absoluta para todos los sujetos y podría explicar parcialmente la variabilidad en los tiempos límite. En el caso que afecta a este estudio, esa variabilidad se podría representar en términos relativos considerando los valores de consumo máximo de oxígeno a intensidad de MLSS respecto al consumo de oxígeno a intensidad de PAM, tal y como ya definieron Billat, Bernard, et al. (1994). Sin embargo y a tenor de los resultados encontrados, se descarta esta hipótesis. Aunque la correlación inversa obtenida es moderada, los valores de significación impiden que podamos descartar la hipótesis nula ($r = -.747$, $p = .088$). Probablemente estos valores de significación mejorarían con una muestra más amplia.

En relación con la existencia de altas correlaciones encontradas entre los valores de Tlim y las variables relacionadas con los resultados de un test Wingate, (pico de potencia y promedio de potencia del test, considerado este último por la literatura como el valor de intensidad equivalente al de capacidad anaeróbica láctica), autores como Faina et al. (1997) han argumentado que, durante los test hasta la extenuación, la energía es principalmente suministrada por el sistema aeróbico, mientras que el anaeróbico proporciona un suplemento de energía. Cuando la capacidad anaeróbica se agota, la energía en forma de adenosin-trifosfato (ATP), unicamente puede ser proporcionada por vía aeróbica. Dado que esta vía no puede ofrecer ATP en las cantidades requeridas por la intensidad del

ejercicio en cuestión, se produce la extenuación del sujeto y la finalización de la actividad. De esta forma, sujetos con mayor capacidad anaeróbica son, en igualdad de otros factores determinantes del ejercicio, más eficientes y tienen Tlim mayores que otros con menor capacidad anaeróbica. Por otro lado y aunque inicialmente se consideró la posibilidad de que los valores de Tlim correlacionaran con los valores del índice de fatiga, los resultados encontraron una correlación baja entre los valores de Tlim y esta variable ($r = .647$, $p = .165$).

Con el fin de predecir de forma individualizada los tiempos hasta la extenuación, se requiere determinar covariables que permitan predecir con fiabilidad estos valores individuales. En este sentido, el valor de PAM, el de pico de potencia en un test Wingate y el de promedio de potencia en el mismo test, pueden ser importantes para establecer recomendaciones y cuantificaciones del entrenamiento, así como para valorar la carga real soportada por los deportistas de forma individualizada.

Otros valores relevantes hallados como consecuencia de la ejecución de los test Tlim, fue la constatación de un incremento progresivo de los valores de frecuencia cardiaca (tabla 5 e ilustración 3). Esta deriva se produjo manteniendo constante el valor de carga y por tanto, la intensidad del ejercicio. A pesar de que se controló la temperatura ambiental en el laboratorio, que se mantuvo la ventilación mediante el uso de ventiladores y que se permitió la reposición de líquidos at-libitum, la hipertermia progresiva como consecuencia de la actividad física sub-máxima y la posible hipovolemia sufrida a lo largo de los test, habrían conducido a una disminución de la presión arterial media y consecuentemente a una disminución del volumen sistólico que explicarían esta deriva cardiaca (Baron et al., 2008; Wingo, Ganio, y Cureton, 2012).

Asociado a esta deriva cardiaca, los valores de cadencia registraron descensos progresivos durante la celebración de los test Tlim. Especialmente notoria fue la disminución de la cadencia durante los estadios próximos a la extenuación. Una posible explicación para esta involución de la cadencia podría ser la progresiva depleción de las reservas de glucógeno muscular, que implicaría una menor participación de fibras musculares de tipo I (que fundamentalmente utilizan la vía aeróbica de producción de energía), con la consecuente pérdida de eficiencia de

pedaleo. Esta situación de fatiga exigiría un progresivo reclutamiento de fibras más rápidas (IIA y IIB), donde el metabolismo anaeróbico interviene en mayor medida, y que cuentan con mayor capacidad de producción de potencia por unidad de tiempo, siendo por el contrario menos resistentes. Este hecho se uniría al aumento progresivo de la fatiga del sistema nervioso central, producida por el aumento del VO2 y por el descenso paulatino de la saturación de oxígeno en la circulación cerebral.

En conclusión y atendiendo a lo propuesto por Baron et al. (2008), la fatiga extrema que causa el abandono de la actividad física a intensidad de MLSS, ocurre como consecuencia del aumento de la percepción subjetiva de esfuerzo, mientras existen reservas energéticas todavía disponibles. La finalización se produciría por un proceso integrado de control de los sistemas fisiológicos periféricos, con el fin último de asegurar la homeostasis.

El resultado de este estudio demuestra que existe una gran variabilidad inter-sujeto en los tiempos límite a intensidad de MLSS, pero que es posible predecir el tiempo límite a esta intensidad mediante dos ecuaciones de predicción:

La primera, para el supuesto de no querer realizar el costoso y logísticamente complejo test de MLSS, y que incluye las siguientes variables independientes:

- Promedio potencia (W/kg)
- %PAM/Pico potencia

La ecuación resultante permite predecir el 99.4% de la varianza de la variable dependiente Tlim.

La segunda, en la que se incluye el valor real de la intensidad a MLSS, incluye como variables dependientes:

- %MLSS/PAM
- Promedio potencia (W/kg)
- %PAM/Pico potencia

En este supuesto la ecuación resultante permite predecir el 100% de la varianza de la variable dependiente Tlim.

7. CONCLUSIONES

En base a las hipótesis planteadas para este Trabajo Final de Master se formulan a continuación las conclusiones generales:

Hipótesis 1ª: *Existe una alta variabilidad inter-sujeto en los valores de* Tlim *a intensidad constante equivalente a la de MLSS*.

Esta hipótesis queda corroborada una vez confirmada la alta variabilidad encontrada entre los valores de tiempo límite, obtenidos por la comparación inter-sujeto (77.8 ± 13.8 minutos).

Hipótesis 2ª: *Existen diferentes variables cardiorrespiratorias que permiten predecir los tiempos límite a intensidad de MLSS, como son, la potencia aeróbica máxima, el índice de fatiga obtenido de un test Wingate y los valores de potencia anaeróbica láctica.*

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se descarta la existencia de correlación entre los valores de índice de fatiga y los valores obtenidos en los tiempos límite a intensidad de MLSS, dada la relativamente baja correlación encontrada (r = .647) y su baja significación (p = .165). Sin embargo, se encontraron correlaciones altas entre los valores de Tlim y los valores de promedio potencia en términos relativos (W/kg), (r = .949, p = .004), %MLSS/Pico potencia (r = -.942, p = .005), y %PAM/Pico potencia (r = -.944, p = .005) obtenidos en el test Wingate. Combinando estas y otras variables, se encontraron ecuaciones de predicción del valor de Tlim capaces de predecir hasta el 100% de su varianza.

La existencia de esta correlación permite a los entrenadores usar los valores de potencia de un test Wingate y de un test incremental máximo, como herramienta sencilla y con altos niveles de validez para la predicción de los valores de tiempo límite a intensidad de MLSS.

8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Aunque pensamos que el presente estudio aporta datos interesante sobre la variabilidad del tiempo límite, somos conscientes por otro lado que presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados y de plantear futuros estudios.

1. Muestra: La muestra es insuficiente y genera valores poco robustos en cuanto a la potencia de las pruebas (Button et al., 2013). Es necesario ampliar la muestra para poder realizar un estudio con resultados que cuente con posibilidades de ser publicados. Este tamaño muestral reducido puede haber tenido un efecto especialmente notable sobre los resultados de las ecuaciones de regresión múltiple, arrojándonos valores de capacidad predictiva excesivamente elevados.
2. Sexo: En el estudio sólo han participado varones, por lo que resulta necesario confirmar o refutar estos hallazgos en mujeres ciclistas bien entrenadas.
3. Nivel de rendimiento: Los participantes en este estudio poseían un nivel de rendimiento muy concreto, lo cual no hace extrapolable los resultados obtenidos a otra población con un nivel competitivo superior o inferior a la del estudio.
4. Modalidad deportiva y modo de desplazamiento: estos hallazgos pueden y deben contextualizarse exclusivamente en el gesto técnico del pedaleo, siendo necesario confirmar los resultados en otros modos de desplazamiento que involucran otros grupos musculares y/o tipos de contracción, como la carrera a pie, el nado o el paleo.
5. Por circunstancias técnicas sobrevenidas con el instrumental de calorimetría indirecta no fue posible medir de forma directa el consumo máximo de oxígeno. Esta carencia impidió determinar con absoluta certeza el valor de potencia aeróbica máxima y diferenciarlo del valor de potencia aeróbica pico. Este hecho pudo generar alguna distorsión en los cálculos de intensidades sobre los valores de potencia aeróbica máxima. Es imprescindible este valor en la realización de futuros trabajos de investigación.
6. Sería igualmente aconsejable valorar de forma subjetiva el grado de fatiga experimentado por los sujetos (RPE), con el fin de poder valorar la proximidad de la aparición de la extenuación en los mismos durante la realización de los test.

7. Por último, sería conveniente confirmar la variabilidad intra-sujeto mediante la repetición de los test *Tlim* a todos los sujetos de forma repetida.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, W. K., Seals, D. R., Hurley, B. F., Ehsani, A. A., & Hagberg, J. M. (1985). Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology, 58*(4), 1281-1284.

Astrand, P. O. (1976). Quantification of exercise capability and evaluation of physical capacity in man. *Progress in Cardiovascular Diseases, 19*(1), 51-67. doi:10.1016/0033-0620(76)90008-6

Astrand, P. O., & Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology, 7*(2), 218-221.

Bacon, L., & Kern, M. (1999). Evaluating a test protocol for predicting maximum lactate steady state. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 39*(4), 300-308.

Baldari, C., & Guidetti, L. (2000). A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*(10), 1798-1802. doi:10.1097/00005768-200010000-00022

Bar-Or, O., Dotan, R., & Inbar. (1977). A 30-second all out ergometric test. Its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal of Medical Sciences, 13*, 1.

Baron, B., Noakes, T. D., Dekerle, J., Moullan, F., Robin, S., Matran, R., & Pelayo, P. (2008). Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *British Journal of Sports Medicine, 42*(10), 828-833. doi:10.1136/bjsm.2007.040444

Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady-state in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 27*(6), 863-867.

Beneke, R. (2003). Maximal lactate steady state concentration (mlss): Experimental and modelling approaches. *European Journal of Applied Physiology, 88*(4-5), 361-369. doi:10.1007/s00421-002-0713-2

Beneke, R., Hutler, M., & Leithauser, R. M. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*(6), 1135-1139. doi:10.1097/00005768-200006000-00016

Beneke, R., Leithauser, R. M., & Hutler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine, 35*(3), 192-196. doi:10.1136/bjsm.35.3.192

Beneke, R., & vonDuvillard, S. P. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 28*(2), 241-246. doi:10.1097/00005768-199602000-00013

Bergstrom, H. C., Housh, T. J., Zuniga, J. M., Camic, C. L., Traylor, D. A., Schmidt, R. J., & Johnson, G. O. (2012). Estimated times to exhaustion and power outputs at the gas exchange threshold, physical working capacity at the rating of perceived exertion threshold, and respiratory compensation point. *Applied Physiology Nutrition and*

Metabolism-Physiologie Appliquee Nutrition Et Metabolisme, 37(5), 872-879. doi:10.1139/h2012-057

Billat, V., Bernard, O., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994). Time to exhaustion at vo2max and lactate steady-state velocity in sub elite long-distance runners. *Archives Internationales De Physiologie De Biochimie Et De Biophysique, 102*(3), 215-219. doi:10.3109/13813459409007541

Billat, V., Dalmay, F., Antonini, M. T., & Chassain, A. P. (1994). A method for determining the maximal steady-state of blood lactate concentration from 2 levels of submaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 69*(3), 196-202. doi:10.1007/bf01094788

Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994a). Times to exhaustion (times limit) at 90.100 and 105 percent of vo-2 max in 16 elite long distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 26*(5 SUPPL.), S106-S106.

Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994b). Times to exhaustion at 100-percent of velocity at vo2max and modeling of the time-limit velocity relationship in elite long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 69*(3), 271-273. doi:10.1007/bf01094801

Billat, V., Sirvent, P., Lepretre, P. M., & Koralsztein, J. P. (2004). Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *Pflugers Archiv-European Journal of Physiology, 447*(6), 875-883. doi:10.1007/s00424-003-1215-8

Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J. P., & Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state - a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine, 33*(6), 407-426. doi:10.2165/00007256-200333060-00003

Blondel, N., Berthoin, S., Billat, V., & Lensel, G. (2001). Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of vvo(2)max and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. *International Journal of Sports Medicine, 22*(1), 27-33. doi:10.1055/s-2001-11357

Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J. F., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology, 98*(6), 1985-1990. doi:10.1152/japplphysiol.01095.2004

Button, K. S., Ioannidis, J. P. A., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S. J., & Munafo, M. R. (2013). Power failure: Why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience, 14*(5), 365-376. doi:10.1038/nrn3475

de Barros, C. L. M., Mendes, T. T., Mortimer, L., Simoes, H. G., Prado, L. S., Wisloff, U., & Silami-Garcia, E. (2011). Maximal lactate steady state is altered in the heat.

International Journal of Sports Medicine, 32(10), 749-753. doi:10.1055/s-0031-1277191

Dittrich, N., de Lucas, R. D., Beneke, R., & Antonacci Guglielmo, L. G. (2014). Time to exhaustion at continuous and intermittent maximal lactate steady state during running exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 9*(5), 772-776. doi:10.1123/ijspp.2013-0403

Donovan, C. M., & Brooks, G. A. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology, 244*(1), E83-E92.

Faina, M., Billat, V., Squadrone, R., DeAngelis, M., Koralsztein, J. P., & DalMonte, A. (1997). Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 76*(1), 13-20. doi:10.1007/s004210050207

Fernandes, R. J., & Paulo Vilas-Boas, J. (2012). Time to exhaustion at the vo2max velocity in swimming: A review. *Journal of Human Kinetics, 32*, 121-134.

Fernandez-Elias, V. E., Martinez-Abellan, A., Maria Lopez-Gullon, J., Moran-Navarro, R., Pallares, J. G., De la Cruz-Sanchez, E., & Mora-Rodriguez, R. (2014). Validity of hydration non-invasive indices during the weightcutting and official weigh-in for olympic combat sports. *Plos One, 9*(4). doi:10.1371/journal.pone.0095336

Fontana, P., Boutellier, U., & Knoepfli-Lenzin, C. (2009). Time to exhaustion at maximal lactate steady state is similar for cycling and running in moderately trained subjects. *European Journal of Applied Physiology, 107*(2), 187-192. doi:10.1007/s00421-009-1111-9

Grossl, T., de Lucas, R. D., de Souza, K. M., & Antonacci Guglielmo, L. G. (2012). Time to exhaustion at intermittent maximal lactate steady state is longer than continuous cycling exercise. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism-Physiologie Appliquee Nutrition Et Metabolisme, 37*(6), 1047-1053. doi:10.1139/h2012-088

Inbar, O., Rotstein, A., Jacobs, I., Kaiser, P., Dlin, R., & Dotan, R. (1983). The effects of alkaline treatment on short-term maximal exercise. *Journal of Sports Sciences, 1*(2), 95-104.

Ivy, J. L., Withers, R. T., Vanhandel, P. J., Elger, D. H., & Costill, D. L. (1980). Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology, 48*(3), 523-527.

Jarraya, M., Chtourou, H., Aloui, A., Hammouda, O., Chamari, K., Chaouachi, A., & Souissi, N. (2012). The effects of music on high-intensity short-term exercise in well trained athletes. *Asian journal of sports medicine, 3*(4), 233-238.

Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine, 29*(6), 373-386. doi:10.2165/00007256-200029060-00001

Laursen, P. B., Shing, C. M., & Jenkins, D. G. (2003). Reproducibility of the cycling time to exhaustion at vo(2)peak in highly trained cyclists. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee, 28*(4), 605-615.

Legaz-Arrese, A., Carranza-Garcia, L. E., Serrano-Ostariz, E., Gonzalez-Rave, J. M., & Terrados, N. (2011). The traditional maximal lactate steady state test versus the 5 x 2000 m test. *International Journal of Sports Medicine, 32*(11), 845-850. doi:10.1055/s-0031-1283178

MacIntosh, B. R., Esau, S., & Svedahl, K. (2002). The lactate minimum test for cycling: Estimation of the maximal lactate steady state. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee, 27*(3), 232-249.

Margaria, R., Mangili, F., & Cerretelli, P. (1964). Balance + kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *Journal of Applied Physiology, 19*(4), 623-&.

Markov, G., Spengler, C. M., Knopfli-Lenzin, C., Stuessi, C., & Boutellier, U. (2001). Respiratory muscle training increases cycling endurance without affecting cardiovascular responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology, 85*(3-4), 233-239. doi:10.1007/s004210100450

McLellan, T. M., Cheung, S. S., & Jacobs, I. (1995). Variability of time to exhaustion during submaximal exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee, 20*(1), 39-51.

McLellan, T. M., & Jacobs, I. (1993). Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 67*(2), 125-131. doi:10.1007/bf00376655

Mendes, T. T., Fonseca, T. R., Ramos, G. P., Wilke, C. F., Torres Cabido, C. E., Monteiro De Barros, C. L., . . . Garcia, E. S. (2013). Six weeks of aerobic training improves vo2max and mlss but does not improve the time to fatigue at the mlss. *European Journal of Applied Physiology, 113*(4), 965-973. doi:10.1007/s00421-012-2501-y

Mora-Rodriguez, R., Garcia Pallares, J., Lopez-Samanes, A., Fernando Ortega, J., & Fernandez-Elias, V. E. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *Plos One, 7*(4). doi:10.1371/journal.pone.0033807

Moran, R. J. (2014). *Validez y reproducibilidad de umbrales ventilatorios y lácticos.* (Master Work), Murcia, Murcia (Spain).

Morton, R. H., & Billat, V. (2000). Maximal endurance time at vo2max. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*(8), 1496-1504. doi:10.1097/00005768-200008000-00020

Noakes, T. D., Gibson, A. S., & Lambert, E. V. (2005). From catastrophe to complexity: A novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during

exercise in humans: Summary and conclusions. *British Journal of Sports Medicine, 39*(2), 120-124. doi:10.1136/bjsm.2003.010330

Pallares, J., & Morán-Navarro, R. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport and Health Research, 4*((2)), 119-136.

Palmer, A. S., Potteiger, J. A., Nau, K. L., & Tong, R. J. (1999). A 1-day maximal lactate steady-state assessment protocol for trained runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 31*(9), 1336-1341. doi:10.1097/00005768-199909000-00016

Parkhouse, W. S., & McKenzie, D. C. (1984). Possible contribution of skeletal-muscle buffers to enhanced anaerobic performance - a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 16*(4), 328-338.

Popowski, L. A., Oppliger, R. A., Lambert, G. P., Johnson, R. F., Johnson, A. K., & Gisolfi, C. V. (2001). Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33*(5), 747-753.

Renoux, J. C., Petit, B., Billat, V., & Koralsztein, J. P. (2000). Calculation of times to exhaustion at 100 and 120% maximal anerobic speed. *Ergonomics, 43*(2), 160-166. doi:10.1080/001401300184530

Santos, R. Alves, R. Turnes, T. Guilherme, L. Beneke, R. & Caputo, F. (2015). Caffeine Affects Time to Exhaustion and Substrate Oxidation during Cycling at Maximal Lactate Steady State. *Nutrients, 7*, 5254-5264. doi: 10.3390/nu7075219

Schnabel, A., Kindermann, W., Schmitt, W. M., Biro, G., & Stegmann, H. (1982). Hormonal and metabolic consequences of prolonged running at the individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine, 3*(3), 163-168. doi:10.1055/s-2008-1026082

Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine, 2*(3), 160-165. doi:10.1055/s-2008-1034604

Storer, T. W., Davis, J. A., & Caiozzo, V. J. (1990). Accurate prediction of vo2max in cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 22*(5), 704-712. doi:10.1249/00005768-199010000-00024

Tegtbur, U., Busse, M. W., & Braumann, K. M. (1993). Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 25*(5), 620-627.

Vincent, W. J. (2005). Statistics in kinesiology (3rd edition ed.). EEUU: Human Kinetics.

Wasserman, K., & McIlroy, M. B. (1964). Detecting threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology, 14*(6), 844-&. doi:10.1016/0002-9149(64)90012-8

Wingo, J. E., Ganio, M. S., & Cureton, K. J. (2012). Cardiovascular drift during heat stress: Implications for exercise prescription. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 40*(2), 88-94. doi:10.1097/JES.0b013e31824c43af

10. ANEXOS

ANEXO 1

Informe favorable del comité de bioética de la Universidad de Murcia

UNIVERSIDAD DE MURCIA | Vicerrectorado de Investigación

Comisión de Ética de Investigación

CAMPUS MARE NOSTRUM

INFORME DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Jaime Peris Riera, Catedrático de Universidad y Secretario de la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia

CERTIFICA:

Que D. Jesús García Pallarés ha presentado el proyecto de investigación titulado *"Estudio de los tiempos límite en esfuerzos a intensidad constante sobre los principales hitos fisiológicos de la vía aeróbica y anaeróbica"*, a la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia.

Que dicha Comisión analizó toda la documentación presentada, y de conformidad con lo acordado el día 2 de diciembre de 2014[1], por unanimidad, se emite INFORME FAVORABLE.

Y para que conste y tenga los efectos que correspondan, firmo esta certificación, con el visto bueno del Presidente de la Comisión, en Murcia a 2 de diciembre de 2014.

Vº Bº
EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN
DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Fdo.: Antonio Juan García Fernández

ID: 1016/2014

[1] A los efectos de lo establecido en el art. 27.5 de la Ley 30/1992 de 26 de noviembre de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del P.A.C. (B.O.E. 27-11), se advierte que el acta de la sesión citada está pendiente de aprobación

ANEXO 2

Cuestionario de aptitud física - PAR-Q

DATOS PERSONALES

Apellidos_____ Nombre_____
Fecha de nacimiento_____ Sexo_____ Teléfono_____
Dirección_____ Ciudad_____ CP_____
Email_____
En caso de emergencia, contactar con:
Nombre_____ Parentesco_____
Teléfono/s_____ _____

Los datos que a continuación se solicitan son estrictamente confidenciales. Sólo serán utilizados para el desarrollo de los programas de entrenamiento más convenientes en base a su situación personal y nivel de salud, adecuando los niveles de progresión de los mismos. Se ruega que comuniquen las posibles variaciones que puedan surgir a lo largo del programa. En cualquier momento, podrá rectificar o eliminar toda la información que nos ha proporcionado.

PAR-Q

Si tiene pensado llevar una vida físicamente mucho más activa, empiece contestando las siete preguntas del cuadro siguiente. Si tiene entre 15 y 69 años, el PAR-Q le dirá si debe ir al médico antes de empezar.
Si tiene más de 69 y no suele ser muy activo, acuda al médico. El sentido común es la mejor guía para contestar a estas preguntas. Por favor, lea las preguntas con cuidado y conteste con honradez SÍ o NO.

	SI	NO
¿Le ha dicho alguna vez un médico que tiene una enfermedad del corazón y le ha recomendado realizar actividad física solamente con supervisión médica?		
¿Nota dolor en el pecho cuando práctica alguna actividad física?		
¿Ha notado dolor en el pecho en reposo durante el último mes?		
¿Ha perdido la conciencia o el equilibrio después de notar sensación de mareo?		
¿Tiene algún problema en los huesos o articulaciones que podría empeorar a causa de la actividad física que se propone a realizar?		
¿Le ha prescrito su médico medicación arterial o para algún problema de corazón (p. ej., diuréticos)?		
¿Está al corriente, ya sea por su propia experiencia o por indicación de un médico, de cualquier otra razón que le impida hacer ejercicio sin supervisión médica?		

Si ha contestado SI a una o más de las preguntas hable con el médico por teléfono o en persona antes de empezar a ser mucho más activo físicamente o antes de someterse a una evaluación física. Hable al médico del PAR-Q y de las preguntas a las que dio una contestación afirmativa.

- Tal vez pueda hacer cualquier actividad que desee, siempre y cuando empiece lentamente y vaya aumentando de nivel gradualmente. O tal vez necesite restringir las actividades a aquellas que sean seguras para usted. Hable con el médico sobre el tipo de actividades en las que desea participar y siga su consejo.
- Investigue qué programas públicos son seguros y útiles para usted.

Si ha contestado NO honradamente a todas las preguntas del PAR-Q, puede estar razonablemente seguro de poder:

- Empezar a ser mucho más activo físicamente. Empiece lentamente y aumente de forma gradual. Ésta es la forma más segura y sencilla de avanzar.
- Tomar parte en una evaluación de la forma física. Es un medio excelente de determinar su nivel básico de forma física, de modo que pueda planear la mejor estrategia para llevar una vida activa. También es muy recomendable tomarse la tensión arterial. Si la lectura es superior a 144/94, hable con su médico antes de empezar a ser físicamente más activo.

Difiera el aumento de la actividad:

- Si no se siente bien por una enfermedad temporal como un resfriado o fiebre, espere hasta estar mejor.
- Si está o puede estar embarazada, hable con el médico antes de volverse más activa.

Por favor: si su salud cambia de tal forma que contesta SÍ a alguna de las preguntas anteriores, dígaselo al profesional del fitness. Pregúntele si debería cambiar el plan de actividad física.

¡HE LEÍDO, ENTENDIDO Y COMPLETADO ESTE CUESTIONARIO.
HE RESPONDIDO A TODAS LAS PREGUNTAS CON MI APROBACIÓN!

Fecha:
Firma del participante:

De NSCA's Essentials of Personal Training, de Roger W. Earle y Thomas R. Baechle 2004, Champaign, IL: Human Kinetics. Fuente: Physical Activity Readiness Medical Examination (PARmed-X) 1995. Reproducido con autorización de la Canadian Society for Exercise Physiology

ANEXO 3

Consentimiento informado

HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PRUEBA DE RENDIMIENTO

Usted va a realizar una prueba de rendimiento físico sobre un cicloergómetro. En un comienzo, la intensidad será baja y se aumentará la carga en períodos de tiempo iguales, hasta que se obtenga su máximo rendimiento. Durante los estadios de la prueba se le podrá extraer una pequeña muestra de sangre por medio de una punción en el pulpejo del dedo o en el lóbulo de la oreja para el análisis del ácido láctico. Durante estas extracciones se seguirán procedimientos higiénicos con la mayor asepsia posible para evitar la infección de las heridas producidas en la piel. Además, se le monitorizará la frecuencia cardíaca y/o la presión arterial con material adherido a su pecho o fijado con una banda elástica. Igualmente, durante toda la prueba, se podrá monitorizar el intercambio de gases mediante una técnica no invasiva como es la calorimetría indirecta.

Si se observase cualquier signo anormal de fatiga, cambios repentinos en su frecuencia cardíaca o usted experimentase síntomas como mareos o descoordinación, se interrumpiría la prueba. Es importante que sepa que puede suspender la prueba en cualquier momento por sentir fatiga u otras molestias que no fuesen obvias para nosotros. En caso de que se produjera una situación de emergencia, se le trasladaría con la mayor celeridad al hospital más cercano.

La información que usted nos oculte o desvirtúe acerca de síntomas anteriores relacionados con su sistema cardiorrespiratorio en situaciones de esfuerzo físico, puede aumentar el posible riesgo para su salud de esta prueba de rendimiento. Usted deberá informarnos si padece alguna anomalía o enfermedad del sistema cardiorrespiratorio, endocrino-metabólico o músculo-esquelético.

La información acerca de cualquiera de los siguientes síntomas durante la práctica del ejercicio es de vital importancia, y debería comunicárnoslo de inmediato:

- Dificultad respiratoria con bajo nivel de actividad física.
- Dolor o sensación de opresión en el pecho, cuello, mandíbula, espalda o brazos.
- Taquicardias, arritmias o historial familiar de muerte súbita.

Igualmente debe comunicarnos cuáles son los medicamentos que está tomando en los últimos días y especialmente los ingeridos el mismo día de la prueba. Los beneficios que usted podrá obtener con los resultados de esta prueba son el de conocer sus capacidades físicas y su rendimiento deportivo.

Cualquier pregunta o duda que tenga acerca de la prueba, por favor debe hacérnosla saber y se la resolveremos. La información fruto de esta prueba de rendmiento será confidencial y no será revelada a ninguna persona, excepto a su médico y/o entrenador, si usted lo desea. Sin embargo, esta información puede ser usada para análisis estadísticos conservando siempre su anonimato.

ACEPTO voluntariamente realizar la prueba de rendimiento para determinar el nivel de capacidad física y el rendimiento deportivo que ostento actualmente. Entiendo que puedo suspender la prueba en cualquier momento si así lo decidiese. Se me ha ofrecido una copia de esta hoja para quedármela si lo deseo.

He leído y entendido los procedimientos de la prueba de esfuerzo y el riesgo que puede conllevar la misma y he recibido una respuesta satisfactoria a mis preguntas acerca de la misma.

Fecha Nombre y Apellidos

Fecha Nombre y Apellidos del testigo

Firma del participante

Firma del testigo