



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

**Respuestas agudas en 3 protocolos de  
entrenamiento interválico de alta intensidad (High  
Intensity Interval Training/ HIIT), con diferente  
duración de intervalo trabajo/descanso**

Autor:

D. José Manuel García de Frutos

Directores:

Dr. D. Francisco Javier Orquín-Castrillón

Dr. D. Pablo Jorge Marcos-Pardo

Dr. D. Alejandro Martínez-Rodríguez

Murcia, 10 de junio de 2020





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

**Respuestas agudas en 3 protocolos de  
entrenamiento de alta intensidad (High Intensity  
Interval Training/ HIIT), con diferente duración de  
intervalo trabajo/descanso**

Autor:

D. José Manuel García de Frutos

Directores:

Dr. D. Francisco Javier Orquín-Castrillón

Dr. D. Pablo Jorge Marcos-Pardo

Dr. D. Alejandro Martínez-Rodríguez

Murcia, 10 de junio de 2020





# UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

## AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Fco Javier Orquín Castrillón, el Dr. D. Pablo Jorge Marcos Pardo y el Dr.D. Alejandro Martínez Rodríguez como Directores (1) de la Tesis Doctoral titulada “Respuestas agudas en 3 protocolos de entrenamiento interválico de alta intensidad (HighIntensity Interval Training/ HIIT), con diferente duración de intervalo trabajo/descanso” realizada por D. José Manuel García de Frutos en el Departamento de Ciencias de la actividad física y del deporte, autoriza su presentación a trámite dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007,56/2005 y 778/98, en Murcia a 10 de junio de 2020.

Pablo Jorge Marcos-Pardo  
Colegiado COLEF Murcia 52.351

Dr. D. Pablo J. Marcos Pardo

Firmado por Dr.  
MARTINEZ  
RODRIGUEZ  
ALEJANDRO -  
74244305Y el día  
12/06/2020 con un  
certificado  
emitido por AC  
FNMT Usuarios

Fco Javier Orquín Castrillón  
Colegiado COLEF Murcia 13.480

Dr. D. Fco Javier Orquín Castrillón



## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría realizar los agradecimientos de forma cronológica, resaltados por las fases en las que han estado presentes esas personas, que han hecho posible que yo esté escribiendo estas líneas.

Sin duda esa primera persona es el Dr. Enrique Ortega Toro, fue uno de mis primeros profesores en la carrera y el primero que confió en mí para darme la oportunidad de conocer los entresijos de un proyecto científico y lo que era la investigación. Con él hice mi primera comunicación científica y posiblemente sea entrenador de baloncesto también gracias a él. Aunque nuestros caminos se separaron por estar en sitios distintos, él fue esa persona con la que empezó todo, y siempre le estaré agradecido por lo que hizo por mí. Gracias.

La siguiente fue otra de mis primeras profesoras en la carrera, la Dra. Pilar Sainz de Baranda, ya que volvió a confiar en mí y siguió situándome en la senda de la investigación y todo lo que ello supone para un recién licenciado. Perfectamente hubiera elegido su ayuda y conocimiento para seguir formándome en la investigación ya que es de las mejores de este país en su campo, pero tuve que elegir otro camino. Gracias.

Ese otro camino es la UCAM, y es que después de cursar la licenciatura, se convirtió en mi segunda casa, ya que comencé a trabajar allí, en su centro deportivo, en el Ucam Sport Center.

Fue donde entra uno de mis directores y tutor Dr. Francisco Javier Orquín Castrillón, se convirtió en mi jefe en el Ucam Sport Center, y resulta que no solo fue mi profesor en la carrera, también fue la persona que hizo que conociera y practicara el Rugby en dicha universidad. Mi

profesor, mi compañero, mi entrenador y mi jefe, solo quedaba que fuera mi director de tesis.

Él fue quien me puso en esta actividad en su momento tan novedosa en el fitness llamada entrenamiento HIIT. Y solo tuvieron que ir pasando los meses para que ese interés que me habían creado en la investigación me surgiera y me permitiese enamorarme de este método de entrenamiento, para querer iniciar una tesis doctoral. Gracias.

Una de las cosas que sé que ha sido fundamental para el desarrollo de esta tesis son mis otros dos directores, Dr. Pablo Jorge Marcos Pardo, quien me acogió en su grupo de investigación y me dejó todo el material para poder realizar dicha tesis, ya que no disponía de recursos o becas. Siempre estando para mí y convirtiéndose en un amigo. Le debo más de lo que ahora mismo yo sea capaz de entender. Gracias.

Y el tercero, ese que en mi defensa de TFM, fue el que más caña me dio, el que más me apretó y me enseñó en solo un instante. Dr. Alejandro Martínez Rodríguez. Ni él se imagina lo importante y lo agradecido que estoy de haber llegado a conocerlo y de tenerle como director. Si un buen profesor es el que sabe motivar y enseñar, amigo tú conmigo lo has hecho perfecto. Gracias.

Bueno y si no tuviera poca suerte con el equipo de directores que he tenido, pues surge una 4 directora extraoficial. En este caso la Dra. Nieves García de Frutos, mi hermana mayor. Profesora de la universidad de Almería y aunque ella pertenezca a otro campo, su ayuda incondicional, sus consejos y esa motivación de querer llegar a su nivel. Todo un lujo. Gracias.

Sé que no tengo espacio para agradecer a todas las personas que han hecho que hoy vaya a concluir mi doctorado. Pero si tengo que hacer



mención a todos esos usuarios del centro donde he dado HIIT. Gracias a ellos he aprendido lo que es este método de entrenamiento. Si me siento doctor en un futuro, no será por la tesis doctoral, será por las cientos y cientos de personas y cientos y cientos de horas de HIIT que he realizado en estos 4 años. Gracias a ello pude aprender de sus esfuerzos y sus resultados. Gracias a todos vosotros.

Papa, mama algo habréis hecho muy bien para que vuestros dos hijos vayan a ser doctores en sus ramas de conocimiento. Gracias por todo.

Y para terminar dar las gracias a mis amigos, (sois muchos cabrones) compañeros de trabajo, mis enormes karatekas, me habéis motivado de una forma u otra y me ha ayudado.

Lo habéis conseguido, me vais hacer terminar el doctorado. Gracias.

"El que para pierde".





## RESUMEN

**Introducción:** El entrenamiento Interválico de Alta Intensidad o High-Intensity Interval Training (HIIT) se describe como una sucesión de esfuerzos de corta duración y de intensidad máxima o casi máxima, alternados por períodos de recuperación durante los cuales el ejercicio continúa a una menor intensidad (recuperación activa) o se interrumpe (recuperación pasiva). Hay diferentes formas de diseñar una sesión de HIIT que, analizadas por separado, pueden generar una adaptación al entrenamiento similar a nivel metabólico y/o neuromuscular. Sin embargo, conocer las respuestas agudas a los diferentes tipos de una sesión HIIT debe ayudar al entrenador a escoger los protocolos que se ajustan a sus necesidades. En la actualidad, se necesitan más estudios sobre HIIT para prescribir qué tipo de entrenamiento puede lograr las adaptaciones deseadas en diferentes individuos.

**Objetivo:** Valorar las respuestas agudas de tres protocolos HIIT de distintos tiempos de intervalo de trabajo/ descanso sobre el tiempo total de la sesión, con carga auto seleccionable y hasta la extenuación, "all out", en cicloergómetro.

**Método:** La muestra estuvo compuesta por 32 participantes hombres (n=22) y mujeres (n=10) con una edad comprendida entre los 20 y los 45 años. Estudio de cohorte prospectivo, en el que se hizo una comparación del tiempo de los intervalos trabajo y descanso en tres protocolos HIIT distintos. Para seleccionar a los sujetos experimentales se realizó un muestreo intencional opinático. El protocolo HIIT consistió en uno de los tres protocolos HIIT, de 30, 60 y 90 segundos ratio de densidad 1:1 y con descanso pasivo, de una duración total de 10 minutos. La prueba se realizó en cicloergómetro en modo de carga de trabajo independiente de la frecuencia de pedaleo. En todos los protocolos, los sujetos debían seleccionar su intensidad, buscando la máxima intensidad posible en todos los intervalos de trabajo. Los participantes fueron instruidos para permanecer sentados en el cicloergómetro durante la prueba. Se realizaron mediciones del incremento y potencia de altura en el salto CMJ, la concentración de lactato en sangres y la potencia máxima, potencia media y la pérdida de potencia en cada protocolo HIIT.

**Resultados:** Los resultados mostraron que en hombres la variable de la concentración de ácido láctico y de frecuencia cardiaca no tuvieron diferencias significativas en comparación entre los 3 protocolos. En la variable del incremento de la altura en el salto CMJ, no tuvo diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos HIIT protocolo de 30 segundos  $-4,5\pm 3,3$  cm protocolo de 60 segundos  $-3,7\pm 3,6$  cm y protocolo de 90 segundos  $-3,7\pm 3,6$  cm. En la variable del incremento de la potencia en el salto CMJ, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos de 30 segundos  $-2,9\pm 2,5$  w/kg de 60 segundos  $-3,7\pm 3,6$  w/kg y de 90 segundos  $-3,7\pm$  w/kg. En los parámetros físicos de la relación de las potencias, en la variable potencia máxima se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos. Entre el protocolo 30 y 60 y 30 y 90. En la variable de potencia media se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos, 30 y 60 y 30 y 90 y en la variable de potencia perdida se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos y fue entre el protocolo 60 y 90 donde se encontraron las diferencias significativas. En las mujeres los resultados mostraron que la variable de la concentración de ácido láctico y de frecuencia cardiaca no tuvieron diferencias significativas en comparación entre los 3 protocolos. La variable del incremento de la altura en el salto CMJ, no tuvo diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos HIIT el de 30 segundos  $-3,8\pm 2$  cm, el de 60 segundos  $-3,2\pm 1,8$  cm y el de 90 segundos  $-3\pm 1,7$  cm. En la variable del incremento de la potencia en el salto CMJ, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos, el de 30 segundos  $-2,4\pm 1$  w/kg, el de 60 segundos  $-2,4\pm 1,5$  w/kg y el de 90 segundos  $-2,6\pm 1,3$  w/kg. En los parámetros físicos de la relación de las potencias, en la variable potencia máxima no encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos. En la variable de potencia media se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos, entre 30 y 90 y en la variable de potencia perdida no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos.

**Conclusión:** La comparación de los tres protocolos HIIT muestran que la duración de los intervalos de trabajo/descanso, a partir de esfuerzos de 30 segundos de trabajo, en cicloergometro, no permite disminuir los niveles de concentración de lactato en sangre, o de frecuencia cardiaca produciendo una

cantidad similar en los tres protocolos y el % de intensidad alcanzado en cada protocolo HIIT estará relacionado con la duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más largo es el intervalo de trabajo, menor será el % de intensidad alcanzado, con una tendencia, a cuanto mayor tiempo de trabajo menos potencia alcanzará, teniendo en cuenta la naturaleza de esfuerzo máximo tanto en hombres, como en mujeres.

**Palabras clave:** Pérdida de potencia; Concentración lactato en sangre; Estrés máximo; Rendimiento físico.

## ABSTRACT

**Introduction:** High-Intensity Interval Training (HIIT) is described as a succession of short duration and maximum or near-maximum intensity efforts, alternated by recovery periods during which exercise continues at a lower intensity (active recovery) or is interrupted (passive recovery). There are different ways of designing a HIIT session which, when analyzed separately, can generate similar adaptation to training at the metabolic and/or neuromuscular level. However, knowing the acute responses to the different types of HIIT session should help the trainer to choose protocols that fit their needs. Currently, more studies on HIIT are needed to prescribe what type of training can achieve the desired adaptations in different individuals.

**Objective:** To assess the acute responses of three HIIT protocols of different work/rest interval times over the total session time, with self-selectable load and up to "all out" exhaustion, on a cycloergometer.

**Methods:** The sample was composed of 32, males (n=22) and female (n=10) participants between 20 and 45 years old. Prospective cohort study, in which the time of the work and rest intervals were compared in three different HIIT protocols. Intentional opinion sampling was used to select the experimental subjects. The HIIT protocol consisted of one of the three HIIT protocols, 30, 60 and 90 second density ratio 1:1 and passive rest, with a total duration of 10 minutes.

The test was performed in cycloergometer in workload mode independent of the pedaling frequency. In all the protocols, the subjects had to select their intensity, looking for the maximum possible intensity in all the working intervals. Participants were instructed to remain seated on the cycloergometer during the test. Measurements were made of CMJ jump height increase and power, blood lactate concentration and maximum power, average power and power loss in each HIIT protocol.

**Results:** The results showed that in men the variable of lactate concentration and heart rate had no significant differences compared to the 3 protocols. In the variable of height increase in CMJ jump, there were no significant differences when comparing the three protocols HIIT protocol 30 seconds  $-4.5 \pm 3.3$  cm protocol 60 seconds  $-3.7 \pm 3.6$  cm and protocol 90 seconds  $-3.7 \pm 3.6$  cm. In the variable of power increase in the CMJ jump, no significant differences were found when comparing the three protocols of 30 seconds  $-2.9 \pm 2.5$  w/kg of 60 seconds  $-3.7 \pm 3.6$  w/kg and 90 seconds  $-3.7 \pm$  w/kg. In the physical parameters of the power ratio, in the maximum power variable, significant differences were found when the three protocols were compared. Between the protocol 30 and 60 and 30 and 90. Significant differences were found in the mean power variable when the three protocols, 30 and 60 and 30 and 90, were compared. Significant differences were found in the lost power variable when the three protocols were compared and it was between protocol 60 and 90 that the significant differences were found. In women the results showed that the lactic acid concentration and heart rate variable did not have significant differences compared to the three protocols. The variable of height increase in CMJ jump, had no significant differences when comparing the three protocols HIIT the 30 seconds  $-3.8 \pm 2$  cm, 60 seconds  $-3.2 \pm 1.8$  cm and 90 seconds  $-3 \pm 1.7$  cm. For the CMJ jump power increase variable, no significant differences were found when comparing the three protocols, 30-second  $-2.4 \pm 1$  w/kg, 60-second  $-2.4 \pm 1.5$  w/kg and 90-second  $-2.6 \pm 1.3$  w/kg. In the physical parameters of the power ratio, in the maximum power variable they found no significant differences when comparing the three protocols. In the mean power variable, they found significant differences when the three protocols were compared, between 30 and 90 and in the lost



power variable they found no significant differences when the three protocols were compared.

**Conclusion:** The comparison of the three HIIT protocols shows that the duration of the work/rest intervals, from 30 seconds of work, in cycloergometer, does not allow to decrease the levels of lactate concentration in blood, or of heart rate producing a similar amount in the three protocols and the % of intensity reached in each HIIT protocol will be related to the duration of the work intervals, so the longer the working interval, the lower the % intensity reached, with a tendency to the longer working time the less power it will reach, taking into account the nature of maximum effort in both men and women.

**Keywords:** Loss of power; Blood lactate concentration; maximum stress; fitness performance.



## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	23
ÍNDICE DE FIGURAS DE TABLAS Y DE ANEXOS .....	25
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>31</b>
1.1 CONCEPTO, DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL HIIT.....	37
1.1.1. Concepto.....	37
1.1.2. Definición .....	39
1.1.3. Origen .....	41
1.2. CRITERIOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA EN HIIT.....	43
1.3. CLASIFICACIÓN HIIT SEGÚN OBJETIVO VARIABLE.....	47
1.3.1. Por el tiempo del intervalo de trabajo .....	47
1.3.2. Por el tipo de demanda fisiológica .....	47
1.3.3. Por el tipo de ejercicio .....	49
1.4 ADAPTACIONES AGUDAS Y CRÓNICAS CON METODOLOGIA DE ENTRENAMIENTO HIIT .....	51
1.5 VARIABLES DE CONTROL DE LA INTENSIDAD EN LA METODOLOGIA DURANTE EL ENTRENAMIENTO HIIT .....	55
1.5.1. Frecuencia cardíaca.....	57
1.5.2. Consumo de oxígeno .....	63
1.5.3. Lactato .....	69
1.5.4. Escala de esfuerzo percibido .....	77
1.6 ANTECEDENTES .....	85
<b>CAPÍTULO II: HIPOTESIS .....</b>	<b>99</b>
<b>CAPÍTULO III: OBJETIVOS .....</b>	<b>103</b>

<b>CAPÍTULO IV: MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	107
4.1. DISEÑO.....	109
4.2. MUESTRA.....	109
4.2.1. Criterios de inclusión.....	111
4.2.2. Criterios de exclusión.....	111
4.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	113
4.3.1. Variable independiente.....	113
4.3.2. Variable dependiente.....	113
4.4 INSTRUMENTOS.....	115
4.4.1. Evaluación Antropométrica.....	115
4.4.2. Evaluación salto CMJ.....	117
4.4.3. Evaluación respuesta metabólica.....	119
4.4.4. Evaluación frecuencia cardíaca.....	123
4.4.5. Evaluación potencia aeróbica.....	125
4.5 PROCEDIMIENTO.....	127
4.5.1. Primera sesión.....	127
4.5.2. Tercera, cuarta y quinta sesión.....	127
4.5.3. Evaluación respuesta metabólica.....	129
4.5.4. Calentamiento.....	131
4.5.5. Protocolos entrenamiento interválicos de alta intensidad.....	131
4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	133
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS</b> .....	135
5.1 RESULTADOS HOMBRES.....	137
5.1.1. Resultados variables fisiológicas hombres.....	137
5.1.2. Resultados variables físicas hombres.....	139
5.2 RESULTADOS MUJERES.....	145
5.2.1. Resultados variables fisiológicas mujeres.....	145
5.2.2. Resultados variables físicas mujeres.....	147
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN</b> .....	153
6.1. RESPUESTAS AGUDAS FISIOLÓGICAS.....	155
6.1.1. Respuesta aguda concentración de lactato.....	157
6.1.2. Respuesta aguda frecuencia cardíaca.....	161
6.2. RESPUESTAS AGUDAS FÍSICAS.....	165
6.2.1. Respuesta aguda en CMJ.....	165

6.2.2. Respuesta aguda en potencia .....	169
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....</b>	<b>175</b>
<b>CAPÍTULO VIII: LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE</b>	
<b>    INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>181</b>
<b>CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>185</b>
<b>CAPÍTULO X: ANEXOS .....</b>	<b>205</b>



## SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACSM: american college sports medicine

AIT: aerobic intervallic training

ATP: adenosín trifosfato

EEP: escala esfuerzo percibido

CEA: ciclo estiramiento acortamiento

CMJ: counter movement jump

HIIT: high intervallic intermittent training

IMC: índice masa corporal

FC: frecuencia cardíaca

MICT: entrenamiento continuo tradicional

MLS: tasa sostenible de esfuerzo

O<sub>2</sub>: Oxígeno

PAM: potencia aeróbica máxima

PPA: potencia post activación

PPO: porcentaje producción máxima potencia

TT: tiempo total

TTE: tiempo total hasta la extenuación

RST: repeated sprint training

RPE: escala esfuerzo percibido

SIT: sprint interval training

VAM: volumen aeróbico máximo

VO<sub>2</sub>: volumen de oxígeno

VO<sub>2</sub>max: volumen de oxígeno máximo

VT2: umbral anaeróbico ventilatorio 2

W: Potencia en trabajo.



## ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Descripción de los criterios de cuantificación de la carga en un método de entrenamiento HIIT.....	44
Figura 2: Las nueve variables que definen una sesión de HITT.....	45
Figura 3: Relación intensidad entre frecuencia cardíaca res y frecuencia cardíaca máx. en personas sanas.....	62
Figura 4: Valores de VO <sub>2</sub> max orientativos relacionados con la intensidad del esfuerzo .....	68
Figura 5: Zonas de intensidad definidas por la determinación fisiológica del primer y segundo umbral ventilatorio utilizando los equivalentes ventilatorios para O <sub>2</sub> (VT1) y CO <sub>2</sub> (VT2) .....	74
Figura 6: Escalas de esfuerzo percibido según características .....	82
Figura 7: Aplicabilidad de las variables para medir la intensidad en un HIIT ..	84
Figura 8: Test impedancia bioelectrica .....	116
Figura 9: Plataforma de fuerza para test salto CMJ.....	119
Figura 10: Test concentración lactato en sangre.....	121
Figura 11: Analizador frecuencia cardíaca .....	124
Figura 12: Cicloergómetro utilizado.....	126
Figura 13: Procedimiento sesión de medición .....	127
Figura 14: Esquema general del diseño del estudio .....	130

Figura 15: Diseño de la tercera, cuarta y quinta sesión.....	132
Figura 16: Comparación potencia máxima desarrollada en diferentes protocolos HIIT en hombres .....	134
Figura 17: Comparación potencia media desarrollada en diferentes protocolos HIIT en hombres .....	135
Figura 18: Comparación potencia media perdida en diferentes protocolos HIIT en hombres.....	136
Figura 19: Desarrollo de la intensidad de los diferentes protocolos HIIT en hombres.....	140
Figura 20: Comparación potencia máxima desarrollada en diferentes protocolos HIIT en mujeres .....	141
Figura 21: Comparación potencia media desarrollada en diferentes protocolos HIIT en mujeres .....	142
Figura 22: Comparación potencia media perdida en diferentes protocolos HIIT en mujeres .....	150
Figura 23: Desarrollo de la intensidad de los diferentes protocolos HIIT en mujeres .....	151

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas en entrenamiento de HIIT con diferentes protocolos .....	86
Tabla 2: Características de la muestra del estudio.....	112
Tabla 3: Características antropométricas del grupo experimental del estudio en hombres .....	137
Tabla 4: Resultados de los parámetros fisiológicos de la intervención en hombres, concentración de lactato y frecuencia cardiaca media .....	138
Tabla 5: Resultados de los parámetros físicos de la intervención en el incremento de altura en salto CMJ e incremento de potencia en salto CMJ en hombres .....	139
Tabla 6: Características antropométricas del grupo experimental del estudio en mujeres.....	145
Tabla 7: Resultados de los parámetros fisiológicos de la intervención en mujeres.....	146
Tabla 8: Resultados de los parámetros físicos de la intervención en el incremento de altura en salto CMJ e incremento de potencia en salto CMJ en mujeres.....	147



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Consentimiento informado .....	207
Anexo 2: Documento informativo para sujetos sometidos a estudios.....	209
Anexo 3: Comité de ética.....	112
Anexo 4: Declaración Strobe .....	214



# I - INTRODUCCIÓN





## I – INTRODUCCIÓN

El entrenamiento Interválico de Alta Intensidad o High-Intensity Interval Training (HIIT) se describe como una sucesión de esfuerzos de corta duración y de intensidad máxima o casi máxima, alternados por períodos de recuperación durante los cuales el ejercicio continúa a una menor intensidad (recuperación activa) o se interrumpe (recuperación pasiva) (Dorado, Sanchis-Moysi, y Calbet, 2004).

La fundamentación teórica del entrenamiento interválico se basa en que la alternancia de los períodos de trabajo a alta intensidad con los de descanso, ayuda a aumentar el tiempo de trabajo a alta intensidad en comparación con la que sería capaz de conseguir el deportista en un trabajo continuo a la misma intensidad. Este método permite lograr un aumento de volumen de entrenamiento a intensidades más elevadas (Laurson, 2010) que necesitan al máximo el sistema cardiorrespiratorio y permiten ejercitarse a mayor potencia de trabajo en comparación con el entrenamiento continuo (Billat, et al. 2000).

Los criterios que se suelen emplear para caracterizar los estímulos que suponen una sesión de entrenamiento HIIT son: el tiempo en consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) o próximos ( $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ), el tiempo total de trabajo hasta la extenuación (TTE) o la potencia crítica desarrollada, como parámetros relacionados con la estimulación neuromuscular y la eficiencia del entrenamiento (Buchheit, 2013). Se ha planteado que alcanzar el  $VO_{2max}$  o

porcentajes próximos durante la sesión de entrenamiento es un estímulo óptimo para estresar al máximo el sistema de transporte de O<sub>2</sub> y generar adaptaciones beneficiosas para aumentar el VO<sub>2</sub>máx (Laursen, Jenkins, 2002).

Por ello, es necesario determinar el nivel de sollicitación del VO<sub>2</sub>máx o el de potencia crítica y la duración de la mismas en diferentes diseños de entrenamiento (Billat, et al. 2000)

Hay diferentes formas de diseñar una sesión de HIIT, que pueden generar una adaptación al entrenamiento similar a nivel metabólico y/o neuromuscular. Sin embargo, conocer las respuestas agudas a los diferentes tipos de una sesión HIIT debe ayudar al entrenador a escoger los protocolos que se ajustan a sus necesidades (Buchheit, 2013). En la actualidad, se necesitan más estudios sobre HIIT para prescribir que tipo de entrenamiento puede lograr las adaptaciones deseadas en diferentes individuos (Laursen, Jenking, 2002; Libicz, Roels y Millet, 2005; Smith et al., 2009).

Es necesario optimizar la relación entre las variables de intensidad, duración, número de intervalos de carga, duración y modo (activa o pasiva) de la recuperación ya que, a medida que se repiten intervalos de carga máximas, el metabolismo que se encarga de aportar la energía necesaria en la siguiente carga va a estar predeterminado por la duración e intensidad de la precedente, así como de la duración de la pausa (Billaut, y Bishop, 2009).

Por otro lado, muchas actividades deportivas se caracterizan por esfuerzos de corta duración y de intensidad máxima o casi máxima alternados por períodos

de recuperación (Buchheit, 2013). Por eso, en diversas especialidades se utiliza el método interválico como entrenamiento específico para el aumento de rendimiento (Christmass, Dawson y Arthur, 1999). Por ello, conocer el efecto del tipo de protocolo de diferentes tiempos de trabajo/descanso sobre la demanda de una sesión de entrenamiento interválico puede resultar de interés para otras disciplinas (Baldari, et al., 2004).

Además, el entrenamiento interválico no sólo es un método empleado en el campo del entrenamiento para el rendimiento deportivo, sino que comienza a ser una estrategia recomendada en sujetos sedentarios o en poblaciones con algunos tipos de patologías puesto que, se ha evidenciado, permite adaptaciones fisiológicas beneficiosas para la salud además de no requerir tanto tiempo como el entrenamiento continuo, fomentando la adherencia a la práctica deportiva (Tjønnå, et al., 2008; Tjønnå, et al., 2009; Stensvold, et al., 2010; Cornish, Broadbent, Cheema, 2011; Barlett, et al. 2011).



## 1.1 CONCEPTO, DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL HIIT

### 1.1.1 Concepto

El método de entrenamiento de alta intensidad interválico es conocido por los acrónimos HIIT (High-Intensity Interval Trainng) (Billat, 2001) o HIT (High Intensity Training) (Buchheit, et al., 2009) y otras denominaciones que esconden distintos formatos, como SIT (Sprint Interval Training) RST (Repeated-Sprint Training) o AIT (Aerobic Interval Training) (Tjonna, et al. 2008).

El entrenamiento a intervalos de alta intensidad (HIIT) se ha utilizado para el aumento de la condición física de sujetos activos, (Monteiro, Campos de Oliveira, et al. 2017) sujetos sedentarios (Allen, Higham, Mendham, et al. 2017), sujetos con enfermedades metabólicas crónicas (Zhang, Tong, Qiu, et al. 2017), así como sujetos ancianos (Grace, Herbert, Elliott, et al. 2017) y atletas y deportistas de rendimiento (Buchheit, Laursen, Kuhnle, et al. 2009). El aumento en el uso de este método de entrenamiento es debido a su eficiencia en la generación de energía metabólica y adaptaciones cardiorrespiratorias, que mejoran la condición física de manera similar a la del entrenamiento continuo de intensidad moderada, pero con una duración de sesión de entrenamiento más corta (Zhang, Tong, Qiu, et al. 2017). Ha logrado ser cada vez más popular y es un método de entrenamiento tanto para deportistas, para la mejora del rendimiento en resistencia (Billat, 2001; Laursen, y Jenkins, 2002), como para personas sedentarias o activas, que buscan sus efectos saludables a nivel cardiorrespiratorios y metabólicos (Kemi, y Wisloff, 2010; Gibala et al. 2012; Guirard et al. 2012).

Se ha demostrado que los métodos de entrenamiento tipo HIIT reducen el tiempo invertido en el entrenamiento logrando adaptaciones fisiológicas como, por ejemplo, aumentos en el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) (Hazell, et al. 2010; Astorino et al. 2011), oxidación de grasas (Talanian, et al. 2007; Astorino et al, 2013) mejora de rendimiento en ejercicios cíclico (Hazell, et al. 2010), aumento de sensibilidad a la insulina (Tjonna, et al. 2008) y, en algunos casos, puede producir cambios beneficiosos en la composición corporal (Hazell, Hamilton, Olver, y Lemon, 2014).

Aunque todavía hay considerable controversia acerca de su implementación y efectividad desde la salud pública, ya que el ejercicio de alta intensidad puede no ser factible para un amplio espectro sedentario de la población que puede no tolerar el ejercicio intenso (Personas obesas, problemas cardiacos). Los principales argumentos en contra de HIIT sugieren que socavará la autoeficacia y puede provocar sentimientos desagradables que pueden estar relacionados a su vez con una pobre adherencia al ejercicio (Biddle y Batterham, 2015).

En la mayoría de las revisiones sistemáticas no se informan de lesiones agudas tras entrenamientos con metodología HIIT. Además, la tasa media de adherencia a este tipo de programas de alta intensidad supera el 80%. Entre todos los modelos de entrenamiento tipo HIIT, parece que aquellos programas que tienen una duración igual o superior a 7 semanas, que utilizan unos regímenes de intervalos largos con alto volumen de trabajo, y con frecuencias de entrenamiento de 2-3 sesiones a la semana, provocan mayores beneficios en la salud (Martland, et al., 2019)

Son gran cantidad los estudios en los que se describen los distintos beneficios de los que se caracteriza la realización de una programación HIIT, en su corriente más antigua: los resultados hablan de mejoras en el funcionamiento muscular y vitalidad; aumento del  $VO_2\text{max}$  hasta de un 8%; disminución de la grasa corporal (en porcentaje y/o en Kg); efecto positivo de la utilización de glucosa en ayunas, disminución de la presión arterial sistólica; mejoras en la sensibilidad a la insulina, etc. (Keating et al. 2017; Smith-Ryan, Melvin y Wingfield 2015; Racil et al. 2016; García-Hermoso et al. 2016).

### **1.1.2 Definición**

Se caracteriza por ser un tipo de entrenamiento en el que se realizan repeticiones buscando llegar a alta intensidad seguidos de pausas completas o recuperaciones activas, con la intención de realizar una nueva repetición a la intensidad programada.

Suelen ser series breves de actividad vigorosa, intercaladas con períodos de descanso completo o ejercicios de baja intensidad. Ello hace que se estimule el organismo de una forma drástica y se produzca un reajuste fisiológico. Además de que requiere de una cantidad de tiempo sustancialmente menor y de un menor volumen de ejercicio total (Gibala, 2008).

El entrenamiento a intervalos de alta intensidad (HIIT) puede definirse como combates cortos o largos de ejercicio de alta intensidad (igual o superior a la

velocidad máxima del lactato en estado estacionario) intercalados con períodos de recuperación de ejercicio ligero o descanso (Billat, 2001).

Razonek (2016) lo describe como método de entrenamiento que se compone de períodos repetitivos programados de trabajo utilizando una intensidad alta, seguidos de períodos de recuperación activos (consistentes en trabajo de menor intensidad) o pasivos (descanso de menor intensidad).

Laursen (2002) en cambio, lo define como la alternancia entre períodos de carga intensos (por encima de la intensidad asociada al MLSS) con periodos cortos de recuperación a una intensidad baja o sin actividad.

Este tipo de entrenamiento se considera como un entrenamiento eficiente en el tiempo al necesitar un volumen de entrenamiento menor para conseguir adaptaciones cardiovasculares y musculares similares a otros que requieren un mayor volumen entrenamiento (Stork, et al., 2018; Gillen, y Gibala, 2014).



### 1.1.3 Origen

Su origen data de 1920, Paavo Nurmi, uno de los mejores corredores de media y larga distancia en el mundo en ese momento, ya estaba usando alguna forma de HIIT en sus rutinas de entrenamiento (Buchheit, 2013).

Se popularizó en 1959, cuando fue descrito por primera vez por Reindell y Roskamm y nombrado por ellos a través de las hazañas del reconocido atleta Olímpico, Emil Zatopek quien fue especialista en pruebas de fondo. Destacó por su fuerza y resistencia, así como por la firmeza de su ritmo (Billat, 2001).

A partir de este hecho, diversos autores realizan en décadas posteriores estudios sobre las diferentes respuestas fisiológicas que produce el HIIT en el organismo (Fader, 2013). Aunque no fue hasta los años 60 cuando el fisiólogo Astrand y sus colaboradores despertaron por primera vez el interés de la comunidad científica por “disecionar” este tipo de prácticas desde el laboratorio para indagar sobre sus verdaderos efectos fisiológicos ( $VO_2\text{max}$ ) y sus posibles virtudes en atletas (Buchheit, et al., 2009)

Los fisiólogos del ejercicio tuvieron a lo largo de este periodo gran dificultad para experimentar con los programas de entrenamiento de atletas de élite. Su dificultad desempeñaba en convencerles de la modificación de sus entrenamientos. Aun cuando los deportistas y entrenadores desearan modificar sus entrenamientos, las adaptaciones que produce un cambio de entrenamiento repentino no son de corta duración, sino que hay que dejar un tiempo para que

tengan su efecto en el organismo, por lo que era muy complejo su estudio (Gibala, y McGee, 2008).

Tabata, et al. (1996) Fue el primero que diseñó un estudio buscando las características para comprobar la respuesta de un entrenamiento interválico de alta intensidad. Durante 6 semanas analizó el efecto sobre la capacidad anaeróbica y el volumen de oxígeno máximo ( $VO_2\text{max}$ ) con un experimento con deportistas de rendimiento. El experimento fue con siete patinadores de velocidad. El estudio demostró, que el entrenamiento aeróbico de intensidad moderada mejora la potencia aeróbica máxima y aumenta la capacidad anaeróbica ya que una alta intensidad adecuada para el entrenamiento intermitente puede mejorar la capacidad de energía aeróbica y sus sistemas de suministro de manera significativa, probablemente a través de la imposición de estímulos intensivos en ambos sistemas (Tabata, et al. 1996).

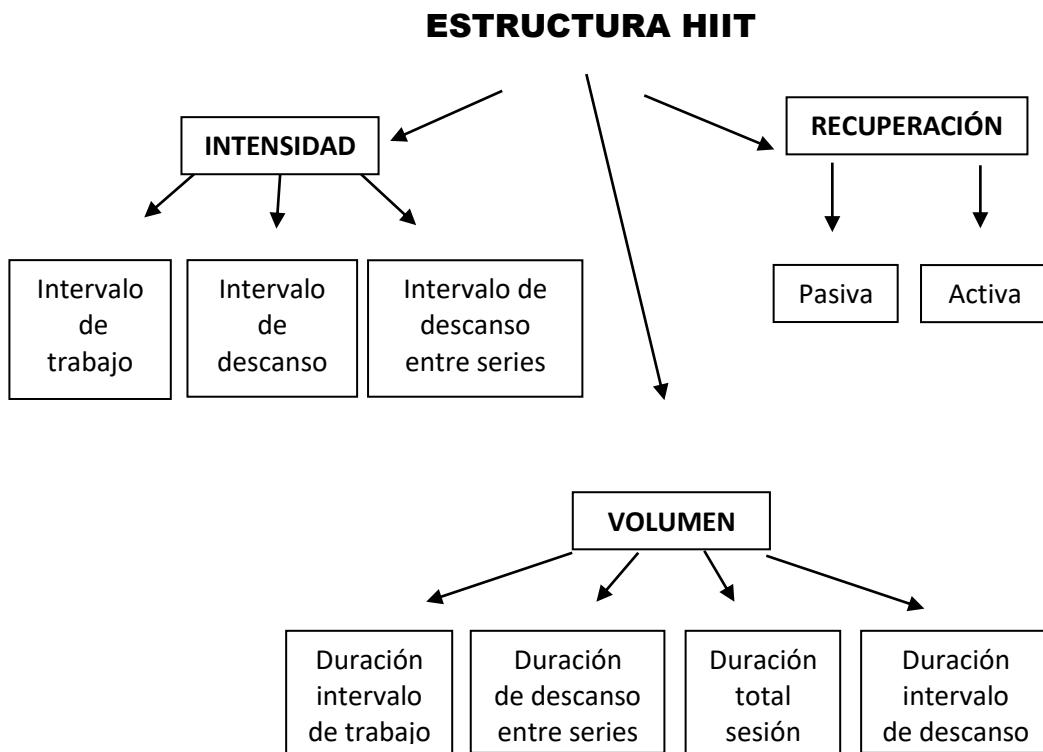
## 1.2 CRITERIOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA EN UN ENTRENAMIENTO HIIT

La prescripción del método de entrenamiento HIIT consiste en la manipulación de cualquiera de las variables de entrenamiento que tienen un efecto directo sobre las adaptaciones fisiológicas del organismo (Buchheit, et al. 2009)

Una de esas variables de entrenamiento es la intensidad, que se entiende como el aspecto cuantitativo de la carga ejecutado en un determinado periodo de tiempo (Bompa, 1983). De este modo, a más trabajo realizado por unidad de tiempo, mayor será la intensidad.

La intensidad de la carga de entrenamiento es el criterio que controla la potencia y la especificidad del estímulo sobre el organismo, o la medida del esfuerzo que comporta el trabajo desarrollado durante el entrenamiento (Bompa, 1983).

El volumen y la intensidad están íntimamente relacionados, condicionándose y relacionándose de manera especial en función de los requerimientos competitivos o los objetivos de entrenamiento. Determinadas modificaciones de la carga (volumen e intensidad) producen efectos positivos, pero en otros casos, este es nulo o negativo (González-Badillo, Izquierdo, y Gorostiaga, 2006).

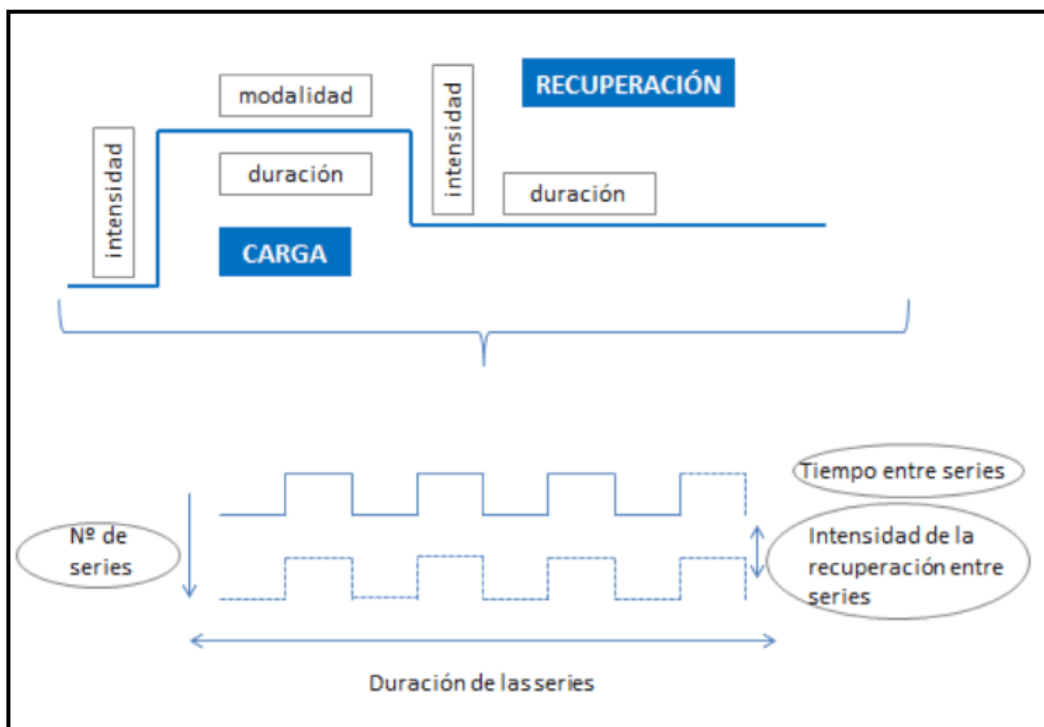


**Figura 1.** Descripción de los criterios de cuantificación de la carga en un método de entrenamiento HIIT. Adaptado de, Laursen, (2013)

Según Buchheit, y Laursen, (2013) las variables de la carga de entrenamiento de la metodología HIIT son:

- Intensidad del intervalo de trabajo.
- Intensidad del intervalo del tiempo de recuperación.
- Intensidad de la recuperación entre series.
- Duración del intervalo de trabajo.
- Duración del intervalo de recuperación entre intervalos.

- Tiempo de recuperación entre series (activo/pasivo)
- Tipo de ejercicio (Cíclicos/a cíclicos)
- Número de intervalos de trabajo.
- Volumen de las series de entrenamiento.



**Figura 2.** Las nueve variables que definen una sesión de HIT. Adaptado de Buchheit, y Laursen, (2013)

Según Maillard et al. (2017) los distintos tipos de componentes de los que debe disponer un HIIT, son:

- Número de repeticiones o tiempo de trabajo por repetición (en función de la intensidad, características del sujeto, deporte y del objetivo a buscar el número de repeticiones va a variar);
- Número de series (al igual que el nº de repeticiones, varía en función de diversos factores)
- Duración de las fases.
- Intensidad entre series (la cual varía en función de objetivos)
- Intensidad máxima de la carga de trabajo; duración máxima de la carga de trabajo (en función de disciplina, ejercicios planteados, objetivos, individualización, etc.)
- Carga de recuperación (para estimarla se podrán utilizar distintos parámetros como frecuencia cardiaca, escala esfuerzo percibido, concentración de lactato, etc.)
- Duración de la recuperación (al igual que la carga de recuperación se determina por diversos factores)

Es de vital importancia conocer el objetivo principal para el que se busca y se utiliza el entrenamiento HIIT, ya que, dependiendo de las necesidades específicas de dicho ejercicio, se podrán modificar las variables con el fin de asimilar las características propias de la actividad física, juego o deporte.

### 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE HIIT SEGÚN EL OBJETIVO DE LA VARIABLE

#### 1.3.1 Por el tiempo del intervalo de trabajo. Buchheit, et al. (2009):

- Intervalos cortos: Intervalos de 10 segundos a 45 segundos de trabajo con una intensidad de 100%  $VO_2$ máx con una recuperación pasiva si el tiempo era por debajo de 30 segundos y activa si el tiempo era por encima de 30 segundos con una duración total de la sesión de 7 minutos a 10 minutos.
- Intervalos largos: Intervalos de 45 segundos en adelante. Normalmente entre 1 y 2 minutos o entre 2 y 3 minutos. Con una intensidad de 90%-100%  $VO_2$ máx y una recuperación, que si es pasiva será por debajo de 3 minutos y si es activa será por encima de 3 minutos. Con una duración total de la sesión de 7 minutos a 10 minutos.
- Intervalos de Sprint repetidos: Máxima intensidad posible durante 4 segundos al máximo  $VO_2$ max posible. Con una recuperación activa, igual o superior a 20 segundos.
- Intervalos de Sprint entrenados: Máxima intensidad posible durante 2 segundos a 5 segundos, o una distancia de 15-40 metros a máxima velocidad con una recuperación superior entre intervalos de 20 segundos.

#### 1.3.2 Por el tipo de demanda fisiológica. Buchheit, y Laursen, (2013):

TIPO I: Predominio principalmente de vías metabólicas aeróbica sin esfuerzo neurológico. Se recomienda para trabajar la potencia aeróbica máxima (PAM).

TIPO II: Predominio principalmente de vías metabólicas aeróbica con esfuerzo neurológico. Se recomienda para trabajar la potencia aeróbica máxima (PAM)

TIPO III: Predominio de vías metabólicas aeróbica y anaeróbicas vías y sin esfuerzo neurológico. Se recomienda para trabajar la potencia aeróbica máxima (PAM) y volumen aeróbico máximo (VAM)

TIPO IV: Predominio de vías metabólicas aeróbica y vías anaeróbicas y con esfuerzo neurológico. Se recomienda para trabajar la potencia aeróbica máxima (PAM) y volumen aeróbico máximo (VAM)

TIPO V: No hay predominio de vías metabólicas aeróbica si más de vías anaeróbicas y algo de esfuerzo neurológico. Se recomienda para trabajar SIT (Intervalos de Sprints repetidos) y RST (Intervalos de Sprints entrenados).

Según Tschakert, y Hofmann, (2013) por el tipo de recuperación en el intervalo de descanso clasifica el HIIT en períodos de descanso completos e incompletos. Ambos métodos se dividen según la intensidad Máxima o submáxima, indicando a su vez los picos de trabajo.

En esta clasificación, dentro de las modalidades extensivas, otros autores destacan o clasifican el ejercicio intermitente. Surgiendo entrenamientos



continuos como son el Fartlek, que fue desarrollado por un entrenador sueco Gösta Holmér en (1981-1983) que consiste en hacer varios ejercicios, tanto aeróbicos como anaeróbicos, principalmente ejercicios de carrera, caracterizados por los cambios de ritmo.

### 1.3.3 Por el tipo de ejercicio:

Modalidad clásica o tradicional: Por ejemplo, la realización de Sprint, o de pedaleo en cicloergómetro (López-Chicharro y Vicente-Campos, 2018; Klika, y Jordan, 2013; Buchheit, y Laursen, 2013; Follador, et al. 2018; Stock, Gibala, y Martin, 2018).

Modalidad no clásica o moderna: Corresponde a la realización de ejercicios con el propio peso corporal y/o con distintos elementos como cuerdas, balones medicinales, etc. buscando estar en niveles de intensidad elevados, con recuperaciones parciales (Klika, y Jordan, 2013; Gillen, y Gibala, 2014; Machado, Barker, Junior, Aylton, y Bocalini, 2017).

Según la corriente no clásica, se observan beneficios en cuanto a aumento de la tasa metabólica, aumento del gasto cardiaco; aumento del  $VO_2\text{max}$ ; mejoras a nivel muscular y mayor adherencia al programa de entrenamiento; (Gist, Freese, y Cureton, 2014; Gist, Fedewa, Dishman, y Cureton, 2014; Halvorson, 2013).

Gist, (2014), comparan la respuesta aguda cardio-respiratoria y metabólica de un HIIT clásico (sprints y bicicleta estática) “vs” ejercicios calisténicos a alta intensidad, con el fin de comparar las respuestas fisiológicas inducidas por ambos. En ambos protocolos se tenían que hacer 4 series de 30 segundos a

máxima intensidad intercaladas de recuperación activa de 4 minutos (4x (3x 30''/240'')). En ellos se observó que la respuesta aguda del %VO<sub>2</sub>pico, % FCmáx pico, respuesta metabólica > 4 mmoles de lactato y la percepción de esfuerzo percibido (RPE) fue similar, pero no equivalente, puesto que para medir la intensidad máxima de los sujetos carecía de fiabilidad al centrarse únicamente en la % FCmáx. Aun así, el potencial de provocar adaptaciones fisiológicas a nivel central y a nivel periférico del protocolo no clásico frente al clásico, son similares.

Actualmente Schaun, Pinto, Silva, Dolinski, y Alberton, (2018), comparan tres tipos de entrenamiento, HIIT tradicional (8 x 20'' al 130% de la VAM), HIIT moderno (Burpees, Mountain climbers, Squat and Trhusts, Jumping jacks) en lugar de tapiz rodante, y por último MICT (entrenamiento continuo tradicional, 30' al 90% FCmax). Los resultados muestran mejoras en los tres grupos tanto en valores de VO<sub>2</sub>max, como en el tiempo hasta el agotamiento en el Umbral Anaeróbico Ventilatorio 2 (VT2), mejoras en la velocidad correspondiente al VT2, indicando que para conseguir las mismas adaptaciones se necesita menor volumen con los protocolos HIIT.

Así mismo hacen hincapié en que el HIIT moderno o calisténico puede ser tan eficaz como un HIIT clásico en cuanto a mejoras fisiológicas e indicadores funcionales de salud.

#### 1.4 RESPUESTAS Y ADAPTACIONES AGUDAS Y CRÓNICAS CON LA METODOLOGIA DE ENTRENAMIENTO HIIT:

Martland, et al. (2019) en una meta-revisión de 33 revisiones sistemáticas comprobó que el método de entrenamiento HIIT en individuos saludables o con trastornos de salud física, obtuvo respuestas al método de gran evidencia, con mejoras en:

Capacidad cardiorrespiratoria en actividades fitness (Incremento del  $VO_2\max$ , mejora del intercambio alveolar). Medidas antropométricas, reducción de los pliegues. Glucosa en sangre y el control glucémico. La conformidad arterial y la función vascular. En la función cardíaca, el ritmo cardíaco y algunos marcadores inflamatorios. En la capacidad de ejercicio y la masa muscular, en comparación personas activas con no activos. En la aptitud física, algunos marcadores inflamatorios y la estructura muscular. Y mejoras en la ansiedad y la depresión en comparación con el pre-entrenamiento.

Según Boucher, (2010) las respuestas o efectos agudos más relevantes y evidentes que suceden durante y tras la realización de esfuerzos tipo HIIT son:

1) Incrementos de la frecuencia cardíaca máxima, que es el número de contracciones ventriculares por minuto efectuadas por el corazón, expresado normalmente en latidos por minuto ( $\text{lat}/\text{min}^{-1}$ ) o pulsaciones por minuto (ppm) o más sencillamente, el número de latidos que el corazón realiza en un minuto, expresado generalmente en ppm.

2) Incrementos de la producción de lactato plasmático. El lactato se libera a la sangre, y puede ser recogido por el hígado que lo vuelve a transformar en glucosa que se derrama a la sangre para que pueda volverse a utilizar como energía por los tejidos, proceso llamado glucogénesis.

3) Incrementos de la producción de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina), hormona del crecimiento, ambos grupos favorecen la lipólisis de los ácidos grasos de los tejidos subcutáneos e intramusculares.

4) Incremento de la producción de cortisol. El cortisol es una hormona esteroidea que interviene en el metabolismo de hidratos de carbono, proteínas y grasas. Estimula la síntesis de glucosa y también causa la reducción moderada del consumo de la misma en las células, elevando la glucemia.

5) Depleción de fosfágenos musculares (ATP, PCr) y almacenes de glucógeno que es la principal forma de almacenamiento de los hidratos de carbono en el cuerpo, el que se forma a partir de la glucosa (azúcar), Es en los músculos y el hígado donde se encuentra almacenado el glucógeno y en el musculo su función consiste en ser una fuente disponible de azúcar (combustible) para el propio músculo.

7) Descenso significativo de la reactivación parasimpática tras el esfuerzo, que es el proceso que hace que el cuerpo tienda a volver a un estado basal. Por lo que se tarda más tiempo en recuperar los factores fisiológicos del organismo.

8) Incremento de la producción de mioquinas. Las mioquinas son péptidos considerados citocinas (también llamadas citoquinas) producidas por el músculo esquelético en respuesta a la actividad física. Y tienen una potente acción antiinflamatoria en el organismo.

Además, la producción hormonal y de metabolitos resultantes influye en los tres aspectos necesarios para el consumo de las grasas como sustrato energético. (Martín, 2016)

- Liberación de los ácidos grasos de los tejidos de almacenamiento.
- Facilitación de los ácidos grasos por el torrente sanguíneo.
- Incremento de la eficacia de la mitocondria favoreciendo el consumo.

Todas estas respuestas serán fundamentalmente dependientes del protocolo específico utilizado en HIIT y especialmente a la intensidad utilizada y el estatus de entrenamiento de los sujetos.

Entendiendo el conjunto de respuestas agudas ante este tipo de esfuerzos intermitentes de alta intensidad, el efecto acumulativo resultante inducirá adaptaciones tanto a nivel central (cardiovascular) como periférico (músculo esquelético). A nivel central la adaptación fundamental será la mejora de la

función y capacidad cardiovascular aeróbica y anaeróbica, motivada especialmente por el incremento del  $\text{VO}_2\text{max}$  (Buchheit, y Laursen, 2013).

### 1.5 VARIABLES DE CONTROL DE LA INTENSIDAD EN LA METODOLOGIA DURANTE EL ENTRENAMIENTO HIIT:

De las principales variables que determinan el estímulo de entrenamiento (volumen, intensidad, frecuencia de entrenamiento, etc.) la intensidad es, probablemente la más importante, pero también la más difícil de controlar. La intensidad del entrenamiento es una variable crítica a tener en cuenta para el deportista de rendimiento, por ello tener un control sobre ella es fundamental para los entrenadores (Gilman, 1996).

La intensidad en los HIIT se ha medido mediante las variables frecuencia cardiaca, consumo de oxígeno, lactato, escala de esfuerzo percibido o la potencia crítica (Borrense, 2009). Las manipulaciones de cualquiera de las variables de entrenamiento pueden afectar a las respuestas fisiológicas agudas resultantes (Buchheit, y Laursen, 2013). La respuesta fisiológica aguda es la que determina en gran medida las adaptaciones particulares del entrenamiento muscular y sistémico (Hawley, 2004; 2008). El grado de estas respuestas fisiológicas agudas está fuertemente influenciado por la prescripción específica del ejercicio único, por lo que hay que tener en cuenta los componentes de intensidad de la carga, la duración del pico de carga y las fases de recuperación en los entrenamientos (Wisløff, 2009).





### 1.5.1 Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca se convierte en un parámetro fundamental para valorar la intensidad de un ejercicio y poder prescribir cargas de entrenamiento (Lucia, et al. 2006). La actividad cardíaca está bajo la influencia del sistema nervioso vegetativo a través de su componente simpático y parasimpático. Las fibras pos ganglionares simpáticas y pre ganglionares parasimpáticas convergen en plexos nerviosos que forman una red en la base del corazón, de forma que la confluencia de las terminaciones nerviosas de los dos sistemas da una idea de su interacción y dependencia (Berne 1979; Levy 1984; Williamson 2010; Michelini 2009). Así en el nódulo sinusal y en el seno auriculo-ventricular, el efecto de la actividad eferente simpática disminuye si el nivel de actividad parasimpática es alto y viceversa. También hay que tener en cuenta que los ganglios autonómicos parasimpáticos están ubicados en el propio órgano efecto (en este caso llevando una información de "retardo o desaceleración" al corazón, a través del nervio vago), mientras que los ganglios simpáticos están en la cadena paravertebral, elevando una información de "activación" al corazón, vasos sanguíneos y medula suprarrenal y regular así esa actividad cardíaca (Berne 1979).

La actividad del sistema nervioso autónomo está regulada por el sistema nervioso central, o por lo que comúnmente se denomina "comando central" (Williamson, 2010), que regula en todo momento la respuesta autónoma sobre el sistema cardiovascular, en función de las necesidades del organismo en cada momento (Williamson, 2010). Son numerosas las adaptaciones que se producen como consecuencia de un mayor nivel de entrenamiento aeróbico, lo que se asocia

a su vez a una mejora en el equilibrio simpático vagal que modifica la actividad eléctrica del corazón. En este sentido, existe una relación inversa entre la condición física y la frecuencia cardíaca en reposo, el peso corporal, el porcentaje de grasa corporal, el colesterol sérico, los triglicéridos, la glucosa y la presión arterial sistólica. Además, el entrenamiento físico aumenta la fracción de lipoproteína de alta densidad del colesterol total (Bumgardner, 2017).

Las adaptaciones que sufre la frecuencia cardíaca con el entrenamiento son:

- Menor frecuencia cardíaca (FC) de reposo (basal), por un mayor predominio vagal en el corazón del deportista, situación alcanzada por una menor activación del sistema nervioso simpático a través de interacciones pre/pos ganglionares en el corazón, y por un menor número de aferencias simpáticas procedentes de los mecanos receptores de los músculos en reposo (Buchheit 2006; Barak 2011; Gladwell 2010)
- Mayor sensibilidad del barorreflejo, para regular las variaciones puntuales de presión arterial como consecuencia de la acción del sistema nervioso simpático (Brack 2009; Raven 2006; Sundaram 2008; Yamamoto 2001)
- Menor frecuencia cardíaca submáxima durante el ejercicio, lo que le permite alcanzar mayores intensidades de trabajo antes de alcanzar su frecuencia cardíaca máxima (frecuencia cardíaca max) (Buchheit et al 2007; Ng 2009; Goldberger 2006)

- Mejora de la acción del sistema nervioso simpatico-adrenergico durante el ejercicio, lo que mejora los mecanismos de retroalimentación, tanto centrales como periféricos y mayor contractilidad del corazón (Chen X 2008; Tune 2004)
- Mejor frecuencia cardiaca recuperación, a los 30 segundos y 1 minuto por la mayor influencia parasimpática (Baris 2009; Imai 1994; Nagashima 2011, Orquín Torres y Ponce de León, 2009)

La frecuencia cardíaca muestra el cambio de dirección hacia arriba o hacia abajo de la relación lineal que existe entre esta y la intensidad del ejercicio durante una prueba de ejercicio incremental (Rhodes, 2000).

La frecuencia cardíaca permite la monitorización de las cargas de trabajo y la optimización, al considerar las características y diferencias interindividuales.

El empleo de la frecuencia cardíaca como indicador de la intensidad está basada en la relación prácticamente lineal que existe entre el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) (Montgomery et al. 2009), la carga de trabajo o potencia mecánica desarrollada y la frecuencia cardíaca a intensidades submáximas (Arts y Kuipers, 1994). No obstante, se ha establecido una relación entre la frecuencia cardíaca,  $VO_{2max}$  e intensidad (Robergs y Landwehr, 2002). La relación lineal entre la frecuencia cardiaca y el  $VO_2$  es especialmente evidente entre el 60% y el 90%  $VO_{2max}$ . Así pues, durante un test de intensidad progresiva, la frecuencia cardíaca ira aumentando linealmente a medida que se incrementa la carga de trabajo hasta alcanzar un valor máximo (frecuencia cardiaca max) como ocurre en el ( $VO_{2max}$ ), que también aumenta de forma proporcional a la intensidad del

ejercicio, hasta llegar a la máxima intensidad (López y Fernández, 2006) en una prueba de laboratorio incremental hasta el agotamiento.

No obstante, es importante tener en cuenta que la relación entre la frecuencia cardíaca y el  $\text{VO}_2\text{max}$  es individual, y que cuando se pretenden realizar estimaciones precisas de zonas de intensidad para el entrenamiento dicha relación debería determinarse para cada persona de forma individualizada (Arts y Kuipers, 1994). Además, esta relación frecuencia cardíaca- $\text{VO}_2$  es dependiente del tipo de ejercicio realizado (Londere, Thomas, Ziogas, Smith y Zhang, 1995). Wahlund (1948) fue el primero en mencionar que la magnitud de aumento de la frecuencia cardíaca tiende a disminuir con cargas más altas de trabajo físico (De Lucca, 2010). Conconi y colaboradores fueron los primeros en considerar que el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca coincide con el umbral anaeróbico y, por lo tanto, puede ser usado como método no invasivo para encontrarlo (Rhodes, 2000).

En el trabajo original de Conconi et al. (1982) comprobaron que hay una muy fuerte correlación de las variables frecuencia cardíaca y umbral de lactato ( $r=0.99$ ). Fue Conconi quien indicó al ciclista Francesco Moser, record de la hora de ciclismo en pista en 1984, la referencia que lo llevó a grandes logros de velocidad de deflexión de la frecuencia cardíaca (Billat, 2002). Existe una coherencia fisiológica entre el punto de cambio de la pendiente de la curva de la frecuencia cardíaca y la intensidad, que podría explicarse por cambios en el estímulo que el sistema nervioso autónomo envía al nodo sinusal (marcapaso fisiológico), probablemente relacionado con la duración de la diástole (Calderón, 2008).

Por lo tanto, la frecuencia cardíaca se ha convertido en un método popular para medir la intensidad del ejercicio (Achten, 2003). Aunque se ha descubierto que los monitores de frecuencia cardíaca miden la frecuencia cardíaca con precisión, durante la actividad física, muchos factores pueden influir en la relación entre la carga de trabajo y la frecuencia cardíaca.

Factores que pueden influir en la frecuencia cardíaca:

- La variación diaria, que es de aproximadamente 6 latidos/min, (Lambert, 1998) o <6,5% (Bagger, 2003)
- El estado de entrenamiento
- Las condiciones ambientales
- Los cambios diurnos (Robinson, 1991)
- La duración del ejercicio
- El estado de hidratación
- La altitud (Achten, 2003; Robinson, 1991)
- La ingesta de fármacos, tipo de medicación.

Si se controlan esos factores, la precisión con la que se puede utilizar la frecuencia cardíaca como marcador de la intensidad del ejercicio mejorará (Lambert, 1998) y podremos utilizarla como variable de control de la intensidad para analizar nuestros entrenamientos en campo y de forma eficaz.

<b>Intensidad</b>	<b>FCres (%)</b>	<b>FCmax (%)</b>
Muy ligera	< 20	< 35
Ligera	20-39	35-54
Moderada	40-59	55-69
Dura	60-84	70-89
Muy dura	> 85	> 90
Máxima	100	100

**Figura 3.** Relación intensidad entre frecuencia cardíaca res y frecuencia cardíaca máx. en personas sanas (ACSM, 1998)

La Frecuencia cardíaca es una de las variables principales, que se tienen en cuenta a la hora de valorar el nivel de intensidad en la mayoría de los estudios científicos que valoran entrenamientos HIIT (Follador et al 2018; Diego Warr-di Piero et al 2018; Patrick 2018; Nicole Green 2017; Da Silva 2017; Viaño-Santamarinas 2017; Emerson Franchini et al. 2016; Rzonek 2016; Cassidy 2016; Wood 2016).

### **1.5.2 Consumo de oxígeno**

El trabajo aeróbico es aquel esfuerzo físico constante de intensidad moderada que utiliza oxígeno a un ritmo en el que el sistema cardiorrespiratorio puede reponer oxígeno en los músculos que se encuentran ejercitando; como ejemplos, actividades como montar en bicicleta estacionaria o carrera para pérdida de grasa cuando se realiza en las cantidades correctas, pero es altamente catabólica si se hace en exceso (Rivera, 2016).

La palabra aeróbico significa literalmente al ejercicio que "involucra oxígeno, relacionado con el oxígeno o requirente de oxígeno libre", entiéndase que el ejercicio físico involucra la utilización de musculatura que requiere de energía para dicho funcionamiento y esa energía proviene del metabolismo aeróbico (Cooper, 2013).

El metabolismo aeróbico es la forma en que su cuerpo crea energía a través de la combustión de carbohidratos, aminoácidos y grasas en presencia de oxígeno. La combustión significa quemar, por lo que esto se llama quemar azúcares, grasas y proteínas para obtener energía. El metabolismo aeróbico se

utiliza para la producción sostenida de energía para el ejercicio y otras funciones corporales (Norman, 2017).

El entrenamiento físico de resistencia produce numerosos efectos metabólicos y cardiovasculares:

- Adaptaciones metabólicas:
- Aumento en la capacidad oxidativa del músculo esquelético (mayor cantidad y tamaño de mitocondrias)
- Aumento en la concentración de mioglobina del músculo esquelético
- Mayor capacidad de oxidar ácidos grasos para obtener energía
- Aumento en el glucógeno almacenado.

Además, el entrenamiento físico de resistencia contribuye a la aptitud cardiovascular, porque altera beneficiosamente el perfil de riesgo de la enfermedad de la arteria coronaria.

Para la valoración de la capacidad aeróbica se utiliza el consumo de oxígeno máximo, es el parámetro más válido para identificar y analizar la eficiencia con la que trabaja el sistema cardiopulmonar (ACSM, 2010; Heyward, 2008; López y Fernández, 2006).

El consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) representa el volumen de oxígeno consumido en la unidad de tiempo, generalmente en el minuto. El  $\text{VO}_2$  en los tejidos depende del oxígeno ( $\text{O}_2$ ) que es incorporado y transportado en sangre gracias al aporte ventilatorio y a la capacidad cardiovascular.



La función del aparato respiratorio es suministrar  $O_2$  a los tejidos y eliminar dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Ello depende de la ventilación pulmonar, o sea el flujo de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares, de la difusión de los gases entre los alvéolos y la sangre y de su transporte a las células y desde ellas. El volumen de aire que entra y sale de los pulmones se denomina volumen corriente o volumen tidal (VT) y es el aire inspirado o espirado en cada ventilación normal (Astrand et al. 2010).

Si se evalúa el  $VO_2$  durante una actividad física, se tendrá información de la capacidad que tiene el organismo para utilizarlo durante ese nivel de esfuerzo. Si la intensidad de la actividad aumenta, el  $VO_2$  aumenta de manera proporcional hasta un punto en que tiende a estabilizarse (Astrand et al. 2010). Eso se denomina consumo de oxígeno máximo.

El  $VO_{2max}$  es el límite máximo de la habilidad de una persona para generar energía a través de las vías oxidativas. Es una medida de la capacidad para obtener oxígeno del aire para los músculos y utilizarlo metabólicamente. Es la manera más eficaz de medir la capacidad aeróbica de un individuo, ya que cuanto mayor sea el  $VO_{2max}$ , mayor será su capacidad cardiovascular, definiendo cuán apto se encuentra su sistema cardiorrespiratorio. Por lo tanto, el  $VO_{2max}$  es una variable que se utiliza como un indicador de las posibilidades de cambio de un sujeto ante esfuerzos prolongados.

Según Wilmore & Costill (2015), el  $VO_{2max}$  se ha definido como: “La tasa más alta de consumo de oxígeno alcanzable durante el ejercicio máximo o exhaustivo”. A medida que aumenta la intensidad del ejercicio, también aumenta

el consumo de oxígeno. Sin embargo, se llega a un punto donde la intensidad del ejercicio puede seguir aumentando sin el aumento asociado en el consumo de oxígeno.

Por su parte, López y Fernández (2006), definieron el consumo de oxígeno, como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. Es considerado una variable en la medición de la capacidad aeróbica. Esta variable es quizá el parámetro de evaluación más utilizado, como indicador de la capacidad funcional y como la forma más objetiva de determinar la aptitud física (Wasserman, Hansen, Sue, Stringer & Whipp, 2005).

También Rivera (2011) apoya la idea de que es el mejor indicador de la resistencia cardiorrespiratoria y la capacidad aeróbica. Sin embargo, es más útil como un indicador del potencial aeróbico o límite superior de una persona que como un predictor de éxito en eventos de resistencia.

La potencia aeróbica, la capacidad aeróbica y la absorción máxima de oxígeno son todos términos que se usan indistintamente con  $\text{VO}_2\text{max}$ . Generalmente se expresa en relación con el peso corporal porque las necesidades de oxígeno y energía difieren en relación con el tamaño. También se puede expresar en relación con el área de la superficie del cuerpo y esto puede ser más preciso cuando se comparan los niños y el consumo de oxígeno entre los sexos (Sport-fitness, 2014).

Acosta (2012), menciona que la parte fisiológica más importante en la generación de la actividad física y el ejercicio es la contractura muscular:

“La contracción muscular durante el ejercicio físico es posible gracias a un proceso de transformación de energía. La energía química que se almacena en los enlaces de las moléculas de los diferentes sustratos metabólicos (el ATP es la molécula intermediaria en este proceso) es transformada en energía mecánica.”

Según Losnegard et al. (2012): “El  $\text{VO}_2\text{max}$  de un individuo se prueba usando una prueba de ejercicio incremental en la que la velocidad, el gradiente o la potencia (ciclismo) aumentan de forma incremental hasta que llega al máximo el consumo de oxígeno.” Durante la prueba, la absorción de oxígeno debería aumentar linealmente a medida que aumenta la intensidad del ejercicio, luego alrededor de cierto punto el consumo de oxígeno debería comenzar a nivelarse, en este punto el consumo de oxígeno es máximo y no aumentará aún si la intensidad del ejercicio aumenta aún más, de ahí el nombre de consumo máximo de oxígeno o  $\text{VO}_2\text{max}$ . En algunos casos, no habrá una meseta de consumo de oxígeno; en estos casos, el  $\text{VO}_2\text{max}$  ocurrirá durante la etapa final que puede completarse con éxito durante la prueba (Acosta, 2012).

El  $\text{VO}_2$  ha sido promovido como una medida válida del control de la intensidad durante el ejercicio en estado estacionario, pero no en el intervalo, de ataques de ejercicio supramáximal ya que se ha descubierto que la cinética del  $\text{VO}_2$  al inicio del ejercicio puede diferir según el nivel de entrenamiento físico, la edad y la enfermedad (Badwin, 2000; Skinner 2000). Debido a esto, no se debe

establecer una intensidad supramáxima del  $\text{VO}_2$ , ya que según la población la respuesta del  $\text{VO}_2$  será diferente.

Hombre 75 (kg) Volumen de oxígeno consumido en esfuerzo máximo ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ )						
Edad	25	35	45	55	65	75
Excelente	> 66	> 62	> 58	> 54	> 51	> 47
Muy bueno	57-66	53-62	49-58	45-54	42-51	38-47
Bueno	52-56	48-52	44-48	40-44	37-41	33-37
Regular	43-47	39-43	35-39	31-35	28-36	24-28
Pobre	33-42	29-38	25-35	21-30	18-27	14-23
Muy pobre	< 33	< 29	< 25	< 21	< 18	< 14
Mujer 65 (kg) Volumen de oxígeno consumido en esfuerzo máximo ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ )						
Edad	25	35	45	55	65	75
Excelente	>55	>51	>47	>44	>40	>37
Muy bueno	46-55	42-51	38-47	34-44	31-40	28-37
Bueno	41-45	37-41	33-37	30-34	26-30	23-27
Regular	32-40	28-36	24-32	22-29	18-25	15-22
Pobre	27-31	23-27	19-23	17-21	14-17	13-14
Muy pobre	< 27	< 23	< 19	< 17	< 14	< 13

**Figura 4.** Valores de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  orientativos relacionados con la intensidad del esfuerzo (Friend, 2017).

El consumo de oxígeno en cualquiera de sus distintos tipos de mediciones, es una de las variables principales, que se tienen en cuenta a la hora de valorar el nivel de intensidad en la mayoría de los estudios científicos que valoran entrenamientos HIIT. (Follador et al 2018; Diego Warr-di Piero et al 2018; Patrick P.J.M 2018; Nicole Green 2017; Da Silva 2017; Viaño-Santasmarinas 2017; Emerson Franchini et al. 2016; Rzonek 2016; Cassidy 2016; Wood 2016).

### 1.5.3 Lactato

El ácido láctico ha jugado un papel importante en la teoría tradicional de la fatiga muscular y la limitación del rendimiento en el ejercicio de resistencia (Hall, 2016). Es importante analizar los conceptos clave que sufre el lactato en la producción de energía y en el rendimiento del ejercicio, para comprenderlo mejor.

El proceso del lactato como producción de energía, comienza con la molécula de energía ATP que es necesaria para la contracción del músculo. Con el aumento de la duración del ejercicio, la fosfocreatina y el glucógeno muscular disminuyen sus reservas y la glucosa que circula en la sangre, es transportada a través de la vía glucolítica, formando ATP y piruvato (Cairns, 2006).

El piruvato es entonces lanzado a las mitocondrias, donde sufre fosforilación oxidativa, que produce una abundancia de ATP para permitir una contracción muscular continua. A medida que aumenta la intensidad del ejercicio, las mitocondrias no pueden oxidar todo el piruvato disponible. Las concentraciones crecientes de piruvato desencadena la conversión de piruvato en lactato a través de la enzima lactato deshidrogenasa (Hall, 2010).

En el momento de la iniciación de ejercicio, los niveles de lactato en sangre aumentarán ligeramente. Un aumento de la demanda de ATP por los músculos que realizan el trabajo producirá glucólisis, pero aún no da tiempo a haber un aumento adecuado en la frecuencia cardíaca y la dilatación capilar hasta suministrar el oxígeno adecuado a los músculos de trabajo. La acumulación de piruvato conduce a la conversión de lactato y aumento de los niveles de lactato en sangre. A medida que el sistema cardiovascular produce las respuestas al ejercicio

que se producen (y por lo tanto la entrega de más oxígeno), los niveles de lactato en la sangre disminuyen y se estabilizan. Con el aumento de la intensidad del ejercicio, el piruvato una vez de nuevo empiezan a acumularse y se convierte en lactato. Los niveles de lactato en la sangre comenzarán a aumentar cuando el índice de la producción excede la tasa de absorción.

Cambios fisiológicos que acompañan al aumento de lactatemia durante el ejercicio (Ribas, 2010):

- Acidosis metabólica
- Cambio en la cinética del consumo de oxígeno
- Disminución de la resistencia al ejercicio
- Aumento de la ventilación pulmonar
- Aumento de la acumulación de lactato en ausencia de limitación de oxígeno
- Cuando la producción de lactato excede al reciclado, aumenta la lactatemia.
- Cuando la fosforilasa se activa con el aumento de trabajo muscular.
- El reclutamiento de fibras rápidas aumenta la producción de lactato.
- Con intensidades de ejercicio superiores al 60%  $VO_{2max}$ , la disponibilidad de oxígeno intramuscular y la fosforilación oxidativa caen.

Otras funciones menos conocidas del lactato son que, el lactato es un importante intermediario en el proceso de cicatrización de heridas y regeneración tisular. Durante la cicatrización de las heridas el lactato aparece en el área en

concentraciones del orden de 10-15 mmol y esta acumulación no depende de la concentración de oxígeno en la herida (Trabold, 2003; Sheikh, 2000).

En efecto, el lactato independientemente de su efecto sobre la transcripción de colágeno, activa la prolilhidroxilasa que se encarga de la conversión de prolina a hidroxiprolina, un péptido importante en la estructura del colágeno. Por si esto no fuera suficiente, el lactato mejora el flujo sanguíneo y, por tanto, el abastecimiento de oxígeno a los tejidos en cicatrización, por su papel como vasodilatador independiente de pH (Mori, 1998). Este papel del lactato puede ser relevante no sólo para la cicatrización de heridas sino para los procesos de regeneración y revascularización de territorios musculares sometidos a ejercicio intenso. Es más, a través de este papel, el lactato participaría en la reparación de los daños tisulares asociados a las “agujetas”.

La investigación sobre el lactato no sólo se ha centrado en las adaptaciones relacionadas con el metabolismo. Se ha sugerido que el lactato puede desempeñar un papel en la miogénesis de las células musculares (el proceso de formación de las células musculares). Este proceso tiene lugar sobre todo en el interior de las células embrionarias, pero se acepta comúnmente que el satélite (células madre musculares) también pueden diferenciarse en miocitos (fibras musculares), por lo que juegan un papel importante en el desarrollo de la enfermedad papel en la reparación, mantenimiento y crecimiento muscular (Alexander, 1961).

En conclusión, si al panorama anterior se le añade la capacidad que tienen nuestros órganos y tejidos (hígado, corazón, cerebro, músculos) de consumir lactato como sustrato metabólico, habrá que manifestar que el papel del lactato en

la fisiología es beneficioso por múltiples razones. Además, esta nueva concepción del papel del lactato en el ejercicio no está reñida con el uso que se le viene dando dentro de la fisiología del ejercicio. Normalmente, se suele utilizar para determinar el “umbral de lactato” que correspondería con el llamado “umbral anaeróbico”. No habría inconveniente en seguir utilizándolo como indicador de un cambio metabólico o de estrategia metabólica.

En definitiva, lo que va a indicar un aumento de la lactatemia, es una demanda de potencia por encima de un nivel crítico, entendiéndose por éste el nivel por encima del cual no se puede mantener indefinidamente la intensidad del ejercicio. Lo que sí se debe erradicar es la etiqueta de “enemigo” metabólico o de sustancia indeseable. El lactato contribuye al aumento de la capacidad contráctil de la célula muscular, permite la prolongación del tiempo de trabajo por encima de un nivel crítico y contribuye a la rápida instauración de un nivel de consumo de oxígeno más adecuado para la demanda de potencia (Ribas, 2010).

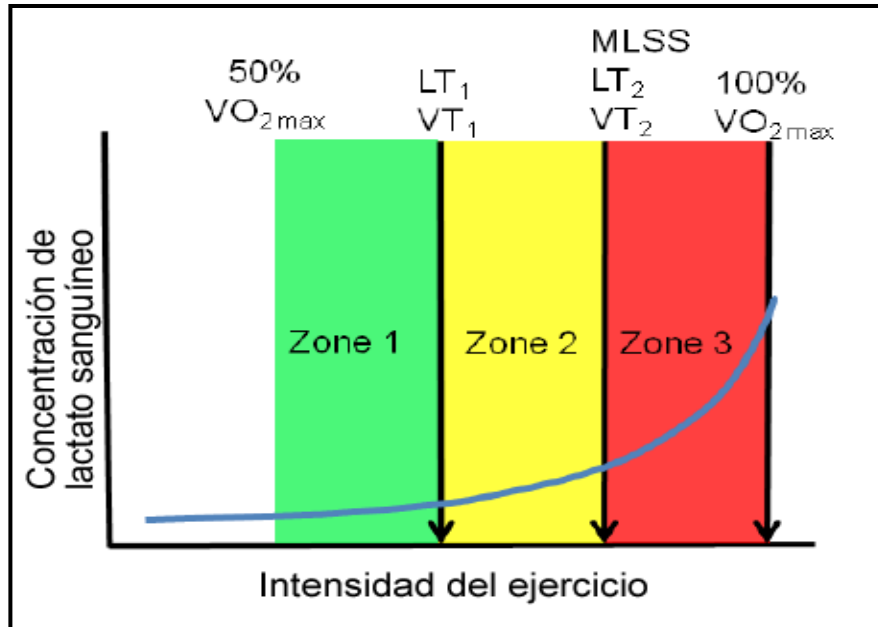
Además, debido a los efectos aparentemente positivos (adaptaciones inducidas por el ejercicio) de lactato en el organismo, sería interesante considerarlo como un suplemento deportivo. Aunque hay algunos estudios que reportan el lactato como una ayuda ergogénica presentada como una fuente de energía también como agente alcalinizante (Morris, 2011; 2012) Y aunque el papel del lactato en la fisiología del ejercicio sigue siendo objeto de debate, es evidente que el lactato es un elemento vital para la salud, sustrato de energía y proporciona funciones clave en el campo de la energía metabolismo, funciones probables en la señalización celular durante ejercicio, y no se limita a condiciones anaeróbicas.



El concepto de umbrales de lactato es confuso, pero cuando se interpreta con la literatura contemporánea la comprensión del metabolismo del lactato, puede proporcionar información útil. Varias limitaciones confunden a la utilidad de la prueba del umbral de lactato para el individuo, y las pruebas funcionales son probablemente más prácticas para la mayoría de las personas o atletas.

Según la acumulación de lactato Seiler (2006) clasifica la intensidad del ejercicio en 3 zonas:

- La zona de intensidad de ejercicio 1, que corresponde a una intensidad con mínima acumulación de lactato en la sangre.
- La zona 2, que corresponde a una intensidad con acumulación de lactato en, pero con una tasa en la que el ejercicio sigue siendo sostenible con el esfuerzo (por debajo de MLS o RCP).
- Y zona 3, que corresponde a una intensidad que no se puede mantener durante más de 5 minutos, y, por lo tanto, se define como HIIT. (McArdle, 2010).



**Figura 5.** Adaptado (Seiler y Kjerland, 2006). Tres zonas de intensidad definidas por la determinación fisiológica del primer y segundo umbral ventilatorio utilizando los equivalentes ventilatorios para O<sub>2</sub> (VT<sub>1</sub>) y CO<sub>2</sub> (VT<sub>2</sub>)

En conclusión:

- 1 El ácido láctico es un término inapropiado que contribuye a la continua confusión sobre el metabolismo energético y los modelos de fatiga muscular. El término lactato debe ser usado en su lugar.
- 2 El lactato no es responsable de la fatiga muscular, pero es más bien un importante sustrato de energía que está fácilmente utilizado por múltiples tejidos en todo el cuerpo y no se limita a las condiciones anaeróbicas.
- 3 La interpretación de la concentración de lactato puede verse afectada además por procedimientos de muestreo y medición tales como el momento y el lugar

de la toma de muestras de sangre, las técnicas de medición y el volumen de dilución (Jacobs, 1986; Swart, 2004).

- 4 La medida en que los factores mencionados anteriormente afectan a la forma en que se acumula el lactato, la independencia de la concentración de lactato y el grado en que se produce de la intensidad del ejercicio, hace que la importancia del umbral del lactato sea menos definitiva (Stegmann 1981), limitando así su utilidad en el control y la prescripción de la formación de intensidad.
- 5 Existen factores que pueden limitar la acumulación del lactato, como son las diferencias inherentes inter e intraindividuales. La temperatura ambiente y la deshidratación también pueden influir en la interpretación de las mediciones de lactato. El modo de ejercicio puede influir, ya que altera la masa muscular utilizada durante el ejercicio (Swart, 2004) de tal manera que la misma concentración de lactato se produce a diferentes niveles de VO<sub>2</sub>, como ocurre durante la carrera y el ciclismo. La duración del ejercicio, la intensidad y la tasa de cambio en la intensidad del ejercicio pueden ser también influyen en la concentración de lactato, como puede ocurrir antes del ejercicio, la dieta y el contenido de glucógeno muscular (Jacobs, 1986; Swart, 2004).

El lactato es una de las variables principales, que se tienen en cuenta a la hora de valorar el nivel de intensidad en la mayoría de los estudios científicos que valoran entrenamientos HIIT. (Follador et al 2018; Diego Warr-di Piero et al 2018; Patrick 2018; Nicole Green 2017; Da Silva 2017; Viaño-Santasmarinas 2017; Emerson Franchini et al. 2016; Rzonek 2016; Cassidy 2016; Wood 2016)



#### 1.5.4 Escala esfuerzo percibido

Otra de las variables que se utilizan para analizar la intensidad, es la escala de esfuerzo percibido (EEP) que es definida como la intensidad subjetiva del esfuerzo, tensión, y/o fatiga que los sujetos pueden sentir durante el ejercicio (Urhausen, 1998).

Universalmente se acepta a la frecuencia cardiaca como recurso para determinar la intensidad del esfuerzo y efectuar el control de las cargas, pero surgió la demanda de saber la opinión del atleta, es decir, cómo valora la repercusión de ésta sobre su organismo (Borg, 1970; en Barrios Duarte, 2002). De ahí la estimación del esfuerzo que tuvo que realizar para cumplir con las tareas encomendadas.

La calificación de esfuerzo percibido (EEP) se basa en el entendimiento de que los atletas pueden monitorear inherentemente el estrés fisiológico que experimentan sus cuerpos durante el ejercicio, y así poder ajustar su intensidad de entrenamiento usando sus propias percepciones del esfuerzo (Robinson, 1991).

La valoración (RPE) (Rating of Perceived Effort) es una descripción del conjunto de sensaciones que se producen, y que parten de señales fisiológicas periféricas, cardiorrespiratorias y metabólicas: tensión en músculos y articulaciones, estado de los sistemas energéticos, concentración percibida del lactato, etc. (Arruza, 1994).

Se trata de una dimensión nueva, de carácter psicofisiológico, pero subjetiva, que complementa y enriquece la información del proceso de entrenamiento. Ella ayuda a la toma de decisiones para favorecer la adaptación.

En la literatura científica especializada se conoce por las siglas REP (rango de esfuerzo percibido), RPE (Rating of Perceived Effort) o escala de Borg, quien fue su creador, un fisiólogo sueco, Gunnar Borg. El autor aplicó la escala para monitorear el entrenamiento de altura en triatletas y en medio fondistas y observó resultados provechosos. La escala mantiene una elevada correlación con la frecuencia cardíaca (Borg, 1970 y Arruza, 1996 en Barrios Duarte, 2002), de ahí que se haya sugerido incluso su empleo para la determinación de las zonas de trabajo. En el entrenamiento cotidiano constituye un valioso complemento de la información que brinda la frecuencia cardíaca.

El instrumento consiste en una tabla con números entre 20 y 6, colocados verticalmente y acompañados de valoraciones cualitativas entre muy, muy fuerte y muy, muy ligero (Borg, 1970; en Barrios Duarte, 2002). Se sabe que las valoraciones de un atleta se encuentran influenciadas por:

- El nivel deportivo,
- El grado de preparación,
- El estado de salud,
- La motivación por la actividad
- Otros factores.

La aplicación es muy sencilla, aunque se requiere tener en cuenta algunos principios como la toma estrictamente individual y no emitir criterio alguno, para que las evaluaciones no sean desvirtuadas. Puede emplearse tanto para tareas específicas dentro de la sesión de entrenamiento, como para evaluar la sesión en su conjunto. Puede integrarse a mediciones de frecuencia cardíaca, lactato, flicker, tiempos, urea, etc. (Barrios Duarte, 2002).

En la elaboración inicial de la escala, se observó que añadiéndole un cero al valor de esfuerzo percibido, se podría obtener una estimación aproximada de la tasa cardíaca (por ejemplo una puntuación de 8 equivalía a 80 pulsaciones por minuto, 15 a 150, etc.), pero posteriormente, no se ha podido corroborar esta equivalencia, aunque sí una relación lineal entre el esfuerzo percibido y la tasa cardíaca, que aconseja la utilización de esta medida subjetiva para evaluar y controlar la intensidad del esfuerzo en el entrenamiento, en la dirección mostrada por Arruza, (1996), en Buceta, (1998), en su interesante estudio con judokas españoles.

Como apunta Pollock, (1988) la relación más precisa entre el esfuerzo percibido y la tasa cardíaca, puede establecerse, en cada caso concreto, de forma individualizada. Así, se puede llegar a saber, por ejemplo, que para el deportista X, la puntuación 15 en la escala de esfuerzo percibido, suele coincidir con una tasa cardíaca de 150-160 pulsaciones por minuto, mientras que para el deportista Y, la misma puntuación equivale a una tasa de 140-150 pulsaciones y que, con el deportista Z, es difícil establecer una relación fiable entre estas dos medidas. Esta información, puede ser muy valiosa para interpretar la información que aporta la escala, en cada caso particular.

Aunque tras un periodo corto de práctica, la utilización correcta de la escala de esfuerzo percibido de Borg, puede estar al alcance de la mayoría de los deportistas, trabajar con el continuo 6-20, es más complejo que hacerlo con un continuo más habitual como 0-10; y, de hecho, el propio Borg (1982, en Buceta, 1998), aun prefiriendo el continuo original (6-20), también contempla esta posibilidad.

En realidad, teniendo en cuenta que el objetivo inicial era de conseguir equivalencias estandarizadas entre las puntuaciones de esfuerzo percibido y las pulsaciones por minuto, parece difícil de alcanzar, y que, en todo caso se sitúa en un segundo plano, detrás del establecimiento de relaciones individualizadas en cada caso concreto, puede ser más apropiado que, al igual que respecto a otras experiencias internas, los deportistas aprendan a utilizar una escala de esfuerzo percibido con un continuo de 0-10, en la que 0 represente la percepción de ausencia de esfuerzo y 10 la percepción del máximo esfuerzo posible (Buceta, 1998).

Para cada deportista, la utilización de esta escala más sencilla, junto a la tasa cardíaca u otras medidas fisiológicas que se estimen oportunas, permitirá establecer una relación particular entre el esfuerzo percibido y los indicadores objetivos considerados. Además de ser más sencillas para calcular las puntuaciones correspondientes, otra ventaja añadida de las escalas 0-10 puntos, es que, a partir de ellas, resultan más fácil transformar la puntuación de esfuerzo percibido (por ejemplo, 7) en el porcentaje de intensidad máximo posible (por



ejemplo, 70 %), facilitando el autocontrol de la intensidad durante el entrenamiento (Buceta, 2001)

Cualquiera que sea la escala que se utilice, lo cierto es que estos instrumentos pueden ser de gran ayuda en el proceso de evaluación del entrenamiento. Entre sus ventajas, cabe destacar (Barrios Duarte, 2002):

- Que son pocos costosos.
- Fáciles de incorporar al entrenamiento, sin entorpecer su funcionamiento habitual; al tiempo que constituyen en interesante.
- Fiable y útil indicador de la intensidad del esfuerzo, que proporciona un valioso feedback inmediato de la propia ejecución,
- Fortalece la percepción de autocontrol.
- Aporta información muy valiosa al entrenador y ofrece un dato que, en algunos casos, puede servir para valorar el progreso de los deportistas.
- Es más, incluso en los casos que no se encuentre una relación lineal entre las puntuaciones de esfuerzo percibido y las medidas objetivas de esfuerzo (por ejemplo, la tasa cardíaca), pueden plantearse interesante hipótesis.

Escala de esfuerzo percibido de Borg		Equivalencia aproximada en pulsaciones por minuto	Grado de la intensidad del esfuerzo (% de la capacidad máxima posible)	Equivalencia de una escala de esfuerzo percibido de 0-10 puntos
6		60-80	10	0
7	Muy, muy suave	70-90		1
8	Muy suave	80-100	20	2
9		90-110		
10		100-120	30	3
11	Bastante suave	110-130		
12		120-140	40	4
13	Algo suave	130-150	50	5
14		140-160	60	6
15	Duro	150-170	70	7
16		160-180		
17	Muy duro	170-190	80	8
18		180-200	90	9
19	Muy, muy duro	190-210	100	10
20		200-220		

**Figura 6.** Escalas de esfuerzo percibido según características. Buceta (1998)

En general en el entrenamiento y en los que la fatiga tenga una importancia especial como son los de resistencia, la percepción de la fatiga debe ser controlada de manera concreta. Se ha demostrado que los factores fisiológicos tienen una mayor influencia sobre la percepción de la fatiga que los psicológicos (Osorio Lozano, 2001).

Es muy posible, como piensa Barrios Duarte (2002), que todas estas sensaciones se vean integradas en una determinada estructura con el objeto de percibir las como una sensación total. De todas formas, el estudio de la percepción del esfuerzo ha sido llevado a cabo, tanto por fisiólogos como por psicólogos y médicos deportivos.

Borg (1970) confeccionó unas escalas que permiten valorar la percepción del ejercicio y que posteriormente modificó, acortando el número de grados desde 20 en la primera a 10 en la última. Estas escalas obtienen correlaciones lineales muy altas con otros indicadores, como la intensidad del ejercicio y la frecuencia cardíaca ( $r$ : 0,80 - 0,90). No obstante, trabajos posteriores realizados por Morgan (1981), demuestran que la escala es más de naturaleza acelerada que lineal. Sin embargo, también se han encontrado correlaciones deficientes entre la frecuencia cardíaca y las respuestas del RPE. Arruza, Alzate, y Valencia, (1994). Durante un meta-análisis de la literatura concluyeron que, aunque la escala Borg ha demostrado ser una medida válida de la intensidad del ejercicio, los coeficientes de validez de la media ponderada fueron de 0,62 para la frecuencia cardíaca, 0,57 para el lactato en sangre, 0,64 para el % de  $VO_2$ max, 0,63 para el  $VO_2$ , 0,61 para la ventilación y 0,72 para la frecuencia respiratoria. Por lo tanto, se requiere de investigación adicional para determinar los mecanismos

fisiológicos detrás de la percepción cognitiva del esfuerzo, lo que puede aclarar exactamente lo que representa la RPE.

Resulta conveniente emplear un sistema de métodos de naturaleza psicológica, cuyas informaciones se complementen y ofrezcan una visión lo más completa posible de la gama de consecuencias que provoca el fenómeno de la adaptación a las cargas. Y deben incluirse las observaciones, las autovaloraciones y la aplicación de test estandarizados.

	FC	VO <sub>2</sub> Max.	Lactato	R.P.E
Análisis en campo	Si	SI	Si	Si
Adaptaciones con el entrenamiento	Si	Si	Si	Si
Depende condición física del sujeto	Si	Si	No	Si
Necesita de material específico	Si	Si	Si	No
Se puede medir en grupo	Si	No	No	Si
Necesita familiarización del sujeto	No	No	No	Si
Es altamente costoso	No	Si	Si	No

**Figura 7.** Aplicabilidad de las variables para medir la intensidad en un HIIT

## 1.6 ANTECEDENTES

Desde un punto de vista práctico, la aplicación de las intensidades de trabajo y de recuperación harían que la comparación de los resultados entre los estudios que analizan diferentes protocolos HIIT, sea difícil. La forma en que los individuos pueden responder o varias combinaciones de las intensidades de trabajo y de recuperación está mal caracterizada en la actualidad (Razonek, 2016).

Teóricamente, los intervalos de trabajo intercalados con intervalos cortos de recuperación maximizan el estímulo fisiológico de una sesión HIIT, ya que los intervalos de trabajo subsiguientes comenzarán con un elevado  $\text{VO}_2$  (Patrick, 2018). Sin embargo, una recuperación insuficiente en una sesión puede provocar fatiga antes de volver a realizar otro intervalo de trabajo, lo que resulta en una reducción del número de intervalos completados y/o una reducción de la intensidad del ejercicio en los intervalos de trabajo. Una recuperación más larga entre los intervalos de trabajo, por el contrario, conducirá a un  $\text{VO}_2$  al inicio de los intervalos subsiguientes que puede atenuar los valores máximos alcanzados durante las fases de trabajo, y potencialmente disminuir el tiempo total de ejercicio realizado en la zona que se considera alta intensidad. Mientras que una recuperación más larga puede reducir la tensión fisiológica, la fatiga adelantada puede permitir a los atletas lograr mayores intensidades de trabajo externo (es decir, velocidad de ejecución) en los intervalos de trabajo, por lo que es importante comprender la respuesta aguda a la manipulación de las recuperaciones cuando se diseñan las sesiones de HIIT (Seiler, 2013).

Tabla 1. Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas en entrenamiento de HIIT con diferentes protocolos			
Autor	Muestra	Método HIIT	Resultados
			V. Experimental
Seo et al. 2019	55 adolescentes practicantes de Taekwondo	-10 sesiones / 4 semanas -Entrenamiento específico taekwondo -Tiempo total sesión 30' a) 1:2= 30"-60" b) 1:4=30"-120" c) 1:8=30"-240" -Recuperación activa primeros 30"> , -1 sesión	-No diferencia significativa en fat máx entre protocolos -Protocolo b) es el que más aumenta la potencia en CMJ y aumenta el Vo2máx
Follador et al 2018	14 Hombres activos jóvenes	<b>a) Cicloergómetro</b> -20"-10" -Recuperación activa 70%FC máxima -60"-60" -Recuperación activa al 50% Vo2máx -20"-20" -Recuperación a RPE 1 <b>b) HIIT</b> <b>c) SIT (Cinta de correr)</b> -4' x 4 4 x 1000 m	a) 70% FC activa B) 50% Vo2Max Activa Aumenta c)1-RPE Aumenta
Schoenmakers 2018	12 hombres corredores entrenados	4 minutos "all out" cinta de correr c pasiva a) HIIT 4'-1' pasivo (30' Total) b) HIIT 4'-2' pasivo (36' Total) c) HIIT 4'-3' (42' Total) d) HIIT 4'- Auto (36± Total)	No diferencia significativas en el consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca entre protocolos

Tabla 1. Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas en

Autor	Muestra	Método HIIT	Experimenta	Resultados
Vaio-Santamarinas et al 2017	18 jugadores de balonmano	1 vez durante 6 semanas SI -2 Series de 22 intervalos 10" al 95%VIFT LI-5 series de 3 minutos al 85% VIFT En carrera	-CMJ -Sprint -EEP -FC	-Cambios sinifigativos entre el pre y el post en cada grupo -No existe diferencia significativa entre grupos.
Nicole Green et al 2017	10 Hombres y 9 mujeres adultos activos	a) MICT 30 ' al 40% VOMÁX b) HIIThv 21 '6x2' al 70%VOMÁX recuperación 60'al 20% c) HIITlv 12'8x60'al 85% VOMÁX recuperación 75" al 20% d) SIT 8'x 60" All Out con 140" recuperación al 20% VOMÁX	-VO2MÁX -FC -Lactato -EEP	Los protocolos que obtuvieron mejores resultados en el VO2MÁX fueron el b) y el c) No habiendo diferencia significativa en lactato y FC entre grupos.
Greg L. McKie et al 2017	48 Hombres y mujeres activos	4 veces semanal / 4 semanas En carrera a) 4-6 x 30" / 4' " b) 8-12 x 15" / 2' " c) 24-36 x 5" / 40" d) No ejercicio (CON) Tiempo total de trabajo 2-3 ' Tiempo total recuperación (16-24') Realación ejercicio / recuperación 1:8 En carrera	-VO2MÁX -Test 5 Km -Sprint % Grasa	diferencias significativas entre ningún protocolo -Aumento significativo VO2MÁX (5,5%) y Test 5km (5,2 %) . También hay mejora

Tabla 1. Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas en entrenamiento de HIIT con diferentes protocolos

		V. Experimental		Resultados
Autor	Muestra	Método HIIT	Experimental	Resultados
HIIT con diferentes protocolos				
		Todos los grupos 10 x (1' / 1')		
Razonek et al 2016	6 mujeres y 5 hombres jóvenes activos	a) 80% ppo/ 0%ppo b) 80% ppo/ 50% ppo c) 100%ppo/0% ppo d) 100% ppo/ 50% ppo En ciclo	-VO2Pico -FC -Lactato RPE	a) es el mejor para principiantes b) es el que más sostiene un promedio alto de VO2Pico y Lactato d) no pudo ser completado por todos los sujetos
Wood et al 2016	4 mujeres y 8 hombres jóvenes activos	a) SIT 8x30" al 130% VOMÁX 90" descanso pasivo b) HIIT 8x60" al 85% VMÁX 60" descanso pasivo En ciclo	-FC -VOMÁX -EEP -Lactato	No hay diferencia significativa entre los protocolos
Tucker et al 2015	14 jóvenes activos	a) 4 x 4' (90-95% FC Pico) recuperación 3' a 50w b) 16 x 1' (90-95% FC Pico) Recuperación 1:1 a 50W En ciclo	-VO2Máx -FC -Lactato -Gasto energético -W Gasto energético	El protocolo a) consigue un mayor gasto energético W lograda en el protocolo b) es mayor, pero no hay diferencia significativa con el a) entre el resto de variables no hay diferencias significativas entre un protocolo y otro



Leyenda: FAT<sub>MAX</sub>: Nivel máximo de grasa consumido; CMJ: *Counter Movement Jump* o Salto contra movimiento; VO<sub>2 max</sub>: Consumo de oxígeno máximo; FC: Frecuencia cardiaca; RPE: *Rating of Perceived Effort* o escala esfuerzo percibido; SIT: *Sprint interval training* o Entrenamiento de esprints interválicos; VIFT: Volumen de entrenamiento intermitente máximo; SI: *Sprint interval* o Intervalo de sprint; LI: *Low Interval* o Intervalo baja intensidad; MICT: Medium intensity continuos intervalic o Intervalo continuo media intensidad; W: Potencia; V<sub>O2 Pico</sub>: Consumo de oxígeno pico; Lactato: Concentración de lactato en sangre; HIIT: High-Intensity Interval Training; PPO: Porcentaje producción máxima de potencia; V<sub>MAX</sub>: Volumen Máximo.

En el HIIT a ritmo propio, la intensidad real de trabajo por intervalo no es una función estable de la potencia o de la velocidad a lo largo del tiempo, sino más bien el resultado integrador de la retroalimentación de los receptores externos e internos y el conocimiento de las demandas de la sesión (Ulmer, 1996).

El objetivo del estudio de Schoenmakers (2018) fue examinar los efectos de las diferentes duraciones de recuperación sobre las velocidades de marcha auto-seleccionadas y las respuestas fisiológicas y perceptivas que las acompañan. Se plantea la hipótesis de que una recuperación corta entre los intervalos de trabajo lleva a un mayor estímulo fisiológico a costa de una menor velocidad de carrera a lo largo de la sesión HIIT (Demarie, 2000). Los resultados demuestran una diferencia en la velocidad media de ejecución entre los protocolos HIIT. Los participantes corren más rápido durante el intervalo de trabajo, con una recuperación de 3 minutos comparado con 1 o 2 minutos de recuperación o la recuperación que ellos considerasen. En todos los protocolos se observan fluctuaciones sutiles de las velocidades de marcha a lo largo de los intervalos de trabajo. Las respuestas del RPE son similares en todos los protocolos y dentro de ellos, los participantes califican el último intervalo como un RPE  $\geq 19$ , verificando las condiciones de esfuerzo máximo. El promedio de FC en los intervalos de

trabajo es mayor en los de recuperación de 1 minuto comparado con 3 minutos y tiempo de recuperación auto considerada. El tiempo de recuperación es significativamente menor entre el primer y el segundo intervalo de trabajo, después de lo cual, en comparación con las fases de recuperación posteriores, la duración de la recuperación permaneció constante (Laursen et Jenkins, 2002). La velocidad media de ejecución es mayor cuando los participantes reciben un período de recuperación más largo (3 minutos) entre intervalos, sin embargo, el tiempo total dedicado a  $\geq 90\%$  y  $95\% \cdot \dot{V}O_2\text{max}$  no difirió entre protocolos.

En el estudio de Seo (2019), se examina la efectividad de las diferentes relaciones entre trabajo y descanso de HIIT en el rendimiento atlético del Taekwondo. Ya que se puede sugerir que el ejercicio de alta intensidad permite el reclutamiento de unidades motoras grandes y el volumen máximo de golpes (Altenburg et al., 2007). Todos los participantes realizaron entre 6 y 8 intervalos de HIIT con una densidad (trabajo/descanso) de 1:2 (30:60"), 1:4 (30:120") y 1:8 (30:240").

Los programas HIIT se realizaron en 10 sesiones durante cuatro semanas: 2-3 veces/semana (2 veces en la primera y tercera semana; 3 veces en la segunda y cuarta semana). La intensidad de HIIT se estableció entre un 90-100% de  $FC_{\text{máx}}$  con períodos de recuperación activa de caminar con 30 segundos entre intervalos de trabajo. Se examinaron tres relaciones diferentes de trabajo/ descanso de HIIT y se observa que el protocolo HIIT que incluye la estrategia de 30 segundos con intervalos de descanso 120 segundos para un total de 10 sesiones que duraron más de 4 semanas, muestra la mayor mejoría en la capacidad aeróbica. Otros resultados de este estudio indican que el HIIT con una relación de trabajo a descanso de 1:4, muestra que es el protocolo más efectivo para mejorar la

capacidad aeróbica y anaeróbica en los atletas adolescentes de Taekwondo. Los grupos 1:4 y 1:8 mejoran la potencia pico relativa de salida durante la intervención, mientras que los grupos 1:2 y control no cambiaron. Todos los grupos HIIT mejoran el  $\text{VO}_2$  máx. y el tiempo hasta el agotamiento después de la intervención de cuatro semanas, mientras que estos parámetros no cambiaron en el grupo control. La única diferencia significativa se observa en  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  entre el grupo 1:4 (i. e., 30: 120 segundos) con el grupo control después del entrenamiento.

Follador (2018) realizó un estudio para entender cómo varían los protocolos en cuanto a la relación entre el trabajo y el descanso y la intensidad y el modo en que el ejercicio influye en las respuestas psicofisiológicas, qué podrían ser esenciales para prescribir eficazmente el HIIT. Aunque no probaron ninguna prueba específica, esperaban que los protocolos máximos HIIT y SIT (Sprint interval training) supramáximal impondrían una mayor demanda fisiológica a los participantes, y esperaban que esto se reflejase en sus respuestas de esfuerzo más altas, y en la disminución de los sentimientos en comparación con los protocolos HIIT de intensidad casi máximas. Comparan las mismas respuestas fisiológicas y psicológicas de los participantes en diferentes protocolos de sprint y resistencia para estudiar las adaptaciones de un HIIT y un SIT. Se realizan dos protocolos SIT y uno HIIT. Los resultados demuestran que el protocolo del ergómetro de ciclo Tabata (SIT) provoca substancialmente respuestas de  $\text{VO}_2$  y RPE inferiores en comparación a los protocolos Wingate (SIT) y 10x60 segundos (HIIT). La intensidad máxima se provoca en la cinta rodante, protocolo de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (HIIT) obtenido sustancialmente respuestas de  $\text{VO}_2$ , FC, RPE en comparación a los protocolos de intensidad submáxima de 4x4 minutos y 4x1.000 metros HIIT. En cuanto a las percepciones de los participantes, tanto el ciclismo de 10x60

segundos como el protocolo de trabajo de 4x4 minutos son menos extenuantes en comparación con el resto de los ciclistas y corredores de HIIT y SIT del presente estudio.

Green (2017) compara las respuestas fisiológicas y perceptivas agudas en ejercicios continuos de intensidad moderada (MICT) en comparación con regímenes distintos de HIIT y SIT de bajo volumen entre hombres y mujeres. Los intervalos de trabajo son similares a los regímenes implementados en hombres y mujeres inactivos. Entre los resultados se observa que la concentración de lactato en sangre aumenta significativamente durante todos los episodios de ejercicio. Los análisis muestran que el lactato durante el MICT es significativamente diferente que todos los regímenes HIIT al 75% y 100% de la duración del intervalo de trabajo, sin embargo, no hay diferencia en la concentración de lactato entre los regímenes HIIT y la SIT con excepción del valor del 100% que es mayor en respuesta a la SIT versus el HIITHV. Las mujeres tienen menor concentración de lactato durante el ejercicio en comparación con los hombres en todos los regímenes.

La mayoría de las variables son similares en HIITLV versus HIITHV, lo que sugiere que estos regímenes provocan un esfuerzo cardiorrespiratorio y perceptivo similar a pesar de la diferente intensidad y duración del trabajo. A pesar de la mayor tensión metabólica y cardiorrespiratoria del HIIT/SIT, el disfrute fue similar en todos los regímenes, aunque las mujeres perciben que el MICT y los dos regímenes HIIT son más agradables que los hombres.

El estudio de Rzonek (2016) trató de cuantificar y comparar las respuestas fisiológicas agudas a un 60" /60" x 10 formato de repetición mediante el control de las intensidades de trabajo y de recuperación utilizando cuatro formatos de repetición diferentes, combinando dos variables. La variable independiente en este estudio es la combinación de trabajo/intensidad de recuperación utilizada en cada ensayo. La captación de oxígeno, la frecuencia cardíaca, la clasificación del esfuerzo percibido y las concentraciones de lactato en la sangre son seleccionadas como las variables dependientes porque son indicadores de uso común de la función cardiopulmonar y fisiológica. Las intensidades de trabajo y de recuperación se cuantifican como porcentajes de la producción máxima de energía (PPO). Las intensidades de trabajo seleccionadas utilizadas durante el intervalo de trabajo se seleccionan porque representaban intensidades dentro de un rango de esfuerzo generalmente considerado de moderado a intenso. Los cuatro protocolos son a) 80% PPO trabajo / 0% PPO descanso, b) 80% PPO trabajo/ 50% PPO descanso, c) 100% PPO trabajo/ 0% descanso PPO y d) 100% trabajo PPO /50% PPO descanso.

Los resultados de este estudio caracterizan la manipulación de la intensidad del trabajo o de la recuperación, ya que afecta al conjunto de la población como era de esperar, los hombres son más altos, pesan más y tienen menos grasa corporal que las mujeres ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, no hay diferencias significativas en la respuesta a los intervalos en los resultados de las pruebas. La alteración de la intensidad del intervalo de recuperación tiene un mayor efecto sobre la media  $VO_2$  pico que cambiar la intensidad del intervalo de trabajo. Por ejemplo, aumentar la recuperación del 0% al 50% de los OPP se traduce en un aumento absoluto del  $19,8 + 4,7\%$  de la media de los OPP. En contraste, el

aumento de la intensidad del intervalo de trabajo del 80% al 100% de los OPP aumentó la media de %VO<sub>2</sub>peak en una cantidad absoluta de 10,6 + 6,5% cuando se utilizó el 0% de los OPP durante la recuperación, y sólo 8,1 + 5,0% cuando se ha utilizado el 50% de PPO. Aunque la intensidad del intervalo de trabajo era menor. El protocolo 80/50 produjo una media significativamente mayor de VO<sub>2</sub> pico %VO<sub>2</sub> pico en comparación con el ensayo 100/0, mientras que los valores máximos eran muy similares. Un período de recuperación activa da como resultado una menor diferencia entre las respuestas de pico y media, lo que reduce la amplitud, definida como la relación entre la diferencia entre las intensidades de trabajo y de recuperación dividida por la media.

Sólo siete de los once sujetos fueron capaz de completar el ensayo 100/50, lo que indica que es probable que este ensayo fuera demasiado intenso para algunos. Las concentraciones de lactato en la sangre eran bastante altas, con un promedio de más de 10 mmol x l-1. El resultado del 100/0 resulta en concentración del lactato que fue sólo ligeramente inferior al ensayo 100/50, pero todos los sujetos pudieron completarlo. Los resultados sugieren que usar un método de recuperación a intensidad del 50% OPC en combinación con una intensidad del intervalo de trabajo del 100% OPC puede acercarse a los límites superiores de lo que se puede lograr para completar un proyecto de 60" /60" x 10 protocolo de repetición para las personas que poseen niveles moderados de acondicionamiento cardiopulmonar.

Los resultados del presente estudio cuantifican los efectos de la alteración de la intensidad de trabajo o el intervalo de recuperación cuando se realizan sesiones de intervalo que consisten en 60" de trabajo y 60" de recuperación para

las repeticiones múltiples. Utilizando una intensidad de trabajo de 80% o 100%  $\text{VO}_2$  pico y una intensidad de recuperación de 0% o 50%  $\text{VO}_2$  pico, los sujetos fueron capaces de realizar ejercicio dentro del rango recomendado por la ACSM para la intensidad de ejercicio. Por el contrario, el protocolo 100/50 no pudo ser completado por todos los sujetos y por lo tanto puede ser demasiado intenso para algunos individuos. Aunque el protocolo 100/0 produjo altos valores pico  $\text{VO}_2$  pico y concentración de lactato a la respuesta media del  $\text{VO}_2$  fue relativamente baja. Por otro lado, un protocolo como el 80/50 puede permitir a un individuo mantener un promedio relativamente alto de %  $\text{VO}_2$  pico y concentración de lactato.

El estudio de Wood (2016) tuvo el objetivo de comparar los cambios agudos entre 2 tipos de entrenamiento a intervalos, HIIT y SIT ampliamente utilizados en índices cardiorrespiratorios, metabólicos y perceptivos en hombres y mujeres activos. Se planteó la hipótesis de que los cambios agudos en concentración de lactato,  $\text{VO}_2$ , y percepción del esfuerzo sería mayor en SIT que en HIIT, el gasto energético sería menor en SIT, y que HIIT provocaría un efecto más positivo en comparación con la SIT.

Los resultados muestran que los sujetos perciben menos esfuerzo y alcanzan un mayor consumo de oxígeno durante el HIIT que en comparación con el SIT, la magnitud de las diferencias en varios parámetros de los regímenes era pequeño; por lo tanto, la preferencia por cualquiera de las dos modalidades puede depender del individuo. Los resultados muestran un valor significativamente más alto de  $\text{VO}_2$  para HIIT que para el SIT. La mayor concentración de lactato fue observada en SIT vs. HIIT. La calificación del

esfuerzo percibido aumentó en respuesta a los siguientes factores de entrenamiento a intervalos y fue mayor en aproximadamente 1 unidad al final del ejercicio SIT que el HIIT submáximo. La SIT produjo un RPE significativamente más alto y una tendencia de menos positivo que HIIT. Así, a pesar del menor trabajo de descanso, la mayor intensidad de la SIT puede tener una mayor contribución para determinar las respuestas perceptivas. Además del importante mayor gasto energético (+16 kcal) y diferencias en VE, RPE, y Concentración de lactato visto con HIIT vs SIT eran pequeños y pueden no ser clínicamente significativo.

El estudio de Viao Santa María (2017) fue el primero en utilizar pruebas de campo específicas y un diseño de estudio controlado para comparar la eficacia de 2 metodologías HIIT con diferentes duraciones de intervalo, es decir, SI y LI, en Salto, sprint, aerobic y RSA en jugadores adultos de balonmano durante la pretemporada. Los principales resultados de este estudio fueron que: a) tanto SI como LI, además de los normales el entrenamiento durante el periodo de pretemporada mejoró el rendimiento del RSA (AT, TT y % Dec) desde el pre-test a la prueba posterior; sin embargo, b) SI dio lugar a un mayor aumento de la RSA-FT en comparación con la LI; y c) El VIFT mejoró significativamente después de 6 semanas tanto en SI como en LI. Se observaron mejoras en el tiempo de sprint de 10 m o en la altura de la CMJ después de seis semanas de ambos programas de formación HIIT. Además, después del período de entrenamiento en SI y LI, se destacó la mayor capacidad de los jugadores de balonmano para producir repetidamente Sprint máximos y recuperarse entre estos Sprint. Adicionalmente, el grupo SI también mejoró el RSA FT después de 6 semanas de entrenamiento. Ambas modalidades de entrenamiento HIIT (SI y LI) mejoraron



de forma similar la máxima potencia aeróbica, deducida de VIFT (+8%), durante el periodo de preparación en jugadores de balonmano de alto nivel. Además, los diferentes protocolos de entrenamiento utilizados en este estudio no afectaron negativamente el salto y actuaciones de sprint.

El problema que se encuentra en el análisis de estos estudios científicos es que es muy difícil realizar una comparación objetiva y fiable entre los resultados de dichos estudios. Ya que, cuando se comparan diferentes protocolos HIIT, se utilizan muestras heterogéneas, protocolos de HIIT con una cuantificación de la carga de entrenamiento muy dispar, y una medición de las variables distintas. Ello provoca un sesgo de los resultados adquiridos sin poder llegar a un consenso entre protocolos (HIIT corto, medio o largo).



## **II - HIPOTESIS**



## **II - HIPOTESIS**

### **Hipótesis 1**

La respuesta aguda de la potencia en un cicloergómetro está relacionada con la duración de los intervalos de trabajo, a una intensidad máxima, por lo que cuanto más potencia y duración de intervalo de trabajo, mayor serán las diferencias de la potencia entre intervalos en un protocolo HIIT, en hombres.

### **Hipótesis 2.**

La respuesta aguda de la concentración de lactato en sangre está relacionada con la potencia y duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más potencia y duración tiene el intervalo de trabajo, mayor será la concentración de lactato en un protocolo HIIT, en hombres.

### **Hipótesis 3**

El % de intensidad alcanzado en cada protocolo HIIT está relacionada con la potencia y la duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más largo es el intervalo de trabajo y a mayor potencia, menor será el % de intensidad alcanzado en hombres.

### **Hipótesis 4**

La respuesta aguda de la potencia en un cicloergómetro está relacionada con la duración de los intervalos de trabajo, a una intensidad máxima, por lo que

cuanto más potencia y duración de intervalo de trabajo, mayor serán las diferencias de la potencia entre intervalos en un protocolo HIIT, en mujeres.

#### **Hipótesis 5.**

La respuesta aguda de la concentración de lactato en sangre está relacionada con la potencia y duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más potencia y duración tiene el intervalo de trabajo, mayor será la concentración de lactato en un protocolo HIIT, en mujeres.

#### **Hipótesis 6**

El % de intensidad alcanzado en cada protocolo HIIT está relacionada con la potencia y la duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más largo es el intervalo de trabajo y a mayor potencia, menor será el % de intensidad alcanzado en mujeres.

## **III - OBJETIVOS**





### **III - OBJETIVOS**

#### **Objetivo 1**

Evaluar la respuesta aguda de la potencia máxima en tres protocolos HIIT distintos de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso a una intensidad de trabajo máxima en cicloergómetro.

#### **Objetivo 2**

Evaluar la respuesta aguda de la potencia media en tres protocolos HIIT distintos de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso a una intensidad de trabajo máxima en cicloergómetro.

#### **Objetivo 3**

Evaluar la respuesta aguda de la pérdida de potencia en tres protocolos HIIT distintos de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso a una intensidad de trabajo máxima en cicloergómetro.

#### **Objetivo 4**

Valorar la respuesta de la concentración de lactato en sangre aguda tras 3 protocolos HIIT de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso a una intensidad de trabajo máxima en cicloergómetro.

### **Objetivo 5**

Valorar la respuesta aguda de la frecuencia cardiaca media en 3 protocolos HIIT de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso a una intensidad de trabajo máxima en cicloergómetro.

### **Objetivo 6**

Valorar la respuesta aguda de un test de salto CMJ en 3 protocolos HIIT de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso a una intensidad de trabajo máxima en cicloergómetro.

## **IV - MATERIAL Y MÉTODO**



## IV - MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1 DISEÑO

Estudio de cohorte transversal, en el que se hizo una comparación del tiempo de los intervalos trabajo y descanso en tres protocolos HIIT distintos.

### 4.2 MUESTRA

Semanas previas al inicio del proyecto, se realizó una campaña de captación de muestra por parte del centro deportivo de la Universidad Católica San Antonio de Murcia, el Ucam Sport Center. El proceso de captación se realizó por medio de las redes sociales (Instagram, twitter) donde se daba una primera información en lo que consistía el estudio. El proceso de captación de sujetos tuvo una duración aproximada de 14 días. Tras la campaña de captación se inscribieron un total de 32 sujetos hombres (n=22) y mujeres (n=10) con una edad comprendida entre los 20 y los 45 años. Se realizó una reunión informativa para los inscritos en el programa durante la cual, se informó a todos los posibles sujetos de estudio sobre las condiciones de la investigación, los posibles beneficios, así como de los riesgos inherentes al programa de entrenamiento. Los asistentes tuvieron la oportunidad de preguntar y aclarar dudas sobre las características del estudio y de los requisitos que había que cumplir para poder acceder a él. El protocolo experimental fue aprobado por el comité de ética local (Universidad Católica San Antonio, España, Murcia) de acuerdo con la declaración de Helsinki. Una vez explicado el diseño de la prueba, los

procedimientos experimentales y los riesgos asociados. Tras ello, todos los sujetos firmaron una hoja de consentimiento informado (anexo I y II), con el que aceptaban las normas establecidas para la participación en el proyecto de investigación. Todos los participantes pudieron terminar las sesiones ordenadas, y se pudieron registrar todas las pruebas sin ningún contratiempo o demora.

Para seleccionar a los sujetos experimentales se realizó un muestreo intencional opinático, ya que los sujetos debían cumplir con los siguientes requisitos o criterios: La inclusión de los participantes se realizó en base a los siguientes criterios.

Para garantizar unas condiciones experimentales adecuadas durante las sesiones de evaluación, se les informó a los participantes que debían cumplir las siguientes pautas:

- Realizar todas las pruebas en la misma franja horaria según la disponibilidad individual.
- No ingerir alimentos, alcohol, productos con cafeína ni tabaco en las 2-3 horas previas a cada intervención.
- No modificar de manera significativa la alimentación de los días previos.
- No ejecutar un esfuerzo alto o inusual 24 horas antes, manteniendo el régimen habitual de actividad física en todo caso.
- Llevar ropa y calzado adecuado y cómodo.

#### **4.2.1 Criterios de Inclusión**

- Ser mayor de edad.
- Ser activos según ACSM (2011) persona activa, es aquella que realiza ejercicios deportivos o entrenamientos generales (aeróbico, resistencia o mixto) al menos 3 veces por semana, en días no consecutivos.
- Tenían que tener una experiencia superior a 6 meses de entrenamiento en HIIT.
- Entrenar de manera sistemática con el método HIIT

#### **4.2.2 Criterios de Exclusión**

- Ingerir cualquier tipo de tratamiento farmacológico que pueda influir en el rendimiento (mejora o merma) del sujeto.
- Realizar otras actividades físicas con sobrecargas que pueda influir en los resultados del estudio durante su participación en el mismo.
- No respetar las pautas de entrenamiento dictadas en el estudio.
- No realizar 2 sesiones de entrenamiento del programa de 11 semanas de duración.
- No cumplir con los criterios de inclusión.

Tabla 2: Características de la muestra del estudio.

	Edad (Años)	Estatura (Metros)	Peso (Kg)	IMC (Kg./m <sup>2</sup> )
Hombres	35,8 ± 6,9	174,72±9,95	70,63±11,12	24,7 ± 1,7
Mujeres	27,2 ± 5,1	167,44±4,66	62,24±8,99	19,6 ± 0,8

IMC: Índice de masa corporal



### 4.3 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.3.1 Variable independiente

Protocolo HIIT: El protocolo HIIT consistía en uno de los tres protocolos HIIT, de 30, 60 y 90 segundos ratio de densidad 1:1 y con descanso pasivo, de una duración total de 10 minutos. La prueba se realizó en cicloergómetro en modo de carga de trabajo independiente de la frecuencia de pedaleo (Seiler, 2011). En todos los protocolos, los sujetos debían auto-seleccionar su intensidad de ejercicio en respuesta a una prescripción de "esfuerzo máximo de intervalo y sesión" (Seiler, 2013). Los sujetos fueron instruidos para permanecer sentados en el cicloergómetro durante la prueba. En total se realizaron 10, 5 o 3 intervalos de alta intensidad según el protocolo de 30, 60 o 90 segundos respectivamente, analizando la potencia máxima, media y pérdida de potencia entre intervalos, tomando el valor de dicha potencia cada 5 segundos durante los intervalos de trabajo del HIIT.

#### 4.3.2 Variables dependientes

- Incremento altura de salto CMJ: Resultado de la comparación de la altura máxima alcanzada en la realización de un salto (CMJ), pre y post a la realización de cada protocolo de HIIT, medido mediante plataforma de fuerza.

- Incremento potencia de salto CMJ: Resultado de la comparación de la potencia máxima alcanzada en la realización de un salto (CMJ), pre - post a la realización de cada protocolo de HIIT, medido mediante plataforma de fuerza.
- Potencia máxima: Resultado de la potencia máxima alcanzada en un cicloergómetro controlado electrónicamente durante la realización de cada protocolo de HIIT.
- Potencia media: Resultado de la potencia media alcanzada en cada protocolo de HIIT, realizada en un cicloergómetro controlado electrónicamente.
- Pérdida de potencia: Resultado de la pérdida de potencia alcanzada en cada protocolo de HIIT, realizada en un cicloergómetro controlado electrónicamente.
- % Intensidad máxima desarrollada: Porcentaje de la intensidad máxima alcanzada en cada protocolo HIIT, realizado en un cicloergómetro controlado electrónicamente.

#### 4.4 INSTRUMENTOS.

##### 4.4.1 Evaluación Antropométrica:

Con el fin de conocer el peso, la talla y la composición corporal, se realizó un estudio antropométrico. Debido a que el índice de masa corporal (IMC) relaciona el peso corporal por la talla del sujeto, da como resultado la cantidad de masa en kilogramos entre la superficie que ocupa en metros cuadrados. Este dato, no especifica ni la cantidad, ni de qué tipo de tejido (graso, muscular, óseo) se compone dicha masa. Para poder conocer la composición corporal de cada sujeto se realizó una impedancia bioeléctrica mediante un analizador de la composición corporal por segmentación con medida del tronco y de cada uno de los miembros, mediante 8 electrodos (Tanita BC 418) con la que se obtuvo los datos referidos cantidad en % y Kg de masa grasa, masa libre de grasa y masa ósea del organismo en general y de cada miembro corporal.

##### Procedimiento

Una semana antes de comenzar el programa experimental, se realizó las mediciones antropométricas de los sujetos. La valoración se llevó a cabo en una habitación acondicionada para tal acontecimiento, donde la temperatura se mantuvo a 20-22°C para el confort de los sujetos. Los participantes respetaron un estricto protocolo recomendado por Alvero-Cruz et al. (2011) con el fin de obtener la mayor fiabilidad y validez posible en la realización del test. En este protocolo se establece las siguientes pautas:

- No haber realizado ejercicio intenso en las 24 horas previas al test.
- Orinar antes de las mediciones.

- Medir el peso y la talla en cada evaluación.
- Instauración previa de un tiempo de 8-10 minutos en posición de decúbito supino.
- Correcta posición de los electrodos.
- Separar brazos y piernas del tronco.
- Retirar los elementos metálicos.
- Consignar situaciones como obesidad abdominal marcada, masa muscular, pérdidas de peso, ciclo menstrual y menopausia.

Una vez cumplido los requisitos previos, se les pidió que se descalzasen y se incorporaran al analizador de composición corporal (Tanita BC 418) mientras éste realizaba la toma de datos. Una vez obtenidos los datos de las mediciones, se registraron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para obtener los resultados del estudio antropométrico.



Figura 8: Test de impedancia bioeléctrica.

#### 4.4.2 Evaluación salto CMJ:

Con el fin de obtener un dato indicador del rendimiento del sujeto, se midió la fuerza explosiva (con reutilización de energía elástica y aprovechamiento del reflejo miotático) del tren inferior. Se utilizó el salto con contra movimientos o Counter Movements Jump (CMJ) para su medición. Este test constituye una batería de cuatro tipos de salto que pretenden evaluar diferentes características de la fuerza desarrollada por la musculatura de los miembros inferiores.

En la prueba de CMJ el ejecutante debe realizar un salto verticalmente mediante un protocolo postural muy exhausto y en el que se consigue gracias al ciclo de estiramiento acortamiento muscular (Bosco, 1983).

Puesto que el contra movimiento hacia abajo se realiza con una aceleración muy modesta y los extensores se activan solo en el momento de la inversión del movimiento, se puede afirmar que el estiramiento de los elementos elásticos y la sucesiva reutilización de energía elástica se hallan presentes, lo que nos da un dato importante a la hora de medir el rendimiento del sujeto (Gutiérrez-Dávila et al., 2012).

Para conocer la altura y la potencia del salto CMJ se utilizó una plataforma de fuerza MuscleLab (Ergotest Technology AS, Porsgrunn, Noruega) que registra el tiempo de vuelo, a partir del cual se obtiene el desplazamiento vertical del CM (Centro de masas)

### Procedimiento

La valoración del test de CMJ se realizó en el centro deportivo Ucam Sports Center en una sala perfectamente aclimatada con una temperatura de 20-22°C para el confort de los sujetos. La sala tenía espacio de 90m<sup>2</sup>, espacio suficiente para la correcta ejecución del test. Los sujetos experimentales realizaron un calentamiento previo, de 5 minutos de duración en cicloergómetro.

A continuación, se les realizó una demostración de la técnica del ejercicio por un licenciado en ciencias de la actividad física y del deporte especializado en la técnica del CMJ. Este protocolo requiere que el salto se tenga que realizar con restricción segmentaria (sin acción de balanceos de los brazos).

Primero colocando los pies sobre la plataforma de fuerza, separados a la anchura de los hombros, las manos se apoyan en la cintura, y a partir de esa posición se inicia el salto. Durante el salto se busca un rápido ciclo de estiramiento-acortamiento con el fin de obtener energía elástica, que, junto con la fuerza de la contracción excéntrica y concéntrica de los músculos implicados, el sujeto pueda ejercer la máxima potencia posible (Bosco et al., 1983). Teniendo que mantener la extensión y rigidez de las piernas en todo momento y la de las manos en la cintura.

Una vez demostrada la técnica los sujetos realizaron 3 saltos CMJ fuera de medición, con una potencia media para su aprendizaje y preparación neuromuscular. Tras el aprendizaje del salto y su preparación y calentamiento específico se inició la medición de los saltos válidos.

Se realizaron un total de 3 saltos por cada sujeto de estudio. Entre cada salto se dio un tiempo de recuperación de 1 minuto. Tomando el dato de mayor valor el válido para su registro mediante el software de la plataforma de fuerzas Musclelab (versión 1.0.9.2, Porsgrunn, Noruega)

Si realizaban algún salto mal ejecutado técnicamente se daba por nulo y se permitía poder repetirlo. Se dejó libre el ángulo de rodilla durante la fase de batida. Concluyendo siempre con 3 saltos correctamente ejecutados y analizados.

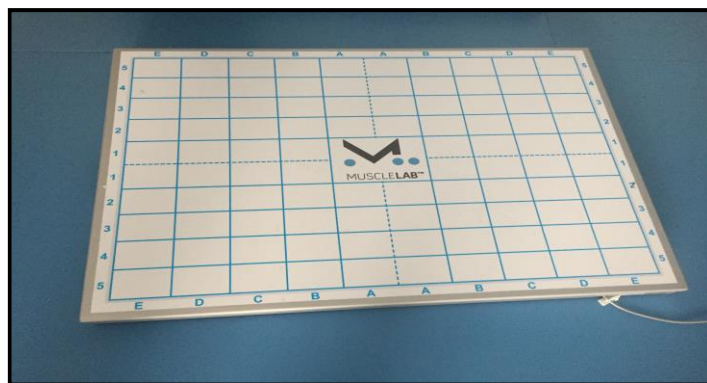


Figura 9: Plataforma de fuerza para salto CMJ durante la intervención.

#### **4.4.3 Evaluación respuesta metabólica mediante análisis de concentración de lactato en sangre:**

Para obtener la concentración de lactato en sangre, todas las extracciones se evaluaron mediante un analizador de lactato portátil LactatePro2, que mide el lactato de acuerdo al principio de determinación enzimática por reflexión fotométrica. En un tiempo de 10-15 segundos por dato, con un rango de medición

en sangre de 0.8 a 25 mmol/l, mediante una muestra de gota de sangre capilar extraída bajo normas de seguridad del dedo índice de la mano derecha del sujeto. (David et al., 2000) Para obtener una correcta e higiénica toma, se necesitó de material de enfermería como guantes de látex, gasas esterilizadas, lancetas y alcohol de 98°.

#### Procedimiento

Se tomó una muestra de lactato en sangre, inmediatamente al terminar cada sesión de la intervención, sin que pasaran más de 30 segundos, desde el final del protocolo HIIT hasta la toma de sangre. Siguiendo las indicaciones de Bisciotti (2002), la toma de lactato en sangre ofrece la información acerca del metabolismo empleado durante el entrenamiento, de esta forma, se podrá conocer la evolución de la respuesta del organismo al entrenamiento y así conocer la intensidad de la sesión.

La toma se realizó en el dedo índice de la mano derecha del sujeto. La medición se hizo sobre la bicicleta, por lo que el sujeto no debía de moverse para la medición, y fue realizado por una persona especializada en enfermería y control médico.



Se utilizó un Analizador portátil de concentración de lactato sanguíneo portátil lactato Lactate Pro 2 LT-1710 (Arkay KDK, Kyoto, Japón) Seiler (2011). La fiabilidad de este dispositivo ha sido reportada previamente (CV= 10,2%) (Tanner et al. 2010). Requiere una muestra sanguínea de 0,5  $\mu$ L y tiene un tiempo de análisis de 15 segundos. Las tiras reactivas se activan con la muestra sanguínea directamente desde el sitio de muestra.



Figura 10: Toma de dato de concentración de lactato en sangre.



#### 4.4.4 Frecuencia cardíaca:

Para saber si podemos hablar de un estado de alta intensidad durante un ejercicio se puede seguir el parámetro fisiológico de la frecuencia cardíaca máxima, en este caso, para que se considere de alta intensidad debe ser entre unos valores de 80-100% de frecuencia cardíaca máxima (American College of Sports Medicine, 1998) para ello se utilizó pulsómetros de frecuencia cardíaca polar H7 Bluetooth, y un Ipad2 con el software de control de la frecuencia cardíaca polar team 2, que permitía visualizar la frecuencia cardíaca de cada sujeto en tiempo real, lo que ayuda a poder mantener el umbral de frecuencia cardíaca exigido a los sujetos, pudiendo dar un feedback instantáneo y así asegurar y corroborar que se cumple dicha pauta de estar entre un rango de frecuencia cardíaca determinado durante toda la sesión.

#### Procedimiento

Los sujetos antes de comenzar el calentamiento, nada más llegar se colocaban su pulsómetro, previamente calibrado y registrado con sus datos personales (Edad, Altura, Peso, Nombre) se registraron los datos de frecuencia cardíaca media de cada sujeto en cada sesión. Una vez terminado la sesión el sujeto se quitaba el pulsómetro y los datos se guardaban automáticamente en el propio programa del control Polar H7 del Ipad2.



Figura 11: Imagen a tiempo real del programa de medición de frecuencia cardíaca

#### 4.4.5 Evaluación potencia aeróbica durante los protocolos HIIT:

Se utilizó un cicloergómetro para realizar las intervenciones ya que muchos de los estudios sobre HIIT se han desarrollado en cicloergómetro, siendo éste un aspecto interesante ya que se trata de un ejercicio universal que se puede aplicar a un amplio abanico de programas de actividad física (Macpherson et al., 2011; Follador et al 2018; Warr-di Piero et al 2018; Schoenmakers 2018; Nicole Green 2017; Da Silva 2017; Viaño-Santasmarinas 2017; Emerson Franchini et al. 2016; Rzonek 2016; Cassidy 2016; Wood 2016). Se utilizó un cicloergométrico controlado electrónicamente Technogym Bike Med Technogym SpA, Cesena, Italy).

##### Procedimiento

Los sujetos se subían al cicloergómetro e iniciaban un calentamiento de 5 minutos a una potencia de 100 W, con un ritmo de pedaleo por minuto constante, con el fin de aumentar la temperatura corporal y activar el sistema nervioso, y poder iniciar la prueba en el mejor estado posible.

Una vez transcurrido ese tiempo, los sujetos iniciaban el protocolo HIIT que les había sido asignado de forma aleatoria, tomando los datos de la potencia del cicloergómetro cada 5 segundos hasta el último segundo de la duración del protocolo.



Figura 12: Imagen del cicloergómetro utilizado para la realización de los protocolos HIIT.

#### 4.5 PROCEDIMIENTO

Al tratarse de un estudio cuasi-experimental con seres humanos, la presente tesis doctoral fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (anexo III). El diseño de este estudio incluyó un total de 5 sesiones para cada sujeto:



Figura 13. Proceso de toma de datos durante los protocolos HIIT.

##### 4.5.1 Primera sesión.

La primera sesión consistió en una charla informativa, donde se les explicaba a los sujetos, los criterios de inclusión y exclusión y se les informaba de todos los procesos en los que consistía el estudio.

##### 4.5.2 Segunda sesión.

La segunda sesión tuvo como objetivo la medición de las características antropométricas y la familiarización del sujeto con la metodología de los test de evaluación. La medición de talla y peso se realizó con un tallímetro y báscula respectivamente (descritos en el apartado de material) previamente calibrados. Tras la evaluación antropométrica, se llevó a cabo la familiarización con los test

de evaluación y los aparatos que se emplearían en las sesiones de entrenamiento en la sala del centro deportivo. Tras un calentamiento estándar, se explicó y practicó el test de saltos. En la superficie de la sala se instaló la plataforma de fuerzas para ejecutar una serie de 2 saltos continuos con flexión de rodillas y sin la acción de brazos (CMJ). Esta plataforma estaba conectada a un ordenador en el que fueron registrados los resultados de la prueba mediante el software específico (versión 1.0.9.2, Porsgrunn, Noruega). Tras la introducción de los datos de información del participante, se explicó las características de ejecución del CMJ en la plataforma de fuerzas:

- Subirse a la plataforma y permanecer de pie con las manos en las caderas en el centro de la misma.
- Permanecer en estático hasta que el miembro del equipo investigador responsable del manejo de la plataforma se lo indicase (aproximadamente durante 1 o 2 segundos).
- En este tipo de protocolo de saltos (continuados con flexión de rodilla) la plataforma registra los datos de cada salto desde la caída del salto anterior. Así, para poder obtener los valores de 3CMJ válidos, los participantes hacían un salto previo de la intensidad más baja posible para evitar fatiga tras la señal del investigador.
- Realizar 3 saltos máximos con un tiempo de 60 segundos de descanso entre un salto y el siguiente, y flexionando las rodillas.
- Permanecer estático al final de la serie de saltos hasta que el miembro del equipo investigador le señalase que debía abandonar la plataforma.
- Estas indicaciones se repitieron cada vez que se realizó el test de 3CMJ en todas las sesiones de evaluación.



No se consideró un salto válido si:

- Había un desequilibrio en la batida, vuelo o caída.
- La persona percibía que no lo había podido ejecutar con la máxima intensidad.
- No se respetaban los protocolos (p. ej. separar las manos de las caderas o flexionar el tronco en el CMJ).
- El análisis de la plataforma de saltos detectaba un error.

Al finalizar esta sesión, se estableció la fecha de la primera valoración que debía tener lugar en un plazo mínimo de 6-8 días. Así, los horarios de testaje se determinaron en función de la disponibilidad del participante y de la instalación. Una vez fijada la franja horaria, ésta se mantuvo para todas las evaluaciones.

#### **4.5.3 Tercera, cuarta y quinta sesión.**

En todas las evaluaciones se comprobó en el momento de llegar a la instalación la condición ambiental de la temperatura. En cuanto el participante llegaba a la instalación se les ofrecía una botella de agua (Aquabona, Begano S.L., España) para que bebiesen “ad libitum” hasta antes de la celebración de la prueba. Se llevó a cabo al menos 48h después de completar la familiarización. Todos los sujetos fueron citados en tres fechas distintas, con un margen de una semana entre una cita y otra. Todas las condiciones experimentales se llevaron a cabo en un ambiente controlado en el centro deportivo Ucam sport center,

(Murcia) en una sala a 20-21 grados de temperatura y aislada de todo ruido o distracciones ajenas al estudio.

Se realizaron las sesiones de medida de datos de los diferentes protocolos HIIT, ya preestablecidos de forma aleatoria sin que el sujeto conociera anteriormente el protocolo que le tocara, con sus sucesoras pruebas de medida de rendimiento (CMJ, del inglés counter movement jump), toma de concentración de lactato en sangre y análisis del (PAM, potencia aeróbica máxima). Todas estas pruebas se realizaron en la misma sala del centro deportivo, totalmente equipado y homologado para la realización de estas pruebas. Las sesiones estuvieron separadas al menos por 6-8 días.

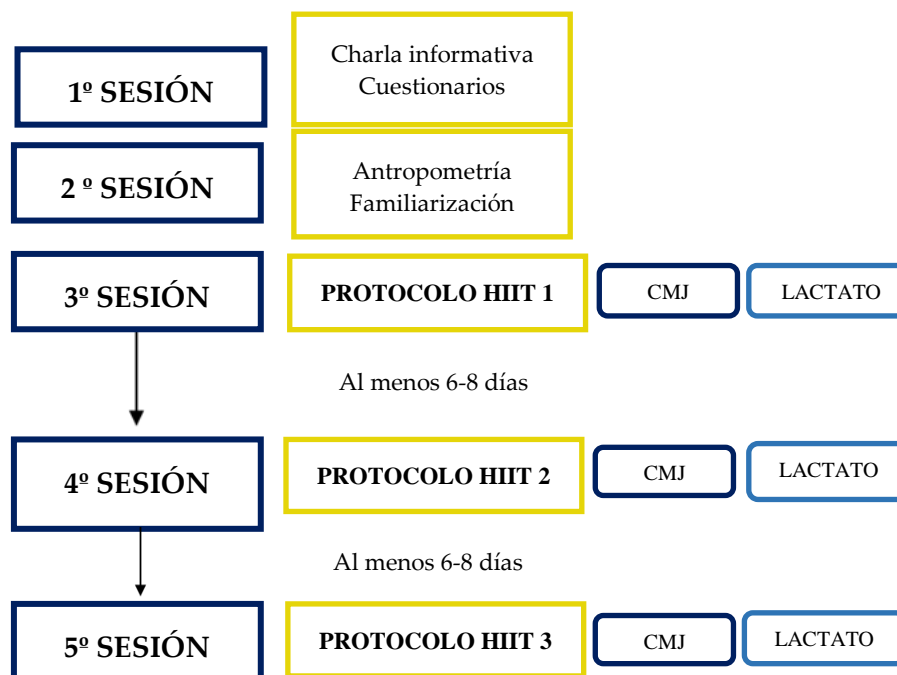


Figura 14. Esquema general del diseño del estudio.

#### 4.5.4 Calentamiento

En todas las sesiones se realizó el mismo calentamiento que consistía en: 5 minutos de pedaleo continuo a 100W con 1 min de reposo Nicol (2014) antes de iniciar la prueba se permitía el ensayo del protocolo de medición de los 3 CMJ en la plataforma.

Tras el minuto de descanso, se realizó el Pre-test de saltos siguiendo el mismo protocolo previamente descrito y tras la toma de lactato al finalizar la prueba HIIT, se volvió a realizar el Post-test de los saltos, siguiendo el mismo protocolo previamente descrito. Los sujetos realizaron dos ensayos para cada uno de ellos forma de salto con recuperación pasiva de 60 segundos entre saltos. Los datos de las curvas de fuerza-tiempo, potencia-tiempo y desplazamiento del centro de gravedad-tiempo aportados por el software específico de la plataforma de fuerzas se exportaron a una hoja de cálculo (Excel, Microsoft Office).

#### 4.5.5 Protocolos entrenamiento interválicos de alta intensidad

La sesión HIIT consistió en tres protocolos HIIT (30, 60 y 90 segundos ratio de densidad 1:1 y con descanso pasivo, de una duración total de 10 minutos. La prueba se realizó en cicloergómetro en modo de carga de trabajo independiente de la frecuencia de pedaleo (Seiler, 2011). En todos los protocolos, los sujetos debían auto-seleccionar su intensidad de ejercicio en respuesta a una prescripción de "esfuerzo máximo de intervalo y sesión" (Seiler, 2013). Los sujetos fueron instruidos para permanecer sentados en el cicloergómetro durante la prueba.

En total se realizaron 10, 5 o 3 intervalos de alta intensidad según el protocolo de 30, 60 o 90 segundos respectivamente, analizando la potencia máxima, media y perdida de W entre intervalos, tomando el valor de dicha potencia cada 5 segundos durante los intervalos de trabajo del HIIT.



Figura 15. Diseño de la tercera, cuarta y quinta sesión.

#### 4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y TRATAMIENTO DE DATOS.

Para el análisis estadístico se empleó el programa IBM SPSS Statistics for Windows en su versión 25.0 (Armonk, NY: IBM Corp.) Los estadísticos descriptivos se reportaron como media  $\pm$  desviación estándar.

Los análisis preliminares incluían la comprobación de supuestos como la normalidad, la homogeneidad de las varianzas. No se observaron violaciones de la normalidad de los datos en la prueba de Kolmogorov-Smirnov, que condujo al uso de estadísticas paramétricas. La homogeneidad de las varianzas se llevó a cabo mediante la prueba de Levene.

Asimismo, todas las variables se analizaron de acuerdo con la prueba ANOVA de dos vías (momento: antes o después; y protocolo) para examinar si existían diferencias estadísticamente significativas en este tipo de variables entre los protocolos.

Sin embargo, en relación con el desarrollo de la potencia en cada uno de los protocolos, de forma independiente, se llevó a cabo una comparación entre los diferentes intervalos que componían cada una de los protocolos mediante un ANOVA de medidas repetidas. Las pruebas post hoc que se aplicaron fueron Tukey cuando se asumieron varianzas iguales y Games-Howell si no se asumieron varianzas iguales.

Para todas las variables, el nivel de significación estadística se estableció en  $p \leq 0.05$ , con un intervalo de confianza para las diferencias del 95%. El tamaño del efecto (TE), considerado como grande (.14), mediano (.06), o menor (.01) según

el efecto Cohen (Fritz, 2012; Levine, 2002), fue calculado usando la estadística parcial eta-cuadrado ( $\eta^2$ ) para establecer las diferencias significancias encontradas (Richardson, 2011).

## **V - RESULTADOS**





## 5.1 RESULTADOS HOMBRES.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de las respuestas agudas en las variables fisiológicas, nivel de concentración de lactato, media de la frecuencia cardiaca y los resultados encontrados de las respuestas agudas en las variables físicas, altura en salto CMJ, potencia en salto CMJ, potencia máxima desarrollada, potencia media desarrollado, perdida de potencia y el porcentaje de intensidad media desarrollada en los diferentes protocolos HIIT en hombres adultos activos.

### 5.1.1 Resultados variables fisiológicas en hombres:

En las tablas 3 se pueden observar las características antropométricas del grupo de los hombres durante el estudio. Se comprobó que el grupo de personas presenta un estado nutricional, o indicadores de estado nutricional en relación con la composición corporal, poniendo de manifiesto que la población de estudio se encontraba categorizada como normopeso. Así como los resultados obtenidos a partir de la prueba de homogeneidad K-S indicaron un cumplimiento de esta en la población de estudio en todas las variables de estudio.

Tabla 3: Características antropométricas del grupo experimental del estudio en hombres (n=22).

	Edad (años)	IMC (Kg./m <sup>2</sup> )
Hombres	35,8 ± 6,9	24,7 ± 1,7

Leyenda: IMC: Índice de masa corporal; Sig: significación estadística.

En la tabla 4 se exponen los resultados de los parámetros fisiológicos de la intervención en hombres. Los valores son la media  $\pm$  SD (n=22). En la variable de la concentración de lactato no se observaron diferenciación significativa cuando se comparó el ácido láctico en los tres momentos (F=1,000; p=0,337;  $\eta p^2$  =0,031).

En la variable de la media de la frecuencia cardiaca hubo diferencias significativas (F=10,344; p=0,000;  $\eta p^2$  =0,247); entre los protocolos 30 vs 90 (p=0,000\*; (P<0,001; IC 95%= [4,5286-14,6533];  $\eta p^2$ =0,247)

Tabla 4: Resultados de los parámetros fisiológicos de la intervención en hombres, concentración de lactato y frecuencia cardiaca media.

HIIT	Protocolo 30"		Protocolo 60"		Protocolo 90"		Sig.
	X	SD	X	SD	X	SD	
[La]max	16,6	$\pm$ 0,6	15,9	$\pm$ 0,6	17,1	$\pm$ 0,60	0,682
FC	175,4	$\pm$ 8,4	170,7	$\pm$ 6,2	165,8	$\pm$ 6,06	0,832

Leyenda: [La]max: Concentración de lactato en sangre; FC: Frecuencia cardiaca; Sig: significación estadística.

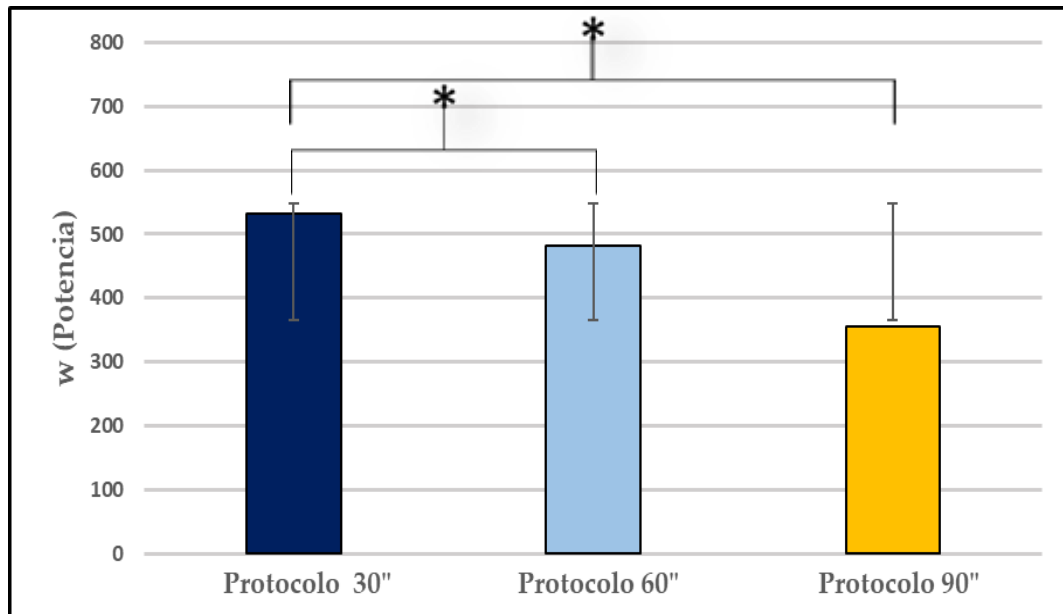
### 5.1.2 Resultados variables físicas en hombres:

En la tabla 5 se exponen los resultados de los parámetros físicos de la intervención en el incremento de altura en salto CMJ e incremento de potencia en salto CMJ en hombres. Los valores son la media  $\pm$  SD. En la variable del incremento de la altura en el salto CMJ, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos HIIT ( $F=0,385$ ;  $p=0,682$ ;  $\eta p^2=0,012$ ). En la variable del incremento de la potencia en el salto CMJ, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=0,185$ ;  $p=0,832$ ;  $\eta p^2=0,006$ ).

Tabla 5: Resultados de los parámetros físicos de la intervención en el incremento de altura en salto CMJ e incremento de potencia en salto CMJ en hombres

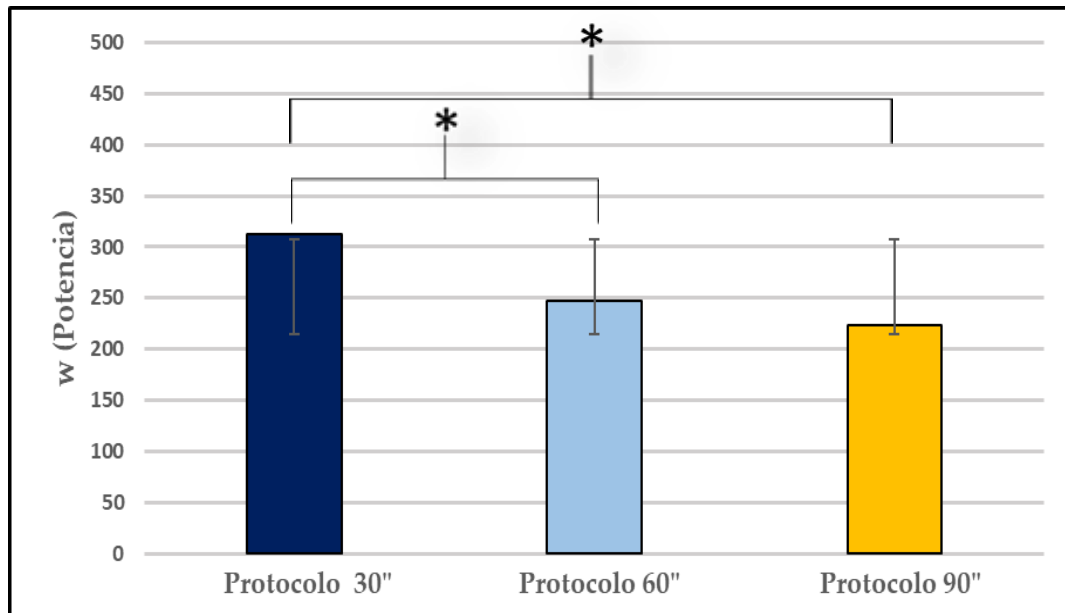
HIIT	Protocolo 30"		Protocolo 60"		Protocolo 90"		Sig.
	X	SD	X	SD	X	SD	
IA CMJ (cm)	-4,56	$\pm$ 3,3	-3,75	$\pm$ 3,6	-3,75	$\pm$ 3,6	0,682
IW CMJ (W/kg)	-2,95	$\pm$ 2,5	-2,80	$\pm$ 2,9	-2,37	$\pm$ 4,1	0,832

Leyenda: IA CMJ: Incremento altura en salto CMJ; IW CMJ: Incremento potencia en salto CMJ; Sig: significación estadística.



**Figura 16:** Comparación potencia máxima desarrollada en diferentes protocolos HIIT en hombres.

En los parámetros físicos de la relación de las potencias, la variable potencia máxima se encontró diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=9,237$ ;  $p=0,000$ ;  $\eta^2=0,227$ ). En la comparación entre los protocolos hubo diferencias significativas entre los grupos 30 vs 90 ( $p=0,000^*$ ) de la comparación múltiple ( $p=0,000^*$ ;  $\eta^2=0,227$ ;  $IC95\% = [74,7252-277,5475]$ ). También hubo diferencias significativas entre los protocolos 90 vs 60 ( $p=0,011^*$ ;  $\eta^2 = 0,227$ ;  $IC95\% = [-227,7293- -24,9071]$ ).



**Figura 17:** Comparación potencia media desarrollada en diferentes protocolos HIIT en hombres.

En la variable de potencia media se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=14,926$ ;  $p=0,000$ ;  $\eta^2=0,322$ ). En la comparación entre los protocolos las diferencias significativas se encontraron entre los grupos 30 y 60 ( $p=0,001^*$ ) de la comparación múltiple ( $p=0,000^*$ ;  $\eta^2=0,322$ ;  $IC95\% = [24,7917- 105,9356]$ ) Y entre los protocolos 30 y 90 ( $p=0,000^*$ ) de la comparación múltiple ( $p= 0,000^*$ ;  $\eta^2 =0,322$ ;  $IC95\% = [48,6098- 129,7538]$ ).

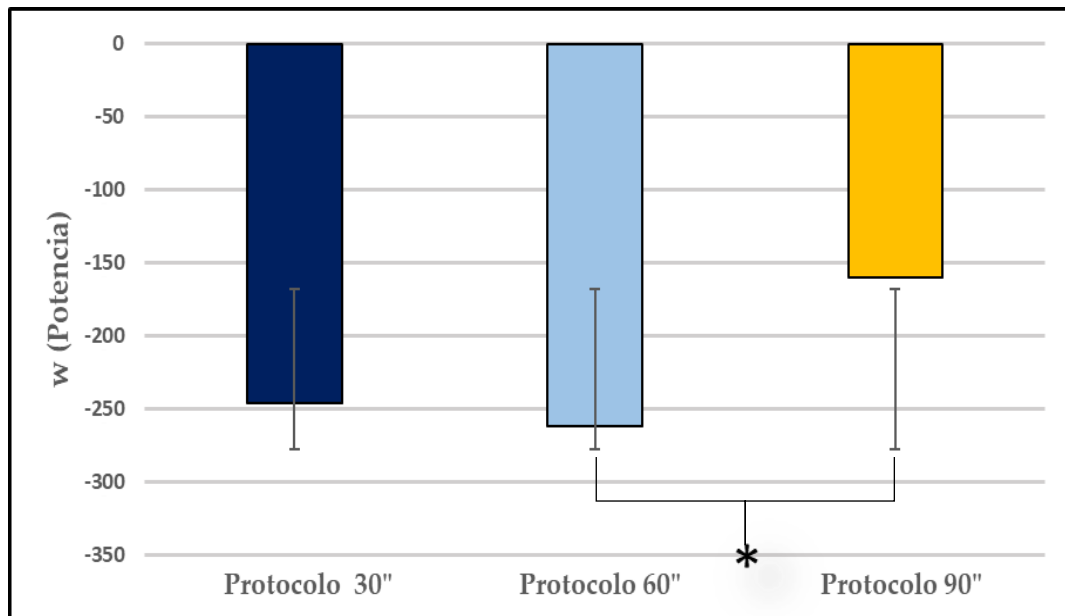
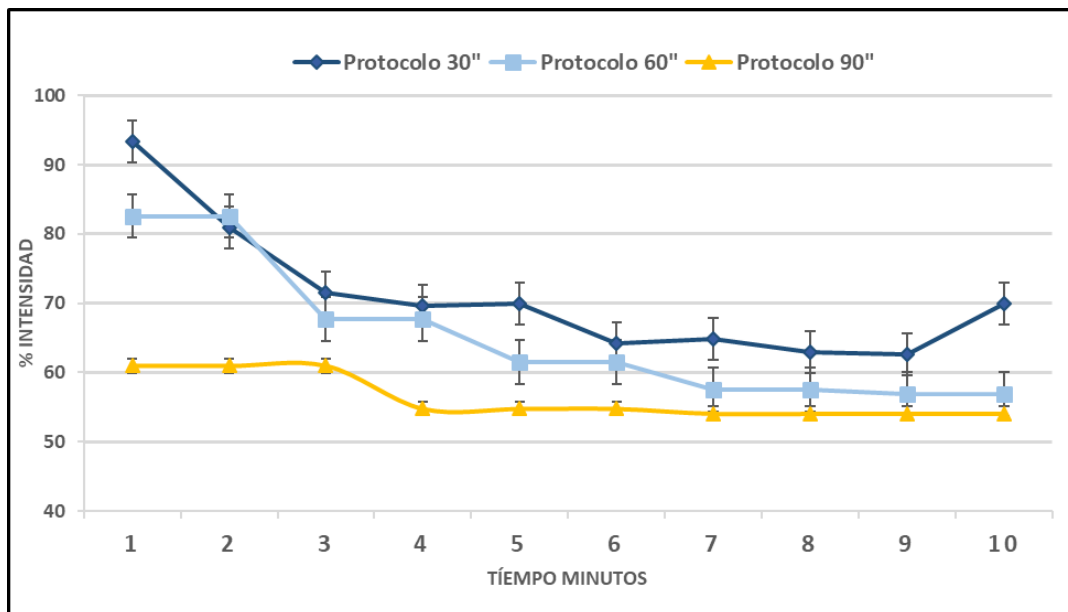


Figura 18: Comparación potencia perdida en diferentes protocolos HIIT en hombres.

En la variable de potencia perdida se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=3,217$ ;  $p=0,047$ ;  $\eta p^2=0,093$ ). En la comparación entre los protocolos hubo diferencia significativa entre los protocolos de 60 y 90 ( $p=0,045^*$ ) de la comparación múltiple ( $p=0,047^*$ ;  $\eta p^2=0,093$ ;  $IC95\% = [-205,6400 - 1,4582]$ ).



**Figura 19:** Desarrollo de la intensidad de los diferentes protocolos HIIT en hombres.

En la variable de % intensidad desarrollada, se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=7,991$ ;  $p=0,001$ ;  $\eta p^2=0,202$ ). En la comparación entre los protocolos hubo diferencia significativa entre los protocolos de 30 y 90 ( $p=0,001^*$ ) de la comparación múltiple ( $p=0,001^*$ ;  $\eta p^2=0,202$ ;  $IC95\% = [0,0601-0,2417]$ ).





## 5.2 RESULTADOS MUJERES.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de las respuestas agudas en las variables fisiológicas, nivel de concentración de lactato, media de la frecuencia cardiaca y los resultados encontrados de las respuestas agudas en las variables físicas, altura en salto CMJ, potencia en salto CMJ, potencia máxima desarrollada, potencia media desarrollado, perdida de potencia y el porcentaje de intensidad media desarrollada en los diferentes protocolos HIIT en mujeres adultas activas.

### 5.2.1 Resultados variables fisiológicas en mujeres.

En las tablas 6 se pueden observar las características antropométricas del grupo de las mujeres durante el estudio. Se comprueba que el grupo de personas presenta unas características antropométricas homogéneas en todas las variables de estudio.

Tabla 6: Características antropométricas del grupo experimental del estudio en mujeres (n=10).

	Edad (años)	IMC (Kg./m <sup>2</sup> )
Mujeres	27,2 ± 5,1	19,6 ± 0,8

IMC: Índice de masa corporal; Sig: significación estadística.

En la tabla 7 se exponen los resultados de los parámetros fisiológicos de la intervención en mujeres. Los valores son la media  $\pm$  SD (n=10). En la variable de la concentración de lactato no se observaron diferenciación significativa cuando se comparó el ácido láctico en los tres momentos ( $F=0,990$ ;  $p= 0,385$ ;  $\eta p^2 =0,068$ ). En la variable de la frecuencia cardíaca media, no se observaron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=0,657$ ;  $p= 0,526$ ;  $\eta p^2 =0,046$ ).

Tabla 7: Resultados de los parámetros fisiológicos de la intervención en mujeres.

HIIT	Protocolo 30"		Protocolo 60"		Protocolo 90"		Sig.
	X	SD	X	SD	X	SD	
[La]max	16,2	$\pm$ 2,04	17,9	$\pm$ 2,83	17,3	$\pm$ 3,29	0,385
FC	166,6	$\pm$ 7,63	167	$\pm$ 5,92	164	$\pm$ 5,27	0,526

Leyenda: [La]max: Concentración de lactato en sangre; FC: Frecuencia cardíaca; Sig: significación estadística.

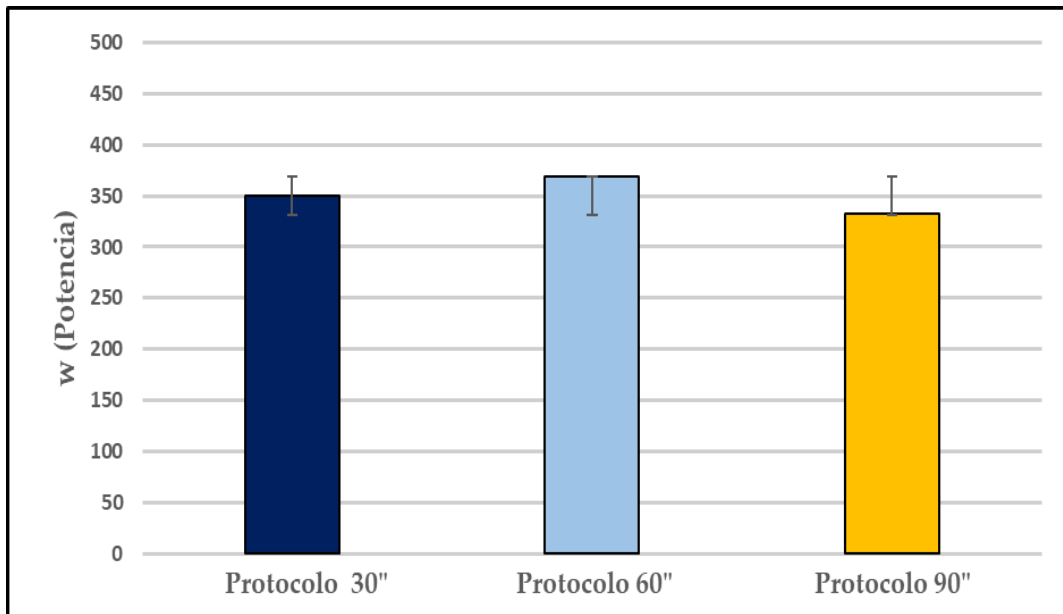
### 5.2.2 Resultados variables físicas en mujeres.

En la tabla 8 se exponen los resultados de los parámetros físicos de la intervención en mujeres. Los valores son la media  $\pm$  SD. En la variable del incremento de la altura en el salto CMJ, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos HIIT ( $F=0,341$ ;  $p=0,714$ ;  $\eta p^2=0,025$ ). En la variable del incremento de la potencia en el salto CMJ, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=0,104$ ;  $p=0,902$ ;  $\eta p^2=0,008$ ).

Tabla 8: Resultados de los parámetros físicos de la intervención en el incremento de altura en salto CMJ e incremento de potencia en salto CMJ en mujeres.

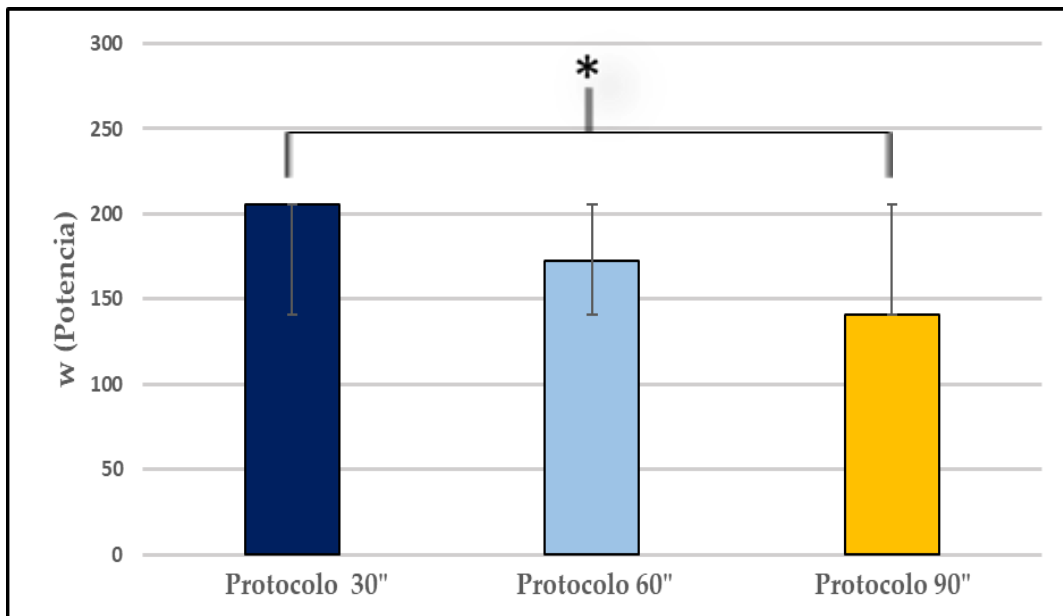
HIIT	Protocolo 30"		Protocolo 60"		Protocolo 90"		Sig.
	X	SD	X	SD	X	SD	
IA CMJ (cm)	-3,86	$\pm$ 2,02	-3,24	$\pm$ 1,85	-3,08	$\pm$ 2,72	0,714
IW CMJ (W/kg)	-2,42	$\pm$ 1,06	-2,43	$\pm$ 1,52	-2,66	$\pm$ 1,36	0,902

Leyenda: IA CMJ: Incremento altura en salto CMJ; IW CMJ: Incremento potencia en salto CMJ



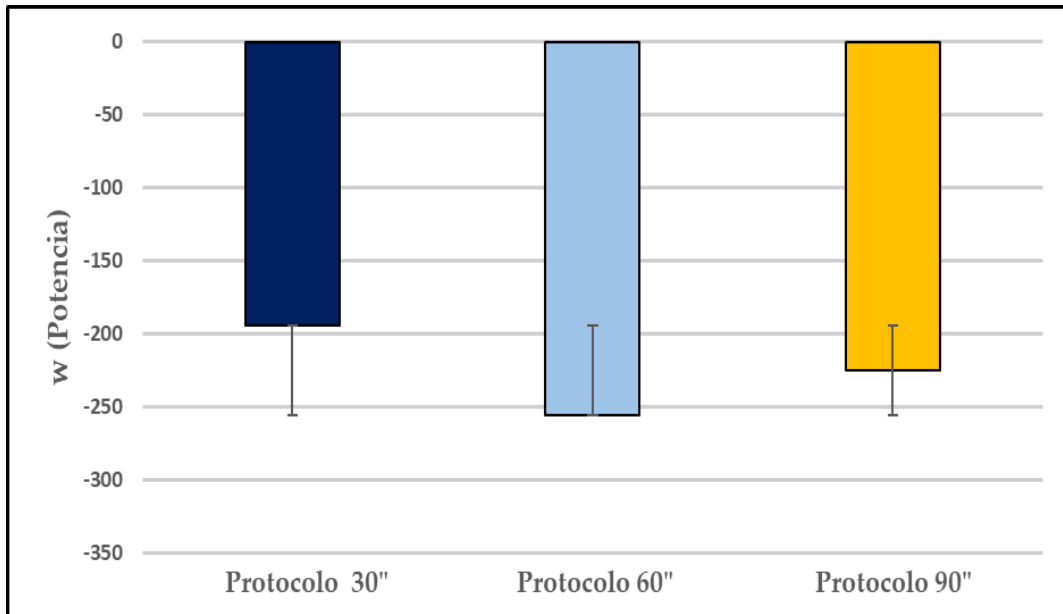
**Figura 20:** Comparación potencia máxima desarrollada en diferentes protocolos HIIT en mujeres.

En la relación de resultados de la potencia en los diferentes protocolos de HIIT en mujeres, en la variable potencia máxima, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=0,309$ ;  $p=0,737$ ;  $\eta p^2=0,022$ ).



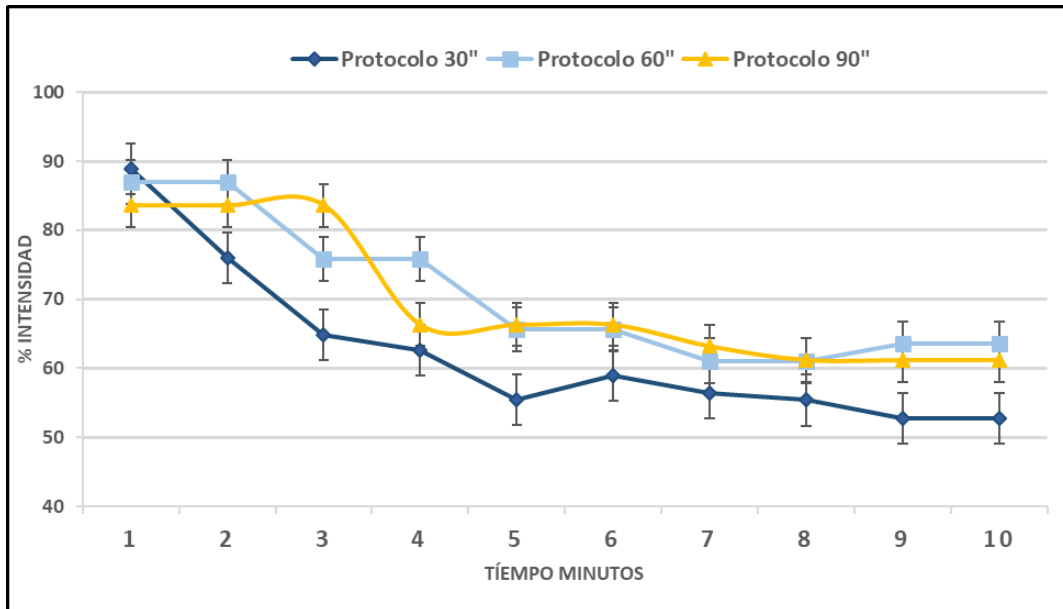
**Figura 21:** Comparación potencia media desarrollada en diferentes protocolos HIIT en mujeres.

En la variable de potencia media se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=10,975$ ;  $p=0,000$ ;  $\eta p^2=0,448$ ). En la comparación entre los protocolos las diferencias significativas se encontraron entre los protocolos 30 y 90 ( $p=0,000^*$ ) de la comparación múltiple ( $p=0,000^*$ ;  $\eta p^2=0,448$ ;  $IC95\% = [30,4566 - 98,9434]$ ).



**Figura 22:** Comparación potencia perdida en diferentes protocolos HIIT en mujeres.

Respecto a la potencia perdida no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=0,776$ ;  $p=0,470$ ;  $\eta p^2=0,054$ ).



**Figura 23:** Desarrollo de la intensidad de los diferentes protocolos HIIT en mujeres.

El % de intensidad desarrollada en los diferentes protocolos HIIT en mujeres, no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tres protocolos ( $F=0,885$ ;  $p=0,424$ ;  $\eta^2=0,062$ ).





## **VI - DISCUSIÓN**



## VI - DISCUSIÓN

### 6.1 RESPUESTAS AGUDAS FISIOLÓGICAS

El objetivo principal de la presente tesis doctoral, fue valorar los efectos de tres protocolos distintos de tiempo del intervalo de trabajo/ descanso sobre el tiempo total de una sesión de HIIT, con carga auto seleccionable y hasta la extenuación, “all out”, en cicloergómetro.

Se investigó hasta qué punto diferentes protocolos HIIT de tiempo/trabajo similar, podrían influir en las respuestas fisiológicas en hombres y mujeres adultos activos. Debido a la creciente popularidad de HIIT, se quiere comprobar cómo influye en los protocolos que varían en la relación trabajo/descanso, intensidad, y el tipo de ejercicio en las respuestas fisiológicas, ya que podrían ser esenciales para prescribir eficazmente un HIIT. La mayoría de los resultados en las distintas variables de estudio fueron similares. Lo que sugiere que estos regímenes provocan un esfuerzo cardiorrespiratorio y perceptivo similar a pesar de la diferente duración de los intervalos de trabajo/descanso. Autores como Tucker et al. (2015), obtuvieron resultados de naturaleza similar, demostrando que cuando se utiliza una intensidad objetivo del 90-95% de la frecuencia cardíaca máxima, ambos protocolos (4 intervalos a 4 minutos de duración el intervalo y 16 intervalos a 1 minuto de duración el intervalo) realizadas por varones jóvenes recreativamente activos, producen respuestas fisiológicas generales bastante similares.

Al igual que en el estudio de Nicole Green, et al. (2017), que se observó, que los resultados fueron similares entre las diferentes propuestas de entrenamiento, siendo esta vez, en dos HIIT distintos, HIIT de bajo volumen y HIIT de alto volumen. Lo que sugiere que estos regímenes provocan un esfuerzo cardiorrespiratorio y perceptivo similar a pesar de la diferente intensidad y duración del trabajo. De forma similar los datos encontrados en esta investigación muestran que los HIIT con el mismo tiempo de duración, pero con intervalos de trabajo/descanso distinto, provocan cambios similares en las variables fisiológicas observadas.

### 6.1.1 Respuesta aguda sobre la concentración de lactato en sangre

Se observa que una de las adaptaciones del entrenamiento de resistencia es la menor liberación de lactato a sangre (Lucia et al., 2000) así como un mayor aumento (MacRae, 1992) por una mayor capacidad de gluconeogénesis, no sólo después de un esfuerzo sino también durante el mismo (Bergman et al., 2000) o bien para utilizar el lactato como sustrato durante el esfuerzo de resistencia (MacRae, et al., 1995). En el presente estudio la concentración de lactato, se mostró similar, sin encontrarse diferencias significativas en comparación entre los tres protocolos tanto en hombres (Tabla 4) como en mujeres (Tabla 7).

Uno de los motivos de este resultado, según Tucker et al. (2018), se debe a que los intervalos de recuperación son a una intensidad suficiente, para ayudar, a la limpieza del lactato oxidativo (Brooks, 1986). Estas compensaciones probablemente explican las concentraciones similares de lactato en la sangre observado en el punto final de los 3 protocolos HIIT.

Las respuestas de concentración de lactato en sangre con esos protocolos, de dicho estudio, 16 intervalos de 1 minuto de duración cada intervalo (Esfandiar et al., 2014; Gillen et al., 2012; Hood et al., 2011; Jacobs et al., 2013; Little et al., 2010,2011; Skelly et al.,2014) han sido similares. En el estudio de Razonek et al. (2016) las sesiones de entrenamiento, utilizando los intervalos con intensidades de trabajo más altas, no produjeron necesariamente las mayores respuestas promedio o pico en las variables medidas. En dos de los ensayos, 80/50 y 100/0 de PPO el promedio y el pico de frecuencia cardíaca, y concentración de lactato en sangre fue similar en ambos, llegando a la conclusión que a la exposición repetida de altas concentraciones de lactato se podrían estimular las adaptaciones que conduzcan a una mayor eliminación del lactato (Brooks, 2000) una mejor

capacidad de amortiguación (Gibala, 2016; Weston, 1997) y un mayor contenido de enzimas mitocondriales (Hashimoto, 2007) que podría mejorar potencialmente la capacidad de un individuo para tolerar el ejercicio de alta intensidad.

Por lo tanto, durante una sesión de HIIT, el lactato acumulado debido a la alta demanda energética y la contribución glucolítica puede ser reutilizado tanto en el interior de la propia fibra que lo ha producido como en fibras vecinas o en otros tejidos tras haber salido a la sangre (Buchheit et al. 2009; Ohya, 2013). De todos modos, la reconversión de ácido láctico a piruvato para comenzar la glucogénesis no parece ser mayor del 50% del ácido láctico total reutilizado, incluso bajo las mejores condiciones, siendo más predominante en fibras rápidas (Bergman et al. 2000). Por lo que según Gladeen, (1985) y Gangsbo, (1994), la principal vía de reutilización del ácido láctico será la oxidación.

Otra posible explicación de la similar respuesta en las concentraciones de lactato con diferentes tipos de tiempos de trabajo/descanso podría ser que, hasta 1 minuto aproximadamente de recuperación la actividad de la pausa, no fue suficiente como para permitir el traslado del lactato sanguíneo a otros tejidos para su captación y reutilización (Bangsbo, 1994; Brooks, 2000). Además, se ha evidenciado que durante el esfuerzo la musculatura activa es el principal destino para la reoxidación del lactato (Hermansen, 1972; Brooks, 1986; Bangsbo, 1994).

Diversos estudios indican que la musculatura activa es el principal recurso para reutilizar lactato, y secundariamente, ser oxidado en el hígado, corazón, riñones y musculatura menos activa (Hermansen, 1972; Brooks, 1986; Bangsbo, 1994). Una de las variables que si puede hacer que cambie la cantidad de concentración de lactato es % de intensidad del esfuerzo (Gibala, 2006). Anteriormente los estudios comentados, muestran diferentes protocolos de entrenamientos, pero con una misma referencia de % de intensidad de trabajo/descanso. También el estudio de Viaosantamarinas et al. (2016) muestra resultados relativamente similares en su concentración de lactato en dos protocolos de HIIT distintos. Trabajos anteriores de Astrand (1960) y Christensen (1960) mostraron que los intervalos más largos (2 a 3 minutos) produjeron concentraciones de lactato en sangre más altas que intervalos más cortos (30 segundos a 1 minuto) con la diferencia de que sus intervalos de trabajo están por encima del tiempo de los mencionados (2-3 minutos de intervalo) mientras que, en la presente tesis, los intervalos de trabajo no superan los 90 segundos.

En el estudio de Wood et al. (2016), también se observa una mayor concentración de lactato en un protocolo SIT vs HIIT ya que en el SIT, la  $W_{max}$  es del 130% vs el 85% del HIIT. Sus resultados pueden ser causados por una mayor oxidación-glucolítica rápida y la contribución de la fibra muscular a 130 vs 85%  $W_{max}$ , lo que lleva a una mayor dependencia del metabolismo no oxidante y por lo tanto una mayor acumulación de concentración de lactato en sangre. Sin embargo, estos hallazgos no apoyan los resultados con respecto a los efectos de la duración de los intervalos en la concentración de lactato en sangre, como los intervalos en SIT fueron 50% más cortos que en HIIT, pero a una tasa de trabajo notablemente más alta equivalente al 130% de  $W_{max}$ , indica que no sólo la duración sino también el % de intensidad del intervalo afecta a la concentración de lactato en sangre.

Otro estudio con comparación de protocolos, HIIT con diferentes tipos de pausa, activa o pasiva con intervalos de duración de trabajo de 3 minutos (Connolly et al., 2013) no encontraron diferencia estadísticamente significativa en la concentración de lactato Connolly et al., (2013). Así que, en general, parece que son necesarios intervalos de pausa superiores a los 3 minutos para percibir los beneficios de limpieza de la pausa activa sobre la concentración de lactato (Dorado et al., 2004; Greenwood, 2008; Connolly, 2003; Ali, 2012; Bangsbo, 1994; Weltman, 1977). La razón en la que la demanda de ATP puede ser atendida por la vía glucolítica o por la fosforilación oxidativa es dependiente del tipo de fibra muscular: las fibras blancas dependen más de la primera vía y las rojas de la segunda (Juel, 1999). Con lo cual, una mayor proporción de fibras tipo I permitiría depender menos de la vía glucolítica y utilizar más lactato como sustrato para la resíntesis de ATP en esfuerzos de elevada intensidad. Es más, el contenido



mitocondrial de las fibras tipo II tiende a aumentar como adaptación al entrenamiento de elevada intensidad (Holloszy, 1984) lo que podría ayudar a que éstas dependiesen menos de las vías glucolíticas para conseguir ATP. Los mecanismos de fatiga son muy variados. Quizás alcanzaron la fatiga mediante otros factores que han encubierto el efecto sobre el lactato.

### **6.1.2 Respuesta aguda sobre la frecuencia cardíaca.**

Respecto a la medición de la frecuencia cardíaca se ha considerado durante mucho tiempo que es un medio importante para vigilar la intensidad del ejercicio, pero muchas investigaciones demuestran que no está relacionada con la demanda sistémica de O<sub>2</sub> ni con la renovación de la energía muscular (Astorino, 2011).

El efecto acumulativo entre los intervalos puede ser especialmente importante en HIIT con protocolos de trabajo/descanso corto (< 30") y medio-largos (1-2') ya que no siempre permiten alcanzar la frecuencia cardíaca máxima debido al retraso de la frecuencia cardíaca al comienzo del ejercicio (Buchheit et al., 2013). Se ha observado que la pausa activa logra mantener frecuencias cardíacas superiores en comparación con la pasiva en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad (Buchheit et al., 2009; Miladi et al., 2011). Repitiendo intervalos de 15:15 segundos hasta la extenuación, se comprobó que se alcanzó una frecuencia cardíaca máxima (183,3 vs 182,5; 99,7% vs 99,2% de la frecuencia cardíaca máxima) y una frecuencia cardíaca media (166,6 vs 165,6 ppm; 90,7% vs 90,1% de la frecuencia cardíaca máxima) similar (Dupont et al., 2004). De nuevo, con una sesión de HIIT con un protocolo de intervalo trabajo/descanso de misma

densidad 1:1, 15:15 segundos, realizado hasta la extenuación, la frecuencia cardíaca máxima (184,9 vs 185 ppm; 97,1% vs 97% de la frecuencia cardíaca máxima) y la frecuencia cardíaca media (174,2 vs 175,5 ppm; 91,3% vs 92% de la frecuencia cardíaca máxima) alcanzadas fueron similares.

En el presente estudio se observa cómo no hubo diferencias en el resultado obtenido en hombres ni en mujeres, 85 y 95% de frecuencia cardíaca máxima en los 3 protocolos (Tabla 4 hombres y tabla 7 mujeres). Del mismo modo Viaosantamarinas, et al. (2017) y Olney et al. (2018) comprobaron como la diferencia de sus protocolos en cuanto a utilizar HIIT corto o HIIT largo no modificó la frecuencia cardiaca de forma significativa, además utilizaron la escala de esfuerzo percibido también como variable de medición de la intensidad y tampoco obtuvieron resultados distintos.

También, Patrick et al. (2017) en su estudio tuvieron resultados similares entre los protocolos HIIT de 90 y 95% frecuencia cardiaca Max. Las diferencias más notables en el tiempo empleado 90% y 95% frecuencia cardiaca Max se encontraron entre el protocolo de recuperación de 2 minutos y el protocolo de recuperación del propio criterio del sujeto (64 y 121 segundos, respectivamente), mientras que en nuestro estudio la diferencia más abultada fue entre los protocolos de 30 y 90 segundos en los hombres, siendo también una relación de tiempo similar.

Los resultados sugieren que la frecuencia cardiaca no puede informar a los entrenadores y atletas sobre los requisitos metabólicos aeróbicos y sobre la intensidad del trabajo físico realizado en una sesión de HIIT, ya que se muestran

similitudes de frecuencia cardíaca en la meseta de la sesión y en la frecuencia cardíaca media a lo largo de los intervalos (Smilos, 2017).

Además, en el estudio de Seo et al, (2019) observaron que la falta de tiempo de descanso entre los sprint máximos puede facilitar el proceso de fatiga que causa una alta frecuencia cardíaca durante la fase. Por ejemplo, la frecuencia cardíaca de los individuos durante la fase de reposo en el grupo 1:2 ( $157,5 \pm 7,8$  ppm) fue mayor que en los grupos 1:4 ( $132,6 \pm 8,4$  ppm) y 1:8 ( $127,6 \pm 8,9$  ppm) en este estudio. Especularon con que el período de descanso de 60 segundos no proporciona un tiempo sustancial para resintetizar el ATP después de un intervalo de 30 segundos durante el HIIT. Los valores de la frecuencia cardíaca media en cada sesión de nuestro estudio son ligeramente similares a los demostrados por estos trabajos. La frecuencia cardíaca aumenta dependiendo del crecimiento de la edad, estado de entrenamiento, posición corporal, tipo de ejercicio y posibles problemas de salud (Balady et al., 2010). Además de las diferencias metodológicas comentadas anteriormente, otros factores pueden afectar a la frecuencia cardíaca máxima como el nivel de condición física. Se ha observado que la frecuencia cardíaca máxima desciende como adaptación al entrenamiento de resistencia (Zavorsky, 2000). En el estudio de Seiler y Hetlelid (2005), 12 sujetos entrenados en resistencia completaron 6 intervalos de 4 minutos con intervalos de recuperación de diferente duración (1 minuto, 2 minutos y 4 minutos), alcanzando un promedio de frecuencia cardíaca máxima de 179 ppm para intervalos de 1 y 2 minutos y 178 ppm para 4 minutos. Estos valores son también similares a los alcanzados en el presente estudio, posiblemente por mayor similitud en la muestra y por el tipo de sesión de HIIT desarrollado.

Este fenómeno debe ser tenido en cuenta a la hora de prescribir la intensidad de una sesión de HIIT cuando se hace sólo a través de la frecuencia cardiaca (Steppto, 2001).

## 6.2 RESPUESTAS AGUDAS FÍSICAS

En cuanto a las respuestas físicas, Rzonek et al. (2016), Follador et al, (2018), Olney et al., (2018) han señalado que las respuestas al esfuerzo durante un HIIT pueden verse influidas por la duración del intervalo

Kilpatrick et al., (2015) compararon las respuestas de esfuerzo percibido en el HIIT, durante 30 segundos, 60 segundo, y 120 segundos de intervalos de trabajo a una intensidad máxima y encontró que la perdida de potencia aumentó de principio a fin para todos los ensayos, con un mayor efecto para los 120 segundos, a pesar de que no hay diferencias en el total del trabajo. Los autores sugirieron que los intervalos de descanso más frecuentes entre los intervalos más cortos atenuarían el aumento del esfuerzo percibido y físico y provocaría una demanda cognitiva asociada con el ejercicio intenso, haciendo que sea "más fácil" de mantener el trabajo de intervalo en el tiempo.

Hetlelid et al. (2015) consideran que la condición física de entrenamiento de los participantes desempeña un papel importante en la capacidad de lograr un estado estable en el ejercicio de intervalos de alta intensidad.

### 6.2.1 Respuesta aguda en CMJ:

Los estudios sobre la fatiga (Nicol, 2006; Komi, 2000) han sido llevados a cabo, mayoritariamente, en condiciones de isometría o en regímenes de contracción concéntrica, lo que implica una valoración principalmente metabólica. Tareas que se basen en el modelo del CEA (Ciclo estiramiento acortamiento) implican las condiciones naturales de la actividad muscular con lo que permite,

además del análisis metabólico, el análisis de los factores mecánicos y neurales de forma simultánea en condiciones naturales.

El rendimiento en la capacidad de salto se considera una variable importante relacionada con el rendimiento en esfuerzos de resistencia (Paavolainen et al., 1999; Vuorimaa et al., 2000, 2006; Sinnett et al., 2001) por lo que los investigadores han intentado entender los factores biomecánicos que pueden predecir el rendimiento (Johnston et al., 2015). El CMJ (counter movement jump) se ha relacionado con el rendimiento en esfuerzos de resistencia (Paavolainen et al., 1999; Vuorimaa et al., 2000, 2006; Sinnett et al., 2001) ya que reflejaría la capacidad que tienen los atletas de aplicar fuerza en el menor tiempo posible como sucede corriendo a altas velocidades (Billat, 2001).

También, el CMJ se considera un test adecuado para evaluar, además del componente metabólico de la potencia anaeróbica, la energía elástica almacenada especialmente en situaciones donde hay un componente excéntrico y hay desaceleración y cambios de dirección siendo ideal para aquellas actividades que implican un CEA (Linthorne, 2001; Bosco, 1983; Daniel, 2009).

Por ejemplo, en un salto de CMJ, atletas de resistencia mostraron alturas de 31,94 cm (Daniel, 2009), de 29,45 cm (Boullosa, 2009), de 33,5 cm () o de 38 cm (García-Pinillos, 2015). El menor rendimiento en la altura se podría deber a diferencias metodológicas entre estudios ya que se compara la altura alcanzada en 5CMJ vs 1 CMJ (Daniel, 2009; Boullosa, 2009), la media de 2 CMJ (Vuorimaa et al., 2006) o de 3 CMJ (García-Pinillos, 2015), uso de plataforma de fuerza vs plataforma de contacto (Vuorimaa et al., 2000, 2006; Boullosa, 2009) o diferencias

en el perfil de entrenamiento de la muestra (fondistas vs medio-fondistas) (Vuorimaa et al., 2006; Daniel, 2009).

Boullosa (2009) y Vuorimaa et al. (2006) detectaron un aumento en el rendimiento de un CMJ tras una actividad previa en deportistas de resistencia. Se detectaron incrementos del 12,76% y 6,76% de la altura conseguida en CMJ a los 2 minutos y 7 minutos respectivamente, tras un test incremental en pista y del 3,53% a los 2 minutos de un esfuerzo hasta la extenuación (Boullosa, 2009). Tras una sesión de HIIT (2:2 minutos hasta la extenuación), la altura alcanzada en un test de CMJ aumentó en un 10,7% con respecto a los valores detectados en reposo previos a la sesión (Vuorimaa et al., 2006). Igualmente, la altura conseguida en un test de CMJ aumentó de forma significativa (41 cm vs 38 cm,  $p < 0,001$ ) tras una sesión de HIIT (4 series de 3 repeticiones en 400 m) (García-Pinillos, 2015).

Otros factores además de la fuerza de los miembros inferiores afectan al rendimiento en el salto vertical, siendo el control de la habilidad de aplicación de fuerza (coordinación) un elemento clave (Johnston et al., 2015; Batista et al., 2007; Ugrinowitsch et al., 2007).

Por lo tanto, la cantidad de fatiga muscular originada por una intervención puede cuantificarse por el descenso en la fuerza o potencia máximas generadas inmediatamente después de la contracción (Enoka, 2008). En el presente trabajo, se evalúa el rendimiento en 3 CMJ durante 3 protocolos de HIIT distintos, lo cual permite la comparación entre el rendimiento en estado sin fatiga (pretest) y a diferentes niveles de fatiga acumulada inducida por el trabajo de la sesión (García-Pinillos, 2015). Cabría esperar un deterioro de la capacidad de

generación de fuerza explosiva de los miembros inferiores conforme se repiten los intervalos de trabajo en las sesiones de HIIT.

En cuanto a los resultados obtenidos en la prueba de salto CMJ, no se observó ninguna diferencia significativa pre-post test ni en el incremento de altura, -4,5cm en HIIT 30", -3,7cm en HIIT 60" y -3,6cm en HIIT 90" (Tabla 5 hombres), -3,8cm en HIIT 30", -3,2cm en HIIT 60" y -3,1cm en HIIT 90" (Tabla 8 mujeres), ni en el incremento de potencia de salto, -2,9w/kg en HIIT 30", -2,8w/kg en HIIT 60" y -2,3w/kg en HIIT 90"(Tabla 5 hombre), -2,4w/kg en HIIT 30", -2,4w/kg en HIIT 60" y -2,6w/kg en HIIT 90" (Tabla 8). Esto puede deberse a que el tiempo desde que se termina el protocolo HIIT hasta que se realiza la prueba, puede ser suficiente para restaurar la posible pérdida de potencia en los sujetos. Una de las posibilidades de comprender estos resultados, pueden ser los factores intramusculares, desencadenados por la fosforilación de las cadenas ligeras reguladoras de la miosina (Tillin, 2009; Rassier 2000), un mejor aprovechamiento de la energía elástica (Vuorimaa et al., 2006; Boullosa, 2009) y a la coactivación de los músculos sinergistas y alteraciones en el patrón de activación de la musculatura de los miembros inferiores (Marquez et al., 2009; Rodacki et al., 2002)



### 6.2.2 Respuestas agudas en potencia:

Otro fenómeno a tener en cuenta, es que la potencia muscular aumenta de forma significativa como resultado de un trabajo muscular previo, voluntario o no, se conoce como potenciación post-activación (PPA) (García-Pinillos, 2015; Tillin, 2009). Tras una tarea previa también se reportó, al igual que en nuestro trabajo, un incremento (Vuorimaa et al., 2006; Paavolainen et al., 1999; García-Pinillos, 2015; Boullosa, 2009) o un mantenimiento (Vuorimaa et al., 2000, Marquez et al., 2009) de la capacidad de salto.

Parece que la capacidad de generar potencia es clave a la hora de explicar la PPA en un CMJ. Así, la potencia pico pasó de explicar el 62% de la altura del salto en situación sin fatiga al 69% tras una tarea fatigante aumentando la magnitud de la asociación con la altura del salto en un CMJ (Boullosa, 2009). Esta relación entre potenciación de la potencia pico y la altura del CMJ fue encontrada en otro trabajo tras una sesión de HIIT (García-Pinillos, 2015). Una breve estimulación repetida puede ayudar a aumentar la capacidad contráctil (potenciación) mientras que si se mantiene puede llegar a limitarla o atenuarla (fatiga) con lo que fatiga y potenciación pueden coexistir durante un tiempo determinado (Rossier, 2000). El equilibrio entre la PPA y la fatiga será el que determine el rendimiento final en un esfuerzo explosivo posterior (Tillin, 2009).

Por lo tanto, la eficacia por la que un trabajo previo puede provocar PPA depende de varios factores, entre ellos la experiencia de entrenamiento, duración del intervalo de pausa y el tipo, intensidad y volumen del trabajo previo realizado

(Vuorimaa et al., 2006; Garcia-Pinillos, 2015; Boullosa, 2009, Tillin, 2009; Hamada et al., 2000).

En el presente trabajo, se ha realizado un test de 3 CMJ con el objetivo de obtener no sólo información acerca de las cualidades viscoelásticas de los músculos, sino también del estado de los procesos metabólicos que mantienen el trabajo muscular (Bosco, 1994). De esta manera, evaluamos la resistencia a la capacidad de repetir acciones explosivas la cual se ha asociado al rendimiento en esfuerzos de resistencia (Nummela et al., 2006; Paavolainen et al., 1999; Gazeau et al., 1997). Sin embargo, aunque los factores neuromusculares no mostraron una relación contundente entre 3 tipos de HIIT con diferentes tiempos de trabajo/descanso en hombres ni en mujeres con el rendimiento empleando, parece que hay un mínimo umbral de capacidad explosiva de los miembros inferiores que se debería alcanzar para asegurar un buen estímulo cardiorrespiratorio.

La altura máxima conseguida en un CMJ se ha asociado a una mayor proporción de FT (%FT) en la musculatura activa (Bosco, 1979). Se observó que elevados % FT se asociaron a altos niveles de economía de carrera a altas velocidades posiblemente por estar relacionado con la potenciación del CEA por un buen aprovechamiento de la fase excéntrica (Hunter, 2015). Igualmente, se encontró que la potencia pico en un salto vertical y normalizada al peso corporal del sujeto estuvo relacionada con la economía de carrera a velocidades elevadas (Quinn et al., 2011). En otro estudio, los atletas que tenían una mejor capacidad de salto en un CMJ fueron los que mayor PPA experimentaron tras un trabajo hasta la extenuación (Boullosa, 2009), con lo que los autores llegan a la conclusión que un mayor %FT favorece la PPA.

Respecto a la pérdida de potencia durante la sesión, los resultados encontrados en la presente investigación demuestran que cuando se utiliza una misma intensidad objetivo “all out” (Submáximal) los tres protocolos de 30”, 60” y 90” de intervalo de trabajo/descanso producen respuestas bastante similares. (Figura 13 y 17).

En el protocolo de 30” entre el primer minuto y el segundo minuto hay una pérdida de 70w en hombres, mientras que en las mujeres se llega a 40w de pérdida, pero durante el resto del trabajo, del minuto 2 al 10 ambos protocolos trabajan con pérdidas de potencia aproximadas de 40w (25%). En el protocolo de 60” desde el inicio al segundo minuto, se da una pérdida de potencia de 90w en hombres mientras que en mujeres se da de 45w. En cambio, desde el segundo minuto al final de la prueba, en ambos sexos se da la misma pérdida de potencia de 50w (24%). Estos datos los podemos comparar con el estudio de Hunter, pensando que los hombres se fatigan más en los primeros dos minutos que las mujeres (Hunter, 2009), ya que tienen una masa muscular más alta, fibras con contracciones rápidas más grandes y una mayor actividad de la deshidrogenasa láctica (Komi, 1978). Una vez pasado ese tiempo el % de fibras que entran a trabajar tanto en hombres como en mujeres se igualará.

Estos datos muestran similitud con el estudio de Tucker et al. (2015) donde su % de intensidad era máxima de 90-95% aunque en relación a su frecuencia cardíaca máxima. En su protocolo de 4 x 4 la potencia media de salida se les redujo en un 20% desde el primero minuto hasta el cuarto y la potencia de salida se redujo en un 22% al comparar el primer minuto del primer intervalo con el

cuarto minuto del cuarto intervalo. A pesar de esta reducción de potencia, la frecuencia cardiaca todavía alcanzó el 97-98% de la frecuencia cardíaca máxima durante los último 3 intervalos del protocolo.

Son estos resultados donde encontramos la dificultad en la literatura científica en relación a las investigaciones en protocolos HIIT, ya que las variables utilizadas para cuantificar que el sujeto está en alta intensidad son distintas. En unos estudios utilizan la frecuencia cardiaca, potencia relativa, lactato,  $VO_2\text{max}$  o incluso la escala de esfuerzo percibido, una variable totalmente subjetiva, que depende de la experiencia, el grado motivacional y el estado físico cognitivo del momento del sujeto. Es cierto que muchas de estas variables tienen o pueden tener una correlación en muchas situaciones de medida, pero hacen que sea aún más impreciso los resultados que intentamos comparar entre unos protocolos HIIT y otros.

Otro de los inconvenientes en la investigación en protocolos HIIT es que, en muchos estudios, la muestra utilizada no es capaz de llegar a la intensidad o la zona fisiológica requerida para poder analizarla y estudiarla. Oliveira et al. (2013) también reportaron que algunos sujetos no pudieron terminar los ensayos de ejercicio de acuerdo con la intensidad preestablecida, lo que influyo en sus resultados.

Al igual Rzonek et al. (2016) constataron que, en su estudio, solo 7 de 11 sujetos pudieron completar todos los protocolos HIIT. Una situación parecida fue la que surgió a Nicole Green et al. (2017) ya que, aunque todos los participantes fueron bastante tolerantes a los protocolos HIIT, un hombre y una mujer fueron

incapaces de completar los seis combates de SIT debido a la extrema fatiga y los mareos. Por lo tanto, es posible que la SIT no sea bien tolerado en todas las poblaciones, especialmente cuando se realiza "all out" como se realizó en el presente estudio.

De forma similar, en la presente tesis, el protocolo de 90" de trabajo/descanso en hombres, no llegó a la intensidad requerida del ensayo (Figura 13). Quedándose en un 60% en intensidad prácticamente durante toda la sesión. Sin poder describir el motivo por el cual no pudieron lograr el resultado previsto comparándolo con el de las mujeres (Figura 17), donde si se consigue un 80% de intensidad máxima en dicho protocolo de 90".

Otro motivo a tener en cuenta según Wood et al. (2016) es que se puede necesitar considerar el género cuando se prescriben HIIT, ya que sus datos sugieren que los hombres y las mujeres no perciben los intervalos de esfuerzo de manera similar, ya que se ha demostrado que las mujeres dependen más del metabolismo aeróbico durante el HIIT que los hombres (Guillen, 2014). Por lo tanto, sugieren la idea de tener en cuenta a la hora de prescribir un HIIT, el género, ya que los hombres y las mujeres no perciben los esfuerzos del mismo modo.



## **VII - CONCLUSIONES**





## VII CONCLUSIONES

Siguiendo con las hipótesis presentadas se realizan las siguientes conclusiones:

La hipótesis 1 sobre si la respuesta aguda de la potencia en un cicloergómetro está relacionada con la duración de los intervalos de trabajo, a una intensidad máxima, por lo que cuanto más potencia y duración de intervalo de trabajo, mayor serán las diferencias de la potencia entre intervalos en un protocolo HIIT, en hombres, se rechaza, ya que solo durante los dos primeros minutos de los protocolos de 30 y 60 segundos pueden mantener la alta intensidad, y en el de 90 ni llegan en ningún momento del protocolo. Habiendo diferencias significativas solo cuando no se cumplía el criterio de estar en alta intensidad en alguno de los tres protocolos.

### **Hipótesis 2.**

La hipótesis 2 sobre si la respuesta aguda de la concentración de lactato en sangre está relacionada con la potencia y duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más potencia y duración tiene el intervalo de trabajo, mayor será la concentración de lactato en un protocolo HIIT, en hombres, se rechaza, ya que no se da diferencia significativa entre ninguno de los 3 protocolos.

### **Hipótesis 3**

La hipótesis 3 sobre el % de intensidad alcanzado en cada protocolo HIIT está relacionada con la potencia y la duración de los intervalos de trabajo, por lo

que cuanto más largo es el intervalo de trabajo y a mayor potencia, menor sería el % de intensidad alcanzado en hombres, se rechaza, ya que, los tres protocolos sufren una pérdida de % de intensidad, no habiendo diferencia significativa entre ninguno.

#### **Hipótesis 4**

La hipótesis 4 sobre si la respuesta aguda de la potencia en un cicloergómetro está relacionada con la duración de los intervalos de trabajo, a una intensidad máxima, por lo que cuanto más potencia y duración de intervalo de trabajo, mayor serán las diferencias de la potencia entre intervalos en un protocolo HIIT, en mujeres, se rechaza, ya que solo durante los dos primeros minutos de los protocolos pueden mantener la alta intensidad. No habiendo diferencias significativas en ninguna de las variables de la potencia analizadas.

#### **Hipótesis 5.**

La hipótesis 5 sobre si la respuesta aguda de la concentración de lactato en sangre está relacionada con la potencia y duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más potencia y duración tiene el intervalo de trabajo, mayor será la concentración de lactato en un protocolo HIIT, en mujeres, se rechaza, ya que no se da diferencia significativa entre ninguno de los 3 protocolos.

#### **Hipótesis 6**

La hipótesis 6 sobre el % de intensidad alcanzado en cada protocolo HIIT está relacionada con la potencia y la duración de los intervalos de trabajo, por lo que cuanto más largo es el intervalo de trabajo y a mayor potencia, menor sería el % de intensidad alcanzado en mujeres, se rechaza, ya que, los tres protocolos

---

sufren una pérdida de % de intensidad, no habiendo diferencia significativa entre ninguno.



# **VIII – LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



## VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La muestra de estudio de la presente tesis no es representativa, por lo que haría falta estudios posteriores que utilicen un mayor número de participantes para poder generalizar los resultados encontrados, sobre todo, con mujeres.

Poder utilizar la medición del Vo<sub>2</sub>max ya que es la principal variable de medición en los estudios de HIIT y ayudaría para poder comparar los resultados, con más cantidad de artículos científicos.

Respecto a la toma de lactato, se debería realizar una mayor cantidad de tomas por sesión para poder evaluar posibles cambios. Al principio de la sesión, a la mitad y al final, y así correlacionarlo durante la sesión con las potencias de cada intervalo.

Completar con mediciones durante la sesión de la variable perceptiva como la escala de esfuerzo percibido. Ya que la intensidad que ellos debían conseguir era máxima, pero no pudimos compararlo con su percepción. Dato que nos hubiera ayudado a interpretar y entender aún más los resultados obtenidos.





# **IX - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



**IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Achten J, Jeukendrup AE. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*, 33 (7): 517-38.
- Allen NG, Higham SM, Mendham AE, et al. (2017). Inflammation in sedentary populations. *Eur J Appl Physiol*, 117: 1249–1256.
- Ali Rasooli S, Koushkie Jahromi M, Asadmanesh A, Salesi M. (2012). Influence of massage, active and passive recovery on swimming performance and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness*, 04;52(2):122-127.
- Altenburg TM, Degens H, van Mechelen W, Sargeant AJ, de Haan A. (2007). Recruitment of single muscle fibers during submaximal cycling exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 103(5): 1752-1756
- American College of Sports Medicine. (1998). Position statement on the recommended quantify and quality of exercise for developing cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 22: 265-274.
- American College of Sport Medicine (1999). Manual ACSM para la valoración y prescripción del ejercicio. Barcelona: Paidotribo.
- Astorino, TA, Allen, RP, Roberson, DW, Jurancich, M, Lewis, R, McCarthy, K, and Trost, E. (2011). Adaptations to high-intensity training are independent of gender. *Eur J Appl Physiol*, 111: 1279–1286.
- Astorino, TA, Schubert, MM, Palumbo, E, Stirling, D, McMillan, DW, Cooper, C, Godinez, J, Martinez, D, and Gallant, R. (2013). Magnitude and time course of changes in maximal oxygen uptake in response to distinct regimens of chronic interval training in sedentary women. *Eur J Appl Physiol*, 113: 2361–2369.

- Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RM, Namm S, Fischer A, and Wood KA. (2017). High intensity interval training increases cardiac output and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc*, 412 49(2):265-273.
- Astrand, I, Astrand, PO, Christensen, EH, and Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand* 48: 448-453.
- Astrand PO, Rodahl K, Dahl H, Stromm S. (2010). Manual de fisiología del ejercicio. Barcelona: Paidotribo; ISBN 9788499100128.
- Bagger M, Petersen P.H., Pedersen P.K. (2003). Biological variation in variables associated with exercise training. *Int J Sports Med*, 24 (6): 433-40
- Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. (2010). Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 13;122(2):191-225.
- Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. (2004). Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 10;93(1-2):224-230.
- Baldwin J, Snow R.J, Febbraio M.A. (2000). Effect of training status and relative exercise intensity on physiological responses in men. *Med Sci Sports Exerc*, 32 (9): 1648-54
- Bangsbo J, Graham T, Johansen L, Saltin B., (1994). Muscle lactate metabolism in recovery from intense exhaustive exercise: impact of light exercise. *J Appl Physiol*, 10;77(4):1890-1895.
- Bartlett J.D., Close G.L., MacLaren D.P.M., Gregson W, Drust B, Morton J.P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *J Sports Sci*, 03;29(6):547-553.
- Batista M.A., Ugrinowitsch C, Roschel H, Lotufo R, Ricard M.D., Tricoli V.A. (2007). Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. *J Strength Cond Res*, 21(3):837-840.

- Bergman BC, Horning MA, Casazza GA, Wolfel EE, Butterfield GE, Brooks GA. (2000). Endurance training increases gluconeogenesis during rest and exercise in men. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 278(2): E244-51.
- Bisciotti, G.N. (2002). Utiliziamo bene l'intermittente. *II Nuovo Calcio*.
- Billat V.L., Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, et al. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol*, 02;81(3):188-196.
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J.P. (1999). Interval training at VO<sub>2</sub>max: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(1), 156–163.
- Billat V.L., (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*, 31(1):13-31.
- Billaut F, Bishop D. (2009). Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise. *Sports Med*, 39(4):257-278.
- Bompa, T. (1983). *Theory and methodology of training*. Dubuque, IA.: Kendall Hunt.
- Borg, G. (1970). Perceived Exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 3: 82-88.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi P.V., (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50(2):273-282.
- Boullosa D.A., Tuimil J.L. (2009). Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res*, 08;23(5):1560-1565.
- Brooks, GA. (1986). The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc*, 18: 360–368.

- Brooks, G.A., Fahey, T.D., White, T.P., and Baldwin, K.M. (2000) *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications* (3rd Ed). Mountain View, CA: Mayfield.
- Buceta, J.M. (1998) *Psicología del entrenamiento deportivo*. Dykinson, Madrid
- Buchheit M, Laursen P.B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*, 05;43(5):313-338.
- Buchheit M, Laursen P, Kuhnle J, et al. (2009). Game-based training in young elite handball players game-based training in young elite handball players. *Int J Sport Med*, 30: 251–258.
- Buchheit M, Cormie P, Abbiss C.R., Ahmaidi S, Nosaka K.K., Laursen P.B. (2009). Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. *Int J Sports Med*, 06;30(6):418-425.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, 586(1), 151–160.
- Christensen, E.H., Hedman, R, and Saltin, B. (1960). Intermittent and continuous running. (A further contribution to the physiology of intermittent work). *Acta Physiol Scand*, 50: 269–286.
- Christmass M.A., Dawson B, Arthur P.G. (1999). Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 10;80(5):436-447
- Coffey V.G., Hawley J.A. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Med*, 37(9):737-763.
- Connolly D.A.J., Brennan K.M., Lauzon C.D. (2003). Effects of active versus passive recovery on power output during repeated bouts of short term, high intensity exercise, *J Sports Sci Med*, 2(2):47-51.

- Conconi, F; Ferarri, M y otros. (1982). Determination the anaerobics thresnold by a noninvasive field test in runnig. *Journal of Applied Physiology*, 52(4):869-873.
- Cornish A.K., Broadbent S, Cheema B.S. (2011). Interval training for patients with coronary artery disease: a systematic review. *Eur J Appl Physiol*, 04;111(4):579-589.
- Boullosa DA, Tuimil JL. (2009). Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res*, 23(5):1560-1565.
- David B, Pyne T, Boston D.T., Logan M. (2000). Evaluation of the lactate pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol*, 82: 112-116.
- Demarie S, Koralsztein J.P., Billat V. (2000). Time limit and time at VO<sub>2</sub>max during a con-tinuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness*, 40(2):96–102.
- Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet J.A.L. (2004). Effects of recovery mode on performance, O<sub>2</sub> uptake, and O<sub>2</sub> deficit during high-intensity intermittent exercise. *Can J Appl Physiol*, 06;29(3):227-244.
- Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin S. (2004). Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc*, 02;36(2):302-308.
- Enoka RM, Duchateau J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1):11-23.
- Esfandiari, S, Sasson, Z, and Goodman, JM. (2014). Short-term high intensity interval and continuous moderate-intensity training improve maximal aerobic power and diastolic filling during exercise. *Eur J Appl Physiol*, 114: 331–343.
- Follador, L., Alves, R.C., Ferreira, S.D., Buzzachera, C.F., Andrade, V.S., Garcia, E.D., Osiecki, R., Barbosa, S.C., Oliveira, L.M., & Silva, S.G. (2018). Physiological, Perceptual, and Affective Responses to Six High-Intensity Interval Training Protocols. *Perceptual and Motor Skills*, 125, 329–350.

- Fritz, C. O., Morris, P. E., & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *Journal of experimental psychology: General*, 141(1), 2.
- Garber C.E., Blissmer B, Deschenes M.R., Franklin B.A., Lamonte M.J., Lee I.M., Neiman D.C., and Swain D.P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardio respiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sport Exerc*, 43: 1334–1359.
- García-Hermoso, A., Cerrillo-Urbina, A. J., Herrera-Valenzuela, T., Cristi-Montero, C., Saavedra, J. M., & Martínez-Vizcaíno, V. (2016). Is high-intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. *obesity reviews*, 17(6), 531-540.
- García-Pinillos F., Soto-Hermoso V.M., Latorre-Roman P.A. (2015). Acute effects of extended interval training on countermovement jump and handgrip strength performance in endurance athletes: postactivation potentiation. *J Strength Cond Res*, 29(1):11-21.
- Gazeau F, Koralsztein J.P., Billat V. (1997). Biomechanical events in the time to exhaustion at maximum aerobic speed. *Arch Physiol Biochem*, 10;105(6):583-590.
- Gibala MJ & McGee SL (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*, 36, 58–63.
- Gibala, M.J., Little, J.P., MacDonald, M.J., and Hawley, J.A. (2012). Physiological adaptations to low volume, high intensity interval training in health and disease. *J Physiol*, 590: 1077-1084.
- Gillen J.B., Martin B.J., MacInnis M.J., Skelly L.E., Tarnopolsky M.A., and Gibala M.J. (2016). Twelve weeks of sprint interval training improves indices of cardiometabolic health similar to traditional endurance training despite a five-fold lower exercise volume and time commitment. *PLoS One*, 11:4: e0154075.



- Guirard, T, Nigam, A, Juneau, M, Meyer, P, Gayda, M, and Bosquet, L. (2012). Acute responses to high-intensity intermittent exercise in CHD patients. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 211-217.
- Gillen, JB, Percival, ME, Skelly, LE, Martin, BJ, Tan, RB, Tarnopolsky, MA, and Gibala, MJ. (2014). Three minutes of all-out intermittent exercise per week increases skeletal muscle oxidative capacity and improves cardiometabolic health. *PLoS One*, 9: e111489.
- Gillen, J.B., Little, J.P., Punthakee, Z, Tarnopolsky, M.A., Riddell, M.C., and Gibala, M.J. (2012). Acute high-intensity interval exercise reduces the postprandial glucose response and prevalence of hyperglycaemia in patients with type 2 diabetes. *Obes Metab*, 14: 575-577.
- González-Badillo J.J., Izquierdo M, Gorostiaga E.M., (2006). Moderate volumen of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res*, 20 (1):73-81.
- Grace F, Herbert P, Elliott AD, et al. (2017). High intensity interval training (HIIT) improves resting blood pressure, metabolic (MET) capacity and heart rate reserve without compromising cardiac function in sedentary aging men. *Exp Gerontol*, 13: 1-7.
- Greenwood JD, Moses GE, Bernardino FM, Gaesser GA, Weltman A. (2008). Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *J Sports Sci*, 26 (1):29-34.
- Gutiérrez-Dávila, M.; Garrido, J. M.; Amaro, F. J.; Ramos, M.; Rojas, F. J. (2012) Método para determinar la contribución segmentaria en los saltos. Su aplicación en el salto vertical con contramovimiento. *Eur J Hum Mov*, 29:1-16.
- Hamada T, Sale DG, Macdougall JD. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 32(2):403-411.
- Hermansen L, Stensvold I. (1972). Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiol Scand*, 10;86(2):191-201.

- Hardcastle SJ, Ray H, Beale L, Hagger MS. (2014). Why sprint interval training is inappropriate for a largely sedentary population. *Front Psychol*, 5: 1–3.
- Hashimoto, T, Hussien, R, Oommen, S, Gohil, K, and Brooks, G.A. (2007). Lactate sensitive transcription factor network in L6 cells: activation of MCT1 and mitochondrial biogenesis. *FASEB J*, 21: 2602-2612.
- Hawley JA, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. (1997). Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *J Sports Sci*, 06;15(3):325-333.
- Hawley J.A., Stepto N.K. (2001). Adaptations to training in endurance cyclists: implications for performance. *Sports Med*, 31(7):511-520.
- Hazell, T.J., MacPherson, R.E.K., Gravelle, B.M.R., and Lemon, P.W.R. (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *Eur J Appl Physiol*, 110: 153–160.
- Hetlelid K.J., Plews D.J., Herold E. Et al. (2015). Rethinking the role of fat oxidation: sub-strate utilization during high-intensity interval training in well-trained and recreationally trained runners. *BMJ Open Sport Exerc Med*, 1(1): e000047.
- Hermansen L, Stensvold I. (1972). Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiol Scand*, 10;86(2):191-201.
- Holloszy J.O., Coyle E.F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(4): 831-838.
- Hood, M.S., Little, J.P., Tarnopolsky, M.A., Myslik, F., and Gibala, M.J. (2011). Low-volume interval training improves muscle oxidative capacity in sedentary adults. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 1849–1856.
- Hunter S.K. (2009). Sex differences and mechanisms of task-specific muscle fatigue. *Exerc Sport Sci*, 37(3): 113-122.
- Issurin V.B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 03/01;40(3):189-206.

- Jacobs I. (1986). Blood lactate: implications for training and sports performance. *Sports Med*, 3 (1): 10-25.
- Jacobs, RA, Fluck, D, Bonne, TC, Burgi, S, Christensen, PM, Toigo, M, and Lundby, C. (2013). Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. *J Appl Physiol*, 115: 785–793.
- Johnston LA, Butler RJ, Sparling TL, Queen RM. (2015). A single set of biomechanical variables cannot predict jump performance across various jumping tasks. *J Strength Cond Res*, 29(2):396-407.
- Juel C, Halestrap AP. (1999). Lactate transport in skeletal muscle—role and regulation of the monocarboxylate transporter. *J Physiol*, 517(3):633-642.
- Jung ME, Bourne JE, and Little JP. (2014). Where does HIT fit? An examination of the affective response to high-intensity intervals in comparison to continuous moderate and continuous vigorous-intensity exercise in the exercise intensity-affect continuum. *PLoS One* 9: e11454.
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity Reviews*, 18(8), 943-964.
- Kemi, OJ and Wisloff, U. (2010). High intensity aerobic exercise training improves the heart in health and disease. *J Cardiopulm Rehab Prev* 30: 2-11.
- Komi PV, and Karlsson J. (1978). Skeletal muscle fiber types, enzyme activities, and physical performance in young males versus females. *Acta Physiol Scand*, 103: 210-218.
- Komi PV. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*, 33(10):1197-1206.
- Laursen P.B., Jenkins D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimizing training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*, 32(1):53-73.

- Lambert M.I., Mbamba Z.H., St Clair Gibson A. (1998). Heart rate during training and competition for long-distance running. *J Sports Sci*, 16: S85-90.
- Levine, T. R., & Hullett, C. R. (2002). Eta squared, partial eta squared, and misreporting of effect size in communication research. *Human Communication Research*, 28(4), 612-625.
- Libicz S, Roels B, Millet G.P. (2005). VO<sub>2</sub> responses to intermittent swimming sets at velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Can J Appl Physiol* 10;30(5):543-553.
- Little, J.P., Gillen, J.B., Percival, M.E., Safdar, A., Tarnopolsky, M.A., Punthakee, Z., Jung, M.E., and Gibala, M.J. (2011). Low-volume highintensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol*, 111: 1554–1560.
- Little, JP, Safdar, A, Wilkin, GP, Tarnopolsky, MA, and Gibala, MJ. (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: Potential mechanisms. *J Physiol* 588: 1011–1022.
- Lucía A, Hoyos J, Pardo J, Chicharro JL. (2000). Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *Jpn J Physiol*, 06;50(3):381-388.
- Macpherson R.E.K., Hazell T.J., Olver T.D., Paterson D.H., Lemon P.W.R. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc*, 01;43(1):115-122.
- MacRae HS, Dennis SC, Bosch AN, Noakes TD. (1992). Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J Appl Physiol* May;72(5):1649-1656.
- MacRae HH, Noakes TD, Dennis SC. (1995). Effects of endurance training on lactate removal by oxidation and gluconeogenesis during exercise. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 430(6):964-970.
- Marquez GJ, Mon J, Acero RM, Sanchez JA, Fernandez-del-Olmo M. (2009). Low-intensity cycling affects the muscle activation pattern of consequent countermovement jumps. *J Strength Cond Res*, 23(5):1470-1476.

- Martland, R. Mondelli, V. Gaughran, F. & Stubbs, B. (2019). Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes? A meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan, *Journal of Sports Sciences*, 38:4, 430-469.
- Martín F. (2016). HIIT, aplicaciones prácticas. ISBN. AE-2016-16002086.
- McNeely EM, Sandler DM. (2007). Tapering for Endurance Athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 29(5):18-24.
- Meyer T, Welter J, Scharhag J, Kindermann W. (2003). Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *Eur J Appl Physiol* 01;88(4-5):387-389.
- Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med*, 37(10):857-880.
- Miladi I, Temfemo A, Mandengue SH, Ahmaidi S. (2011). Effect of recovery mode on exercise time to exhaustion, cardiorespiratory responses, and blood lactate after prior, intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res*, 25(1):205-210.
- Monteiro PA, Campos EZ, de Oliveira FP, et al. (2017). Modulation of inflammatory response arising from high-intensity intermittent and concurrent strength. *Cytokine*, 91: 104–109.
- Morgan, WP. (1981). Psychophysiology of self-awareness during vigorous physical activity. *Research Quarterly Exercise and Sport*, 52, 385-427.
- Nicol C, Avela J, Komi PV. (2006). The stretch-shortening cycle. *Sports Medicine*, 36(11):977-999.
- Nummela AT, Paavolainen LM, Sharwood KA, Lambert MI, Noakes TD, Rusko HK. (2006). Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol*, 05;97(1):1-8.

- Ohya T, Aramaki Y, Kitagawa K. (2013). Effect of duration of active or passive recovery on performance and muscle oxygenation during intermittent sprint cycling exercise. *Int J Sports Med*, 34(7):616-622.
- Olney, N, Wertz, T, LaPorta, Z, Mora, A, Serbas, J, Astorino, T. A. (2018). Comparison of Acute Physiological and Psychological Responses Between Moderate-Intensity Continuous Exercise and Three Regimes of High-Intensity Interval Training, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32 – 8: 2130-2138.
- Oliveira, B. R. R., Slama, F. A., Deslandes, A. C., Furtado, E. S., & Santos, T. M. (2013). Continuous and high-intensity interval training: Which promotes higher pleasure? *PLoS One*, 8(11), e79965.
- Orquín, F.J., Torres, G. & Ponce de León, F. (2009). Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza sobre la composición corporal y la fuerza máxima en jóvenes entrenados. *Apunts de Medicina de l'Sport*, 164 (44): 156-162.
- Paavolainen L, Häkkinen K, Hämmäläinen I, Nummela A, Rusko H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*, 05;86(5):1527-1533.
- Prins L, Terblanche E, Myburgh KH., (2007). Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *J Sports Sci* 06;25(8):927-935.
- Pollock, M.L. (1988). Prescribing Exercise for fitness and adherence. En R. K. Dishman (ed.) *Exercise Adherence: Ist Impact on Public Health*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Quinn T.J., Manley M.J., Aziz J., Padham J.L., MacKenzie A.M. (2011). Aging and factors related to running economy. *J Strength Cond Res*, 11;25(11):2971-2979.
- Racil, G., Coquart, J. B., Elmontassar, W., Haddad, M., Goebel, R., Chaouachi, A., ... & Chamari, K. (2016). Greater effects of high-compared with moderate-intensity interval training on cardio-metabolic variables, blood leptin concentration and ratings of perceived exertion in obese adolescent females. *Biology of sport*, 33(2), 145.

- Rassier D, Macintosh B. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33(5):499-508.
- Richardson, J. T. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educ Res Rev*, 6(2), 135–147.
- Reilly T, Morris T, Whyte G. (2009). The specificity of training prescription and physiological assessment: a review. *J Sports Sci* 04;27(6):575-589.
- Robinson D.M., Robinson S.M., Hume P.A., et al. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 23 (9): 1078-82
- Rodacki A.L, Fowler N.E, Bennett S.J., (2002). Vertical jump coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1):105-116.
- Rozenek, R., Salassi, J. W., Pinto, N. M., & Fleming, J. D. (2016). Acute Cardiopulmonary and Metabolic Responses to High-Intensity Interval Training Protocols Using 60 s of Work and 60 s Recovery. *J Strength Cond Res*, 30(11):3014-3023
- Schoenmakers, P., & Reed, K. E. (2019). The effects of recovery duration on physiological and perceptual responses of trained runners during four self-paced HIIT sessions. *Journal of science and medicine in sport*, 22(4), 462–466.
- Seiler S, Jøranson K, Olesen BV et al. (2013). Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med SciSport*, 23(1):74–83.
- Seiler S, Hetlelid K.J. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med Sci Sports Exerc*, 09;37(9):1601-1607.
- Seo, M. W., Lee, J. M., Jung, H. C., Jung, S. W., & Song, J. K. (2019). Effects of Various Work-to-rest Ratios during High-intensity Interval Training on Athletic Performance in Adolescents. *International Journal of Sports Medicine*, 40(8), 503–510.

- Smith A.E., Walter AA, Graef J.L., Kendall K.L., Moon J.R., Lockwood C.M., et al. (2009). Effects of betaalanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr*, 02/11;6:5-5.
- Semin K, Stahlnecker IV A.C., Heelan K, Brown G.A., Shaw BS, Shaw I. (2008). Discrepancy between training, competition and laboratory measures of maximum heart rate in NCAA division 2 distance runners. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7:455-460.
- Stensvold D, Tjønnå AE, Skaug E, Aspenes S, Stølen T, Wisløff U, et al. (2010). Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *J Appl Physiol*, 108(4):804-810.
- Smith-Ryan, A. E., Melvin, M. N., & Wingfield, H. L. (2015). High-intensity interval training: Modulating interval duration in overweight/obese men. *The Physician and sports medicine*, 43(2), 107-113.
- Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*, 2 (3): 160-5
- Stephens NK, Martin DT, Fallon KE, Hawley JA. (2001). Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 02;33(2):303-310.
- Sinnett A.M., Berg K., Latin R.W., Noble J.M. (2001). The relationship between field tests of anaerobic power and 10-km run performance. *J Strength Cond Res*, 15(4):405-412.
- Skinner J.S., Wilmore K.M., Krasnoff J.B., et al. (2000). Adaptation to a standardized training program and changes in fitness in a large, heterogeneous population: the HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc*, 32 (1): 157-61
- Skelly, L.E., Andrews, P.C., Gillen, J.B., Martin, B.J., Percival, M.E., and Gibala, M.J. (2014). High-intensity interval exercise induces 24-h energy expenditure similar to traditional endurance exercise despite reduced time commitment. *Appl Physiol Nutr Metab*, 39: 845–848.



- Swart J, Jennings CL. (2004). Use of blood lactate concentration as a marker of training status. *S Afr J Sports Med*, 16: 3-7
- Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. (1996). Effects of moderate intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc*, 28(10):1327-1330.
- Tanner R.K., Fuller K.L, Ross MLR., (2010). Evaluation of three portable blood lactate analyzers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur J Appl Physiol*, 06;109(3):551-559.
- Talanian, J.L., Galloway, S.D., Heigenhauser, G.J.F., Bonen, A, and Spriet, L.L., (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increase the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol*, 102: 1439–1447.
- Tjonna, AE, Lee, SJ, Rognmo, O, Stolen, TO, Bye, A, Haram, PM, Loennechen, JP, Al-Share, Q.Y., Skogvoll, E, Slørdahl, S.A., Kemi, O.J., Najjar, S.M., and Wisloff, U. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: A pilot study. *Circulation* 118: 346–355.
- Tjonna A, E., Stølen T, O., Bye A, Volden M, Slørdahl S, A., Odegård R, et al. (2009). Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci*, 02;116(4):317-326.
- Tillin M.N.A., Bishop D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2):147-166.
- Tschakert, G., Hofmann, P. (2013). High-intensity intermittent exercise: methodological and physiological aspects. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 600-10.
- Urhausen A, Gabriel HH, Weiler B, et al. (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int J Sports Med*, 19 (2): 114-20.

- Urhausen A., Gabriel H.H., Weiler B., et al. (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int. J. Sports Med*, 19:114–20.
- Ulmer H.V. (1996). Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rateduring heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Br J Sports Med*, 52(5):416–420.
- Ugrinowitsch C, Tricoli V, Rodacki ALF, Batista M, Ricard MD. (2007) Influence of training background on jumping height. *J Strength Cond Res*, 08;21(3):848-852.
- Viaño-Santasmarrinas, J., Rey, E., Carballeira, S., & Padrón-Cabo, A. (2018). Effects of high-intensity interval training with different interval durations on physical performance in handball players. *J Strength Cond Res*, 32(12):3389-3397.
- Vuorimaa T, Vasankari T, Rusko H. (2000). Comparison of physiological strain and muscular performance of athletes during two intermittent running exercises at the velocity associated with  $VO_{2max}$ . *Int J Sports Med*, 02;21(2):96-101.
- Vuorimaa T, Virlander R, Kurkilahti P, Vasankari T, Häkkinen K. (2006). Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long distance runners. *Eur J Appl Physiol*, 96(3):282-291.
- Weston, A.R., Myburgh, K.H., Lindsay, F.H., Dennis, S.C., Noakes, T.D., and Hawley, J.A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75:7-13.
- Weltman A, Seip RL, Snead D, et al. (1992). Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *Int J Sports Med*, 13 (3): 257-63.
- Weltman A, Stamford BA, Moffatt RJ, Katch VL. (1977) Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance. *Research*

- Quarterly. *American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(4):786-796.
- Wilmore, J. & Costill, D. (2006) *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Badalona. Paidotribo.
- Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., Ferrauti, A. (2016). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(5), 606–615.
- Williams, B. M., & Kraemer, R. R. (2015). Comparison of Cardiorespiratory and Metabolic Responses in Kettlebell High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Cycling. *J Strength Cond Res*, 29(12), 3317–3325.
- Zavorsky G.S. (2000). Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med*, 01;29(1):13-26.
- Zhang H, Tong TK, Qiu W, et al. (2017). Comparable effects of high-intensity interval training and prolonged continuous exercise training on abdominal visceral fat reduction in obese young women. *J Diabetes Res*, 2017:5071740.



# **X - ANEXOS**



**ANEXO 1: CONSENTIMIENTO INFORMADO**

## CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, ....., con  
DNI:.....

## DECLARO:

Haber sido informado/a del estudio y procedimientos de la investigación del  
Proyecto titulado: \_\_\_\_\_  
Los investigadores que van a acceder a mis datos personales y a los resultados de  
las pruebas son: \_\_\_\_\_  
Asimismo, he podido hacer preguntas del estudio, comprendiendo que me presto  
de forma voluntaria al mismo y que en cualquier momento puedo abandonarlo  
sin que me suponga perjuicio de ningún tipo.

## CONSIENTO:

- 1.-) Someterme a las siguientes pruebas exploratorias (en su caso): \_\_\_\_\_  
2.-) El uso de los datos obtenidos según lo indicado en el párrafo siguiente:  
En cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección  
de Datos de Carácter Personal, le comunicamos que la información que ha  
facilitado y la obtenida como consecuencia de las exploraciones a las que se va a  
someter pasará a formar parte del fichero automatizado INVESOCIAL, cuyo  
titular es la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de  
INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO  
CIENCIAS SOCIALES, JURÍDICAS, DE LA EMPRESA Y DE LA  
COMUNICACIÓN. Tiene derecho a acceder a esta información y cancelarla o  
rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en Avda. de los Jerónimos de  
Guadalupe 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas  
oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En Guadalupe (Murcia) a ..... de ..... de 20

El investigador,

Fdo:.....

Fdo:.....





**ANEXO 2: DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA SUJETOS SOMETIDOS A ESTUDIO****DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA SUJETOS SOMETIDOS A ESTUDIO  
(HOJA INFORMATIVA)****1. EN QUÉ CONSISTE Y PARA QUÉ SIRVE:**

El proceso consistirá en realizar primero una serie de pruebas o test, consideradas Pre-Test. Y Serán:

- Medición de la variabilidad de la frecuencia cardiaca**
- Test de equilibrio**
- Test de salto contra movimiento (CMJ)**
- Test de fuerza isométrica del tren inferior**

A continuación, se realizará el test principal, de 10 minutos de duración de trabajo en un cicloergómetro, utilizando diferentes tipos de protocolos 30''-30'' / 60''-60'' y 90''-90'' Trabajo-Descanso, y en el tiempo de trabajo la intensidad deberá de ser la máxima que pueda ofrecer el sujeto.

Una vez terminados los 10 minutos de trabajo, inmediatamente se le realizará:

- Medición de lactato**

Y tras 1 minutos se repetirán las mismas pruebas consideradas Post-Test:

- Test de equilibrio**
- Test de salto contra movimiento (CMJ)**
- Test de fuerza isométrica del tren inferior**

En ese mismo orden, dejando para 24 horas después la **medición de la variabilidad de la frecuencia cardiaca.**

Todo este proceso nos servirá para conocer las diferencias significativas o no, de trabajar un HIIT 30''-30'' / 60''-60'' y 90''-90'' Trabajo-Descanso. Para a posteriori poder utilizarlo en el mundo del fitness y el rendimiento deportivo con la mejor prescripción posible para el usuario o deportista.

## 2. COMO SE REALIZA:

El sujeto deberá asistir a las instalaciones del centro deportivo UCAM Sport Center, donde habrá una sala habilitada con todo el material y las condiciones de temperatura idóneas (23º) para la realización de trabajo físico. Deberá ir con ropa deportiva y cómoda.

Primero se realizarán los Pre-Test donde con ayuda de dos asistentes, licenciados en ciencias de la actividad física y del deporte y un/a enfermero/a irán guiando y explicando el proceso de las mediciones de los test y velarán por su seguridad en todo el momento.

**-Test de la variabilidad de la frecuencia cardiaca:** Deberá permanecer sentado en una silla con respaldo, y durante un minuto deberá permanecer en silencio y relajada, se le colocará un pulsómetro de banda en la zona del torso para la obtención de los datos de dicho test.

A continuación, realizará un calentamiento de 5 minutos de duración sin superar los 100 w de potencia con el objetivo de preparar de forma óptima el cuerpo para evitar lesiones y conseguir el mayor rendimiento en los test.

Una vez pasados esos 5 minutos de calentamiento, seguirá con los siguientes test de:

**-Test de equilibrio:** Donde deberá subirse a una plataforma de fuerza descalza y sobre una alfombrilla de 3 cm de espesor. Se situará de forma estática y permanecer 30 segundos mirando un punto fijo en la pared situado a metro y medio con el objetivo de permanecer inmóvil y equilibrada durante ese tiempo.

A continuación, se calzará y volverá a subirse a la plataforma de fuerza para realizar:

**-Test de salto contra movimiento (CMJ):** El sujeto realizará dos saltos de prueba y de calentamiento con el fin de perfeccionar lo máximo posible la técnica de dicho movimiento y preparar la musculatura a utilizar. Una vez realizado estos dos saltos se procederá a un primer y segundo salto que ya se tomarán las medidas y serán los utilizados para analizar.

Volverá a bajarse de la plataforma y esta vez pasará a otra plataforma de metal donde encontrará una barra de hierro alargada sujeta a esa plataforma de hierro sujeta o conectada por una cadena de acero y una célula de carga, que será lo que nos dirá la fuerza que aplicará el sujeto.

**-Test de fuerza isométrico del tren inferior:** Una vez explicada la postura ideal para la realización de la prueba el sujeto deberá tirar de esa barra con todas sus fuerzas durante 5 segundos. Realizará dos intentos que serán registrados, y con un periodo de descanso de 1 minutos entre ambos.

A continuación, pasará al cicloergómetro a realizar el HIIT de 10 minutos de duración.

El sujeto llevará monitorizado la frecuencia cardiaca por medio del pulsómetro con el fin de conocer su frecuencia cardiaca si llega a los niveles necesarios que requiere dicha prueba y por seguridad.

Una vez terminada la prueba de 10 minutos de HIIT, se le medirá el lactato. La enfermera/o tomará un dedo del sujeto y tras un pinchazo obtendrá una gota de sangre, que será utilizada en un aparato medidor de lactato, para conocer dicho resultado.

Tras la medición de lactato el sujeto bajará del cicloergómetro y tras un periodo de 2 minutos volverá a repetir los mismos test y procedimientos del principio. Post-Test. Una vez realizados estos post-test el usuario habrá terminado su intervención. Con la consigna de que deberá volver a las 24 horas a las mismas instalaciones de la medición, para volver a tomar la medida de la Variabilidad de la frecuencia cardiaca.

### **3. QUÉ EFECTOS LE PRODUCIRÁ:**

- Aumento Frecuencia cardiaca
- Aumento del Vo2Max
- Congestión muscular del tren inferior
- Posible mareo y nauseas por la elevación del ácido láctico
- Posible rotura de fibras del tren inferior

### **4. EN QUÉ LE BENEFICIARÁ:**

- Aumento tolerancia al esfuerzo
- Conocimiento de sus límites de consumo de oxígeno

### **5. QUÉ RIESGOS TIENE:**

#### **5.1 LOS MÁS FRECUENTES:**

- Mareos
- Congestión muscular

#### **5.2 LOS MÁS GRAVES:**

- Parada cardiorrespiratoria

### **5. SITUACIONES ESPECIALES QUE DEBEN SER TENIDAS EN CUENTA:**

El centro donde se realizarán las pruebas cuenta con un desfibrilador semiautomático. Las pruebas, aunque se requiera de la mayor intensidad de esfuerzo del sujeto, siempre serán submáximas.

### **7. OTRAS INFORMACIONES DE INTERÉS (a considerar por el/la profesional)**

### **8. OTRAS CUESTIONES PARA LAS QUE LE PEDIMOS SU CONSENTIMIENTO**

## ANEXO 3: COMITÉ DE ÉTICA



## COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

## DATOS DEL PROYECTO

<b>Título:</b>	"Influencia de la frecuencia de entrenamiento y la duración de los intervalos en un protocolo HIIT sobre la fuerza, la potencia, la composición corporal y el VO2 máx en adultos activos"	
<b>Investigador Principal</b>	<b>Nombre</b>	<b>Correo-e</b>
Dr.	Francisco Javier Orquín Castrillón	forquin@ucam.edu

## INFORME DEL COMITÉ

<b>Fecha</b>	29/06/2018	<b>Código</b>	CE061811
--------------	------------	---------------	----------

## Tipo de Experimentación

Investigación experimental clínica con seres humanos	
Utilización de tejidos humanos procedentes de pacientes, tejidos embrionarios o fetales	X
Utilización de tejidos humanos, tejidos embrionarios o fetales procedentes de bancos de muestras o tejidos	
Investigación observacional con seres humanos, psicológica o comportamental en humanos	X
Uso de datos personales, información genética, etc.	X
Experimentación animal	
Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o las plantas	
Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)	

## Comentarios Respecto al Tipo de Experimentación

Nada Obsta

## Comentarios Respecto a la Metodología de Experimentación

Nada Obsta





**COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM**

<b>Sugerencias al Investigador</b>

A la vista de la solicitud de informe adjunto por el Investigador y de las recomendaciones anteriormente expuestas el dictamen del Comité es:

Emitir Informe Favorable	<b>X</b>
Emitir Informe Desfavorable	
Emitir Informe Favorable condicionado a Subsanación	
<b>MOTIVACIÓN</b>	
Incrementará conocimientos en su área	

Vº Bº El Presidente,

Fdo.: José Alberto Cánovas Sánchez



El Secretario,

Fdo.: José Alarcón Teruel

## ANEXO 4: Declaración STROBE

## ARTICLE IN PRESS

4

J.P. Vandenbroucke et al / *Gen Sanit* 2008; 24: 200-208

**Tabla 1**  
Declaración STROBE: lista de puntos esenciales que deben describirse en la publicación de estudios observacionales

Título y resumen	Punto	Recomendación
	1	(a) Indique, en el título o en el resumen, el diseño del estudio con un término habitual (b) Proporcione en el resumen una sinopsis informativa y equilibrada de lo que se ha hecho y lo que se ha encontrado
<b>Introducción</b>		
Contexto/ fundamentos	2	Explique las razones y el fundamento científicos de la investigación que se comunica
Objetivos	3	Indique los objetivos específicos, incluyendo cualquier hipótesis preespecificada
<b>Métodos</b>		
Diseño del estudio	4	Presente al principio del documento los elementos clave del diseño del estudio
Contexto	5	Describa el marco, los lugares y las fechas relevantes, incluyendo los periodos de reclutamiento, exposición, seguimiento y recogida de datos
Participantes	6	(a) Estudios de cohortes: proporcione los criterios de elegibilidad, así como las fuentes y el método de selección de los participantes. Especifique los métodos de seguimiento Estudios de casos y controles: proporcione los criterios de elegibilidad, así como las fuentes y el proceso diagnóstico de los casos y el de selección de los controles. Indique las razones para la elección de casos y controles Estudios transversales: proporcione los criterios de elegibilidad, y las fuentes y los métodos de selección de los participantes (b) Estudios de cohortes: en los estudios pareados, proporcione los criterios para la formación de parejas y el número de participantes con y sin exposición Estudios de casos y controles: en los estudios pareados, proporcione los criterios para la formación de las parejas y el número de controles por cada caso
Variables	7	Defina claramente todas las variables: de respuesta, exposiciones, predictoras, confusoras y modificadoras del efecto. Si procede, proporcione los criterios diagnósticos
Fuentes de datos/medidas	8*	Para cada variable de interés, indique las fuentes de datos y los detalles de los métodos de valoración (medida). Si hubiera más de un grupo, especifique la comparabilidad de los procesos de medida
Sesgos	9	Especifique todas las medidas adoptadas para afrontar posibles fuentes de sesgo
Tamaño muestral	10	Explique cómo se determinó el tamaño muestral
Variabls cuantitativas	11	Explique cómo se trataron las variables cuantitativas en el análisis. Si procede, explique qué grupos se definieron y por qué
Métodos estadísticos	12	(a) Especifique todos los métodos estadísticos, incluidos los empleados para controlar los factores de confusión (b) Especifique todos los métodos utilizados para analizar subgrupos e interacciones (c) Explique el tratamiento de los datos ausentes (missing data) (d) Estudios de cohortes: si procede, explique cómo se afrontan las pérdidas en el seguimiento Estudios de casos y controles: si procede, explique cómo se parearon casos y controles Estudios transversales: si procede, especifique cómo se tiene en cuenta en el análisis la estrategia de muestreo (e) Describa los análisis de sensibilidad
<b>Resultados</b>		
Participantes	13*	(a) Indique el número de participantes en cada fase del estudio; p. ej., número de participantes elegibles, analizados para ser incluidos, confirmados elegibles, incluidos en el estudio, los que tuvieron un seguimiento completo y los analizados (b) Describa las razones de la pérdida de participantes en cada fase (c) Considere el uso de un diagrama de flujo
Datos descriptivos	14*	(a) Describa las características de los participantes en el estudio (p. ej., demográficas, clínicas, sociales) y la información sobre las exposiciones y los posibles factores de confusión (b) Indique el número de participantes con datos ausentes en cada variable de interés (c) Estudios de cohortes: resume el periodo de seguimiento (p. ej., promedio y total)
Datos de las variables de resultado	15*	Estudios de cohortes: indique el número de eventos resultado o bien proporcione medidas resumen a lo largo del tiempo Estudios de casos y controles: indique el número de participantes en cada categoría de exposición o bien proporcione medidas resumen de exposición Estudios transversales: indique el número de eventos resultado o bien proporcione medidas resumen
Resultados principales	16	(a) Proporcione estimaciones no ajustadas y, si procede, ajustadas por factores de confusión, así como su precisión (p. ej., intervalos de confianza del 95%). Especifique los factores de confusión por los que se ajusta y las razones para incluirlos (b) Si categoriza variables continuas, describa los límites de los intervalos (c) Si fuera pertinente, valore acompañar las estimaciones del riesgo relativo con estimaciones del riesgo absoluto para un periodo de tiempo relevante
Otros análisis	17	Describa otros análisis efectuados (de subgrupos, interacciones o sensibilidad)
<b>Discusión</b>		
Resultados clave	18	Resume los resultados principales de los objetivos del estudio
Limitaciones	19	Discuta las limitaciones del estudio, teniendo en cuenta posibles fuentes de sesgo o de imprecisión. Razone tanto sobre la dirección como sobre la magnitud de cualquier posible sesgo
Interpretación	20	Proporcione una interpretación global prudente de los resultados considerando objetivos, limitaciones, multiplicidad de análisis, resultados de estudios similares y otras pruebas empíricas relevantes
Generabilidad	21	Discuta la posibilidad de generalizar los resultados (validez externa)
<b>Otra información</b>		
Financiación	22	Especifique la financiación y el papel de los patrocinadores del estudio, y si procede, del estudio previo en que se basa su artículo

Nota: Se ha publicado un artículo que explica y detalla la elaboración de cada punto de la lista, y se ofrece el contexto metodológico y ejemplos reales de comunicación transparente. La lista de puntos STROBE se debe utilizar preferiblemente junto con ese artículo (gratis en las páginas web de las revistas *PLoS Medicine* (<http://www.plosmedicine.org/>), *Annals of Internal Medicine* (<http://www.annals.org/>) y *Epidemiology* (<http://www.epidem.com/>)). En la página web de STROBE (<http://www.strobe-statement.org>) aparecen las diferentes versiones de la lista correspondientes a los estudios de cohortes, a los estudios de casos y controles, y a los estudios transversales.

\* Proporcione esta información por separado para casos y controles en los estudios con diseño de casos y controles. Si procede, también para los grupos con y sin exposición en los estudios de cohortes y en los transversales.