

# **Efectos inmediatos del tipo de pausa (activa versus pasiva) en el entrenamiento interválico de alta intensidad.**

**Autora:**

**Tania Sánchez Otero**

---

**Tesis Doctoral**

**2015**

**Directores:**

**Eliseo Iglesias Soler**

**José Luis Tuimil López**



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**





# **Efectos inmediatos del tipo de pausa (activa versus pasiva) en el entrenamiento interválico de alta intensidad.**

Memoria presentada por la  
Lic. Tania Sánchez Otero  
para optar al grado de

Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte: Avances e Investigación

A Coruña, 2015



D. ELISEO IGLESIAS SOLER, Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, D. JOSÉ LUIS TUIMIL LÓPEZ, Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, ambos profesores del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de A Coruña.

HACEN CONSTAR:

Que la Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte Dña. TANIA SÁNCHEZ OTERO, ha realizado bajo su dirección el trabajo titulado “EFECTOS INMEDIATOS DEL TIPO DE PAUSA (ACTIVA VERSUS PASIVA) EN EL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD”, el cual reúne todas las condiciones para ser defendido y optar al grado de Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte: Avances e Investigación.

Y para que así conste, lo firman en A Coruña, a 22 de Septiembre de dos mil quince

**Fdo. Eliseo Iglesias Soler**

**Fdo. José Lus Tuimil López**



## **AGRADECIMIENTOS**

Esta Tesis Doctoral fue posible gracias al trabajo incesante de mis tutores Eliseo Iglesias Soler y José Luis Tuimil López, a los cuales agradezco y agradeceré siempre la ayuda incondicional, los ánimos en los momentos más difíciles y que me hayan permitido ser testigo y aprender tantísimo de su talento.

Mi más sincero agradecimiento a todo el equipo que tomó como suya esta Tesis Doctoral y permitieron que saliese adelante. Gracias a Eduardo Carballeira, Xián Mayo, Adrián Varela, Xabier Castro, Dan Río, Diego Bouza, Manuel Caeiro, Martín Otero, Anabell Lage, Roberto de Dios, Olalla García y Manuel Álvarez. Gracias por estar siempre cuando lo he necesitado y por vuestros ánimos y apoyo en las diferentes etapas de trabajo.

El/la lector/a que se adentre en las páginas de este trabajo, podrá comprobar que las evaluaciones fueron exigentes física y psicológicamente y que los participantes que colaboraron en este trabajo son unos auténticos valientes. Muchas gracias por vuestra implicación, esfuerzo y dedicación de vuestro tiempo libre a esta Tesis Doctoral. Ha sido un placer trabajar con vosotros.

Finalmente, dar gracias a las personas más importantes en mi vida. Gracias a mis padres, a mi hermana y a Jacobo, mi otra mitad, porque han apoyado siempre mis decisiones, han comprendido los sacrificios que implica la elaboración de este trabajo y me hacen sentir día a día lo afortunada que soy por tenerlos a mi lado. Gracias en especial a mis abuelos, porque, con el paso de los años, alcanzo a comprender los sacrificios que hicieron para que pudiera tener lo que ellos nunca pudieron. Esta tesis os la dedico a todos vosotros por ser mi ejemplo de vida.





## RESUMEN

El estudio y conocimiento profundo de la periodización y planificación del entrenamiento se ha convertido en una de las principales condiciones para alcanzar el éxito deportivo. Uno de los principios más importantes para conseguir este objetivo con éxito es el de la especificidad el cual, desde una perspectiva fisiológica, establece que un programa de entrenamiento debe estresar los sistemas que están relacionados con el rendimiento en una actividad particular para conseguir adaptaciones específicas. Por lo tanto, para poder garantizar este principio, es necesario conocer en qué medida los diferentes métodos de entrenamiento empleados solicitan los factores determinantes del rendimiento de nuestra disciplina deportiva y qué grado de especificidad alcanzan en comparación con el desempeño en competición. Siguiendo este planteamiento, el objetivo de esta tesis es evaluar la efectividad de una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad en corredores entrenados. En concreto, dichas respuestas se estudiarán atendiendo al papel que juega el tipo de recuperación en los intervalos de pausa (activa *versus* pasiva) tanto si la carga externa está preestablecida como si el esfuerzo es llevado hasta la extenuación.

**Palabras clave:** entrenamiento interválico, tipo de recuperación, tiempo hasta la extenuación, tiempo en consumo máximo de oxígeno, salto vertical.



## RESUMO

O estudo e coñecemento profundo da periodización e planificación do adestramento converteuse nunha das principais condicións para alcanzar o éxito deportivo. Un dos principios máis importantes para conseguir este obxectivo con éxito é o da especificidade o cal, desde unha perspectiva fisiolóxica, establece que un programa de adestramento debe estresar os sistemas que están relacionados co rendemento nunha actividade particular para conseguir adaptacións específicas. Por tanto, para poder garantir este principio, é necesario coñecer en que medida os diferentes métodos de adestramento empregados solicitan os factores determinantes do rendemento da nosa disciplina deportiva e o grao de especificidade alcanzan en comparación co desempeño en competición. Seguindo esta formulación, o obxectivo desta tese é avaliar a efectividade dunha sesión de adestramento interválico de alta intensidade en corredores adestrados. En concreto, ditas respostas estudaranse atendendo ao papel que xoga o tipo de recuperación nos intervalos de pausa (activa versus pasiva) tanto se a carga externa está preestablecida coma se o esforzo é levado ata a extenuación.

**Palabras chave:** adestramento interválico, tipo de recuperación, tempo ata a extenuación, tempo en consumo máximo de osíxeno, salto vertical.



## **ABSTRACT**

The study of training periodization has become one of the main conditions to achieve success in sport. Specificity is one of the most important training principles for success. From a physiological perspective, a training program should stress the systems that are related to performance in a particular activity to achieve specific adaptations. Therefore, to ensure the specificity principle, it is necessary to know to what extent the training methods employed stress the main determinants of performance and what degree of specificity is achieved in regard to the performance in competition. Following this approach, the aim of this thesis is to evaluate the effectiveness of a high intensity interval training session in trained runners. Such responses will be considered taking into account the role of the type of recovery (active versus passive) whether external load is set as if the effort is carried to exhaustion.

**Key words:** interval training, recovery mode, time to exhaustion, time spent at maximal oxygen uptake, vertical jump.



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>9</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>15</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>19</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>21</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>23</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>33</b>
<b>2.1. El rendimiento en disciplinas de resistencia</b> .....	<b>35</b>
2.1.1. Factores limitantes del rendimiento en resistencia.....	38
2.1.2. La fatiga en carreras de resistencia.....	45
<b>2.2. El método interválico</b> .....	<b>50</b>
<b>2.2.1. Concepto y objetivos del entrenamiento interválico de elevada intensidad</b> .....	<b>50</b>
2.2.2. Continuo vs interválico .....	52
2.2.3. Diseño y programación del entrenamiento interválico de elevada intensidad .....	55
2.2.4. Respuestas inmediatas al entrenamiento interválico de elevada intensidad .....	60
2.2.4.1. Intervalos largos _____	61
2.2.4.2. Intervalos cortos _____	63
2.2.4.3. Largos vs Cortos _____	65
<b>2.3. Recuperación activa versus pasiva en el entrenamiento interválico de elevada intensidad</b> .	<b>68</b>
<b>3. ESTUDIO EXPERIMENTAL: EFECTOS INMEDIATOS DEL TIPO DE PAUSA (ACTIVA VERSUS PASIVA) EN EL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD</b> .....	<b>87</b>
<b>3.1. Justificación</b> .....	<b>89</b>
<b>3.2. Objetivos</b> .....	<b>94</b>

<b>3.3. Hipótesis .....</b>	<b>95</b>
<b>3.4. Material y método.....</b>	<b>96</b>
3.4.1. Aproximación experimental.....	96
3.4.2. Participantes .....	98
3.4.3. Material.....	99
3.4.4. Variables de estudio.....	102
3.4.5. Procedimiento y diseño .....	107
3.4.5.1. Primera sesión _____	107
3.4.5.2. Segunda sesión _____	108
3.4.5.3. Tercera sesión _____	111
3.4.5.3.1. Mediciones en reposo.....	112
3.4.5.3.2. Calentamiento.....	112
3.4.5.3.3. Saltos.....	113
3.4.5.3.4. Test incremental en pista.....	113
3.4.5.3.5. Tratamiento de los datos .....	115
3.4.5.4. Sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad _____	119
3.4.5.4.1. Mediciones en reposo.....	122
3.4.5.4.2. Calentamiento y test de saltos.....	122
3.4.5.4.3. Los entrenamientos interválicos .....	122
3.4.5.4.4. Mediciones post-esfuerzo.....	124
3.4.5.4.5. Tratamiento de los datos .....	125
<b>3.5 Análisis estadístico y tratamiento de datos. ....</b>	<b>127</b>
<b>3.6. Resultados .....</b>	<b>129</b>
3.6.1. Test incremental en campo.....	129
3.6.2. Sesiones de entrenamiento interválico con carga controlada .....	130
3.6.2.1. Resultados sobre el rendimiento en las sesiones con carga preestablecida _____	130
3.6.2.2. Resultados sobre la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con carga preestablecida	135
3.6.2.3. Resultados sobre la respuesta metabólica en las sesiones con carga preestablecida ____	147
3.6.2.4. Resultados sobre la capacidad de salto vertical en las sesiones con carga preestablecida	151
3.6.3. Sesiones de entrenamiento interválico con carga hasta la extenuación .....	156
3.6.3.1. Resultados sobre el rendimiento en las sesiones con carga hasta la extenuación _____	156
3.6.3.2. Resultados sobre la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con carga hasta la	extenuación _____
3.6.3.3. Resultados sobre la respuesta metabólica en las sesiones con carga hasta la extenuación	171
3.6.3.4. Resultados sobre la capacidad de salto vertical en las sesiones con carga hasta la	extenuación _____
	175



3.6.4.	Asociaciones entre variables .....	180
<b>3.7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>185</b>
3.7.1.	Efectos del tipo de pausa sobre los criterios de efectividad de HIT .....	185
3.7.1.1.	Efectos del tipo de pausa en el tiempo total de trabajo en $VO_{2max}$ y próximos al $VO_{2max}$ .....	185
3.7.1.2.	Efectos del tipo de pausa en el tiempo en alcanzar el $VO_{2max}$ y el 90% del $VO_{2max}$ .....	188
3.7.1.3.	Efectos del tipo de pausa en el tiempo total de trabajo .....	195
3.7.1.4.	Efectos sobre la eficiencia de la sesión .....	208
3.7.2.	Efectos del tipo de pausa sobre la respuesta cardiorrespiratoria .....	209
3.7.3.	Efectos del tipo de pausa sobre la respuesta metabólica .....	217
3.7.4.	Efectos del tipo de pausa sobre la capacidad de salto vertical .....	226
<b>3.8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>238</b>
<b>3.9.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>241</b>
<b>4.</b>	<b><i>APLICACIONES PRÁCTICAS</i> .....</b>	<b>271</b>
<b>5.</b>	<b><i>FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</i>.....</b>	<b>275</b>
<b>6.</b>	<b><i>ANEXOS</i> .....</b>	<b>279</b>
<b>6.1.</b>	<b><i>Anexo 1. Condiciones metereológicas.</i> .....</b>	<b>281</b>
<b>6.2.</b>	<b>Anexo 2. Documento de consentimiento informado. ....</b>	<b>282</b>
<b>6.3.</b>	<b>Anexo 3. Hoja de información para el participante. ....</b>	<b>283</b>
<b>6.4.</b>	<b>Anexo 4. Publicaciones derivadas del trabajo de Tesis Doctoral. ....</b>	<b>287</b>
<b>6.5.</b>	<b>Anexo 5. Participación en congresos derivadas del trabajo de Tesis Doctoral. ....</b>	<b>287</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema sobre la producción de energía aeróbica.	36
Figura 2.	Esquema de los múltiples factores fisiológicos que actúan como determinantes del rendimiento .	38
Figura 3.	Las nueve variables que definen una sesión de HIT.	56
Figura 4.	Esquema general del diseño del estudio.	97
Figura 5.	Diseño de la tercera sesión.	111
Figura 6.	Imagen del desarrollo del UMTT en la pista de atletismo.	114
Figura 7.	Instalaciones donde se desarrollaron las sesiones de evaluación.	120
Figura 8.	Zona de testaje en la pista	121
Figura 9.	Esquema del diseño de la sesión de carga preestablecida.	122
Figura 10.	Imagen de la preparación del atleta para el comienzo del intervalo de carga.	124
Figura 11.	Gráficos de los valores registrados de $TTVO_{2max}$ y $TT90\% VO_{2max}$ en las cargas de las sesiones con CP.	134
Figura 12.	Gráfico de los resultados del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas en las dos sesiones con CP en valores absolutos y relativos.	138
Figura 13.	Gráfico de los resultados sobre el consumo de oxígeno pico en las sesiones con CP.	140
Figura 14.	Gráfico de los resultados sobre el consumo de oxígeno medio alcanzado en las pausas de las sesiones con CP.	141
Figura 15.	Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la frecuencia cardíaca media y máxima alcanzada en las cargas de las sesiones con CP.	144
Figura 16.	Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas en las sesiones con CP.	146
Figura 17.	Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la concentración de lactato sanguíneo alcanzada en las mediciones en reposo y en las cargas y en las pausas en las sesiones con CP.	149
Figura 18.	Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la altura media y potencia pico en 5CMJ en las sesiones con CP.	154
Figura 19.	Gráfico de los resultados sobre el tiempo total de trabajo al $VO_{2max}$ y $90\%VO_{2max}$ en cada carga en las sesiones con CE.	159
Figura 20.	Gráfico del consumo de oxígeno medio alcanzado) y el porcentaje que supone con respecto al $VO_{2max}$ de cada participante (B) en las cargas en las sesiones con CE.	163
Figura 21.	Gráfico del consumo de oxígeno pico alcanzado y el porcentaje que supone con respecto al $VO_{2max}$ de cada participante en las cargas en las sesiones con CE.	164

Figura 22.	Gráfico con los resultados ANOVA sobre el consumo de oxígeno medio alcanzado en las pausas en las sesiones con CE.	165
Figura 23.	Gráfico con los resultados del ANOVA sobre el análisis de la frecuencia cardíaca media y la frecuencia cardíaca máxima alcanzadas en las cargas de las sesiones con CE.	169
Figura 24.	Gráfico con los resultados del ANOVA sobre la frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas de las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.	170
Figura 25.	Gráfico con los resultados del ANOVA en el análisis de la concentración de lactato sanguíneo alcanzada las cargas en las sesiones con CE y su comparación con las mediciones en reposo.	173
Figura 26.	Gráfico con los resultados del ANOVA sobre el análisis de la concentración de lactato sanguíneo alcanzada las pausas en las sesiones con CE.	174
Figura 27.	Gráfico con los resultados del ANOVA sobre la altura promedio alcanzada en 5CMJ en las sesiones con CE.	178
Figura 28.	Gráfico con los resultados del ANOVA sobre la potencia pico alcanzada en 5CMJ en las sesiones con carga hasta la extenuación.	179

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.	70
Tabla 2.	Estadísticos descriptivos de las características de los participantes.	99
Tabla 3.	Índice de las variables analizadas en el estudio.	102
Tabla 4.	Valores de las variables analizadas del UMTT	129
Tabla 5.	Criterios de maximalidad cumplidos por los participantes del estudio.	130
Tabla 6.	Resultados de la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con carga CP	131
Tabla 7.	Resultados del estímulo cardiorrespiratorio alcanzado en las sesiones con CP.	132
Tabla 8.	Valores de los consumos de oxígeno medios y pico alcanzados en diferentes momentos de medición durante las sesiones con CP.	135
Tabla 9.	Resultados generales de la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con CP	142
Tabla 10.	Resultados de la frecuencia cardíaca registrada en las sesiones con carga controlada	143
Tabla 11.	Valores promedio de la respuesta cardíaca en las sesiones con CP.	147
Tabla 12.	Resultados sobre la concentración de ácido láctico en sangre en las sesiones con CP	148
Tabla 13.	Valores promedio de la concentración de lactato sanguíneo registradas durante las sesiones con CP	150
Tabla 14.	Resultados sobre la respuesta neuromuscular en las cargas de las sesiones con carga controlada	151
Tabla 15.	Valores promedio de la capacidad de salto vertical en las sesiones con CP.	155
Tabla 16.	Resultados de la respuesta cardiorrespiratoria y rendimiento en las sesiones con CE	157
Tabla 17.	Valores de la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con CE.	158
Tabla 18.	Valores de la respuesta cardiorrespiratoria en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación.	160
Tabla 19.	Resultados generales sobre la respuesta cardiorrespiratorio en las sesiones con carga hasta la extenuación	166
Tabla 20.	Respuesta cardíaca en las sesiones con CE.	167
Tabla 21.	Valores promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las cargas y pausas de las sesiones con CE.	171
Tabla 22.	Resultados sobre la concentración de ácido láctico en sangre en las sesiones con carga hasta la extenuación	172
Tabla 23.	Valores promedio de la concentración de lactato sanguíneo y su remoción en las cargas y pausas de las sesiones con CE.	175
Tabla 24.	Resultados sobre la respuesta neuromuscular en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación	176

Tabla 25.	Valores promedio de las variables neuromusculares registradas en los test de 5CMJ de las sesiones con CE.	180
Tabla 26.	Resumen de las asociaciones encontradas entre las diferentes variables tanto en sesiones con CP como CE.	183
Tabla 27.	Variables descriptivas de las condiciones ambientales en las sesiones realizadas por cada participante, expresadas como $\text{media} \pm \text{DE}$ .	281

## ABREVIATURAS

ACT	pausa activa
ADN	Ácido desoxirribunucleico
ADP	adenosín difosfato
ATP	adenosín trifosfato
Ca <sup>2+</sup>	ión calcio
CE	carga hasta extenuación
CEA	ciclo estiramiento-acortamiento
CMJ	salto con contramovimiento, del inglés <i>countermovement jump</i>
CP	carga preestablecida
CV	coeficiente de variación
EC	economía de carrera
FC	frecuencia cardíaca
FC <sub>max</sub>	frecuencia cardíaca máxima
FT	Fibras rápidas, el inglés <i>fast-twitch muscle fiber</i>
FV	fase de verificación
GC	gasto cardíaco
h	hora
H <sup>+</sup>	hidrogenión
Hb	hemoglobina
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	bicarbonato
HIT	entrenamiento interválico de alta intensidad, del inglés <i>high intensity interval training</i>

hPa	hectopascal
Hz	hercio
I	intensidad
IMC	índice de masa corporal
K <sup>+</sup>	ión potasio
Kg	kilogramo
Km	kilometro
L	litro
La	lactato
m	metro
min	minutos
ml	mililitros
MLSS	máximo estado estable del lactato, del inglés <i>maximal lactate steady state</i>
MMP	mejor marca personal
mmol	milimoles
MP	potencia media
N	newton
Na <sup>+</sup>	ión sodio
NAD <sup>+</sup>	nicotinamida adenina dinucleótido
N.R.	no reportado
OTG	órganos tendinosos de Golgi
PAM	potencia aeróbica máxima
PAS	pausa pasiva
PETCO <sub>2</sub>	presión de dióxido de carbono al final de la espiración



PETO <sub>2</sub>	presión de oxígeno al final de la espiración
PCr	fosfocreatina
PFK	fosfofructocinasa
pH	acidez
Pi	ión fósforo
P <sub>max</sub>	potencia máxima
PP	potencia pico
PPA	potenciación post-activación
ppm	pulsaciones por minuto
P.VT <sub>2</sub>	potencia asociada al segundo umbral ventilatorio
R	recuperación
RPE	ratios de percepción subjetiva del esfuerzo, del inglés <i>ratio of perceived exertion</i>
r.p.m.	revoluciones por minuto
RST	entrenamiento de sprints repetidos, del inglés <i>repeated sprint training</i>
s	segundos
SIT	entrenamiento interválico de sprints (SIT)
SNC	sistema nervioso central
ST	fibras lentas, del inglés <i>slow-twitch muscle fiber</i>
T <sup>a</sup>	temperatura
Tlim	tiempo límite
TT	tiempo contrarreloj o del inglés <i>time trial</i>
T <sub>UMTT</sub>	tiempo empleado en el test de la Universidad de Montreal
U.Anae	umbral anaeróbico
U.Láctico	umbral láctico

UMTT	test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal, del francés Université de Montreal Track Test
UV <sub>1</sub>	primer umbral ventilatorio
UV <sub>2</sub>	segundo umbral ventilatorio
VAM	velocidad aeróbica máxima
VE	ventilación
VE/VO <sub>2</sub>	equivalente ventilatorio del oxígeno
VE/VCO <sub>2</sub>	equivalente ventilatorio del dióxido de carbono
VCO <sub>2</sub>	volumen de dióxido de carbono eliminado
V <sub>MART</sub>	velocidad pico en un test anaeróbico de carrera
VO <sub>2</sub>	consumo de oxígeno
VO <sub>2max</sub>	máximo consumo de oxígeno
VS	volumen sistólico
V.U.Láctico	velocidad asociada al umbral láctico
V.UV <sub>2</sub>	velocidad asociada al segundo umbral ventilatorio
W	watios

## 1. INTRODUCCIÓN



El entrenamiento deportivo ha evolucionado en las últimas décadas gracias al trabajo conjunto entre los técnicos deportivos y los investigadores de las ciencias del deporte en la búsqueda de respuestas a los interrogantes que surgen en el día a día (1). El estudio y conocimiento profundo de la periodización y planificación del entrenamiento se ha convertido en una de las principales condiciones para alcanzar el éxito deportivo (2,3).

Los seres humanos poseen numerosos recursos biológicos que les permiten adaptarse a un medio externo muy variable manteniendo las características del propio medio interno dentro de unos límites (homeostasis). En el caso general del entrenamiento deportivo, el proceso de adaptación persigue una mínima alteración del medio interno, la minimización y retraso de la fatiga, la mejora del gasto energético durante el ejercicio y, por tanto, el aumento del rendimiento. La base de todos estos procesos está en la gran plasticidad orgánica derivada de la información genética acumulada en nuestro genoma (4).

Billat (5) apunta una definición simple y correcta sobre el entrenamiento, entendiéndolo como una participación regular y sistemática en el ejercicio para aumentar el rendimiento deportivo. El entrenamiento consiste en la aplicación de unos estímulos de carácter fisiológico y psicológico al organismo para que éste, mediante un proceso conocido como Síndrome General de Adaptación, alcance unas adaptaciones favorables para el rendimiento. Estas adaptaciones se orientan a aspectos fisiológicos, psicológicos, técnicos y mecánicos (6). En concreto, el objetivo del entrenamiento de resistencia es el de desplazar la curva que relaciona la velocidad con el tiempo hacia la derecha, es decir, permitir al atleta completar una distancia en menos tiempo o correr más tiempo a una velocidad dada (5).

Uno de los principios más importantes para conseguir este objetivo con éxito es el de la especificidad (7) el cual mantiene que las respuestas/adaptaciones al entrenamiento están íntimamente relacionadas con el modo, frecuencia y duración del ejercicio realizado. Desde una perspectiva fisiológica, un programa de entrenamiento debe estresar los sistemas que están relacionados con el rendimiento en una actividad particular para conseguir adaptaciones específicas (8). Estos cambios estructurales y fisiológicos ocurren a

consecuencia de las demandas específicas de la actividad realizada y varían en función del volumen, intensidad y frecuencia del entrenamiento (9).

Según Reilly, T. et al. (8) los componentes principales que determinan el rendimiento y en los cuales se debe aplicar especificidad son: 1) el sistema energético, 2) el grupo muscular y 3) la técnica deportiva. Este autor recuerda que hay evidencias de que el entrenamiento de resistencia mejora la capacidad de transporte del oxígeno y una utilización más eficiente a través de un aumento de la densidad de los capilares, de la concentración de mioglobina, número y tamaño de las mitocondrias, mayor actividad de las enzimas oxidativas de la mitocondria y el uso más eficiente de los sustratos (carbohidratos y grasas). Mientras que estas adaptaciones son comunes en general a esfuerzos aeróbicos, sus efectos precisos dependen del patrón de reclutamiento de las unidades motrices, el tipo de fibras musculares solicitadas y el tipo de acción muscular (concéntrico o excéntrico). Los complejos procesos de adaptación inducidos por el ejercicio en el músculo esquelético involucran mecanismos específicos de señalización para la réplica de secuencias genéticas de ADN que permiten la consecuente traducción en el código genético en una serie de aminoácidos para crear nuevas proteínas. Las consecuencias funcionales de estas adaptaciones se determinan por el volumen, intensidad, frecuencia y modo de entrenamiento así como la vida media de la proteína (10).

Para alcanzar las características de las que depende el rendimiento y conseguir adaptaciones específicas, el entrenamiento debe estar centrado en dichos elementos (8). En definitiva, para poder garantizar este principio de especificidad, debemos conocer en qué medida los diferentes métodos de entrenamiento empleados solicitan los factores determinantes del rendimiento de nuestra disciplina deportiva y qué grado de especificidad alcanzan en comparación con el desempeño en competición.

Siguiendo este planteamiento, el objetivo de esta tesis es evaluar la efectividad de una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad en corredores entrenados. En concreto, dichas respuestas se estudiarán atendiendo al papel que juega el tipo de recuperación los intervalos de pausa (activa *versus* pasiva) tanto si la carga externa está preestablecida como si el esfuerzo es llevado hasta extenuación. Finalmente, se ha

intentado respetar al máximo la especificidad del entrenamiento realizando todas las sesiones de testaje y entrenamiento en campo.





## **2. MARCO TEÓRICO**



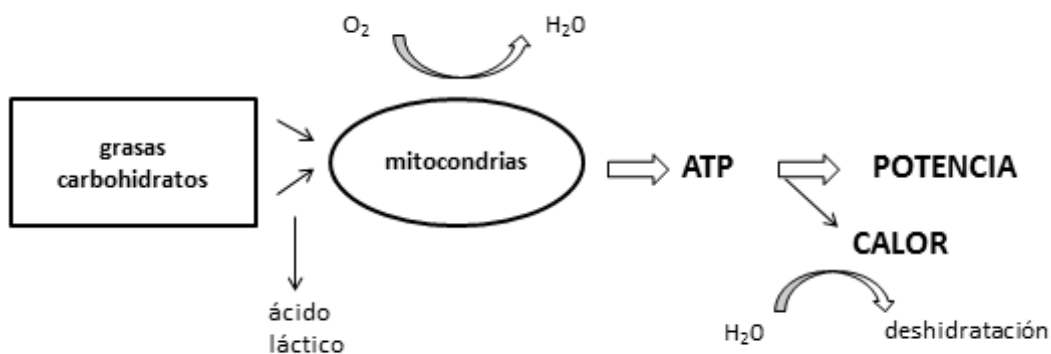
## 2.1. El rendimiento en disciplinas de resistencia

Existen numerosas definiciones de resistencia. En general, los criterios más relacionados con el entrenamiento de la resistencia son los de realizar un trabajo de larga duración y el de soportar la fatiga (11). Jones y Carter (12) la definen como la capacidad de sostener una velocidad o potencia determinada durante el máximo tiempo posible. Para Zintl (13) la resistencia es *“la capacidad de mantener física y psíquicamente un esfuerzo durante el mayor tiempo posible, sin que disminuya la intensidad de trabajo o bien recuperarse rápidamente después de un esfuerzo físico o psíquico”*. En general, se manejan dos grandes conceptos: la capacidad de resistir la fatiga y el de recuperarse de un esfuerzo lo antes posible. Por tanto, los procesos de mejora de la resistencia aeróbica están íntimamente ligados a los de la fatiga, siendo dos conceptos que interaccionan a la hora de explicar la mejora del rendimiento en pruebas deportivas donde la capacidad de resistencia es un factor limitante (14).

El rendimiento en disciplinas de resistencia es altamente dependiente de la capacidad de conseguir ATP aeróbicamente, es decir, de que exista un aporte adecuado de oxígeno desde la atmósfera hasta la citocromo oxidasa en la cadena de transporte de electrones de la mitocondria y del aporte continuo de sustrato energético a través de los carbohidratos y los lípidos (12). Otros aspectos como la capacidad de eliminar calor, dióxido de carbono y otros productos de desecho y sostener la homeostasis en otras zonas del organismo han mostrado ser claves a la hora de determinar el rendimiento en este tipo de esfuerzos (15).

La capacidad de resistencia se puede describir groseramente a través de las curvas individuales que relacionan los tiempos con las velocidades o potencias máximas que pueden sostenerse. Las adaptaciones del entrenamiento de resistencia desplazan la curva velocidad-tiempo hacia la derecha indicando que el sujeto puede correr más rápido una determinada distancia o mantener durante más tiempo una intensidad de esfuerzo (5). El rendimiento a una velocidad dada dependerá de la capacidad de producción aeróbica, anaeróbica y de la eficiencia del uso de esa energía cuando se

convierte en movimiento (16,17). Diferentes autores han intentado establecer un esquema que ponga en interrelación todos los factores que interaccionan para determinar el rendimiento en disciplinas de resistencia. Por ejemplo, Coyle (18) resumió en un esquema simple la energética y los puntos clave de la fatiga en ejercicios de resistencia.

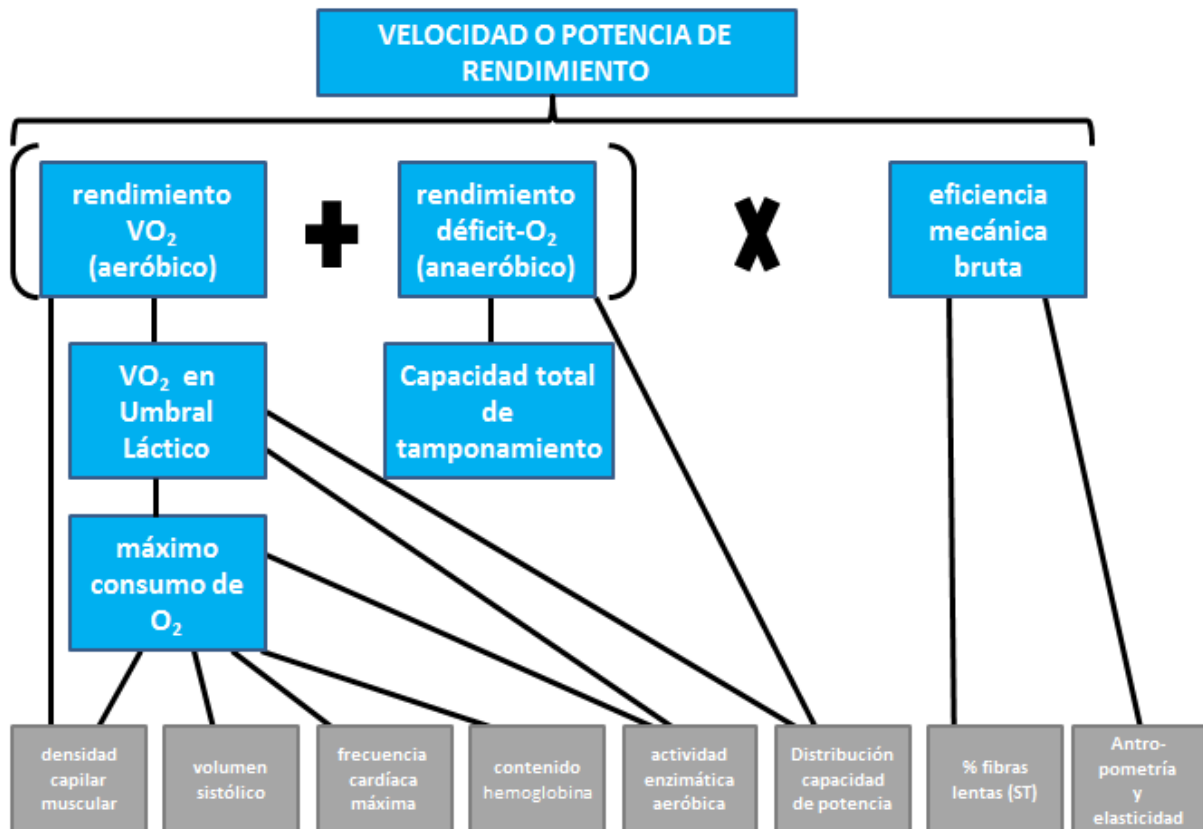


**Figura 1.** Esquema sobre la producción de energía aeróbica. Adaptado de Coyle (18).

En la figura 1 se entiende que el rendimiento está directamente influido por la disponibilidad de oxígeno, carbohidratos y grasas y los cambios en la densidad mitocondrial ayudan a regular el metabolismo oxidativo. Por otro lado, los principales productos liberados por un intenso y prolongado metabolismo oxidativo son los hidrogeniones (acidosis) y calor (hipertermia). Altos niveles de sudoración (p. ej. 1-2 litros por hora) durante el ejercicio prolongado causan deshidratación si no se reemplazan adecuadamente ya que ésta afecta al rendimiento causando hipertermia y alterando la función cardiovascular. Por lo tanto, los corredores de resistencia necesitan, sobre todo, resistencia cardiovascular o habilidad para mantener un gran aporte de volumen de sangre a los músculos activos a medida que la precarga del corazón se va reduciendo debido a la sudoración y a un descenso de la resistencia periférica por un aumento de la temperatura central (15). El entrenamiento de resistencia afecta a todos estos factores llevando a la consecución de unos procesos de adaptación que tienen como finalidad retrasar la fatiga. Estas adaptaciones están

bastante bien documentadas (12,19-27). Sin embargo, existe menos información acerca del tipo de relación que tienen estas adaptaciones fisiológicas con el rendimiento en una disciplina deportiva tras diferentes tipos de entrenamiento (28). Para analizar qué factores son los que determinan el rendimiento en pruebas de resistencia, la metodología más común es escoger parámetros relacionados con la función fisiológica y relacionarlos con parámetros de medición de rendimiento (p. ej. tiempo invertido en una distancia) a través de una serie de correlaciones o regresiones múltiples (29). A este respecto, los factores fisiológicos más destacados por su relación con el rendimiento en resistencia son el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ), umbral láctico (U.Láctico), economía de carrera (EC) y capacidad anaeróbica (30).

El objetivo es entender cómo numerosos factores fisiológicos interactúan para establecer los límites del rendimiento humano en la capacidad de resistencia (figura 2). En un esfuerzo por resumir los requerimientos mínimos que debe cumplir un atleta que desee competir a alto nivel en esfuerzos con una duración superior a los 15 min, Hawley (1) destaca tener: 1) un elevado  $VO_{2max}$  ( $> 70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ); 2) la habilidad para mantener un elevado porcentaje del  $VO_{2max}$  en esfuerzos sostenidos; 3) una potencia o velocidad alta en el U.Láctico ; 4) la habilidad de mantener elevadas potencias o velocidades absolutas y resistir la fatiga muscular; 5) una técnica eficiente/económica y 6) la habilidad de utilizar la grasa como sustrato en esfuerzos de elevada intensidad.



**Figura 2.** Esquema de los múltiples factores fisiológicos que actúan como determinantes del rendimiento (adaptado de Joyner y Coyle) (17)

### 2.1.1. Factores limitantes del rendimiento en resistencia

La habilidad para realizar ejercicio físico está íntimamente ligada a la capacidad del sistema cardiovascular para aportar oxígeno (O<sub>2</sub>) a los músculos y del sistema respiratorio para eliminar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la sangre a través de los pulmones (31). El consumo máximo de oxígeno, o VO<sub>2max</sub>, se define como la cantidad máxima de O<sub>2</sub> que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo y se expresa en ml·min<sup>-1</sup> o ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> (32,33). El VO<sub>2max</sub> expresa la habilidad del corazón para generar un alto gasto cardíaco (GC), la hemoglobina total (Hb), el alto flujo sanguíneo derivado a los músculos y la elevada capacidad de extracción del oxígeno en el tejido muscular y la habilidad de los pulmones para oxigenar la sangre

arterial (17). El  $VO_{2max}$  es un parámetro que ha correlacionado con el rendimiento en pruebas de resistencia en grupos heterogéneos de corredores (34-38) pero los resultados no son tan claros en atletas con  $VO_{2max}$  similar (39,40). Esta falta de relación se ha interpretado como que el  $VO_{2max}$  no era el mejor factor que explicaba el rendimiento en pruebas de resistencia (41). Sin embargo, otros autores (42) explican la falta de relación a que la magnitud de los coeficientes de correlación depende de la amplitud en el rango de valores que toma el  $VO_{2max}$  en la muestra de sujetos de manera que, a medida que la diferencia entre los sujetos se reduce, los coeficientes de correlación se aproximan a cero. Todavía existe debate (41,43) entre los que defienden el concepto tradicional, donde el  $VO_{2max}$  estaría limitado principalmente por factores centrales (sistema circulatorio y/o respiratorio) (44-47), y los que lo cuestionan (factores musculares) (48-52). En general, existe un abundante cuerpo de investigaciones que muestran evidencias de que el entrenamiento de resistencia genera adaptaciones que permiten aumentar el GC, el volumen de sangre y la densidad capilar y mitocondrial en el músculo. De todas estas adaptaciones, parece que la más determinante para incrementar el  $VO_{2max}$  es el volumen sistólico (12,17) .

A la hora de aplicar los conocimientos científicos para evaluar a corredores de media y larga distancia, se han venido empleando la velocidad asociada al  $VO_{2max}$  o velocidad aeróbica máxima (VAM) y el tiempo que ésta se puede mantener (Tlim) (53). La VAM se define como la mínima velocidad necesaria para alcanzar el  $VO_{2max}$  en una prueba incremental (54) y, por lo tanto, podría ser una intensidad de entrenamiento óptima cuando el objetivo es correr el mayor tiempo posible en  $VO_{2max}$  (55). La VAM ha mostrado una relación significativa con el rendimiento en pruebas de resistencia debido, principalmente, a que es un parámetro que refleja el nivel de EC además de las adaptaciones cardiorrespiratorias (36,37,44,56,57). En la actualidad existen muchas dudas y un debate importante acerca del mejor modo de utilización de la VAM. Los diversos resultados de las investigaciones podrían deberse a diferencias en la terminología empleada y la metodología de evaluación de dichos parámetros (54,58,59). La VAM puede determinarse de forma directa, en laboratorio o en campo con analizador de gases portátil, o indirecta, a través de la relación lineal entre velocidad y consumo de oxígeno, de cálculos matemáticos o con pruebas de campo

(60). En un estudio de Hill y Rowell (58) se obtuvieron valores de VAM significativamente diferentes en función de la definición de dicha variable, manteniendo valores de correlación entre ellas desde 0,68 a 1,00. Es decir, la VAM es altamente dependiente del protocolo y metodología de determinación. De todos modos, otros estudios han observado una buena correlación entre las VAM determinadas por diferentes protocolos (54,61) y mostró ser un estímulo óptimo para solicitar el  $VO_{2max}$  en esfuerzos mantenidos (62).

La otra dimensión de la VAM es el tiempo límite (Tlim), definido como la capacidad de mantener la VAM en el tiempo (60). Aporta información tanto de la capacidad aeróbica como anaeróbica. La caracterización de este parámetro puede resultar de gran utilidad puesto que la mayoría de las pruebas atléticas también se suelen realizar con una velocidad sostenida en torno a la VAM reproduciendo el esfuerzo competitivo de forma más fiel que cualquier otra prueba incremental (59). Así, en el entrenamiento por repeticiones o interválico, la VAM es un parámetro empleado para individualizar la intensidad y el Tlim para la duración (53,55). Sin embargo, el Tlim ha mostrado una gran variabilidad intersujeto en algunos estudios (54,60) por lo que su uso para comparar rendimientos entre diferentes sujetos resultaría más difícil (60). En un estudio de Billat et al. (63) no se detectó diferencia significativa entre dos Tlim pero se observó una elevada variabilidad intrasujeto, por lo que los autores concluyeron que resultaría un parámetro poco preciso para monitorizar las adaptaciones, la evolución del rendimiento y la prescripción del entrenamiento. Dependiendo del deportista valorado, el Tlim puede tener una duración de 2 min 30 s a 10 min (63), con una media aproximada de 6 min (60). En un grupo de corredores de nivel homogéneo, se observó una correlación negativa entre el Tlim y el  $VO_{2max}$  y la VAM (64) o una ausencia de correlación con el  $VO_{2max}$ , VAM, la EC y el tiempo en 3000 m (63). Parece entonces que los sujetos que tienen una VAM más alta son los que mantienen un Tlim a la VAM menor. Sin embargo se observó una correlación positiva con el U.Láctico (expresado como porcentaje de la VAM) (63,64) y con la velocidad en 21 km (63). Esta relación entre el Tlim con el U.Láctico podría explicar la gran variabilidad entre sujetos donde la capacidad anaeróbica sería clave a la hora de explicar el rendimiento en este tipo de esfuerzos (53,63).



Aunque el  $VO_{2max}$  establece el límite superior de la producción de energía por vía aeróbica en esfuerzos de resistencia, la mayor parte de las distancias no se disputan al 100% del  $VO_{2max}$ . En realidad, se emplea un porcentaje del  $VO_{2max}$  (% del  $VO_{2max}$  o del término en inglés *performance VO<sub>2</sub>*) que disminuirá a medida que aumenta la distancia. Así, en teoría, el sujeto que sea capaz de correr a un % del  $VO_{2max}$  más elevado sin acumular lactato mantendrá una velocidad de carrera superior (43,65). Por lo tanto, los deportistas de resistencia deben desarrollar un  $VO_{2max}$  elevado pero también la habilidad para mantener una fracción de utilización del  $VO_{2max}$  alta y ser eficientes fisiológicamente durante la actividad (66). El porcentaje de  $VO_{2max}$  que se puede mantener en un esfuerzo de resistencia está relacionado con el  $VO_2$  en el Umbral Anaeróbico (U.Anae) (17,43,66,67). Cuando Wasserman definió el umbral anaeróbico en 1967 como *“la intensidad de ejercicio o trabajo físico por encima de la cual empieza a aumentar de forma progresiva la concentración de lactato en sangre a la vez que la ventilación se intensifica también de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido”* estaba uniendo dos conceptos: el metabólico y el ventilatorio. Es decir, este umbral se puede determinar a través del análisis de la dinámica de la concentración de lactato en sangre o a través de los cambios observados en la ventilación. En el primer caso, se denomina esta zona de transición aeróbica-anaeróbica como Umbral Láctico y en el segundo como Umbral Ventilatorio (U.V.) (32). La información que nos aporta la detección del U.Láctico o U.V. permite conocer la intensidad de carga a partir de la cual el organismo aumenta su dependencia del metabolismo anaeróbico para obtener energía ya que el aeróbico por sí solo no es capaz. El  $VO_2$  en el U.Anae, expresado tanto en valor absoluto como relativo al  $VO_{2max}$ , se relaciona con el  $VO_{2max}$  y el rendimiento en resistencia, mientras que la velocidad del U.Anae integra además la EC (44). Así, si un atleta tiene un  $VO_{2max}$  inferior, puede compensar este hecho corriendo a un % del  $VO_{2max}$  superior. Sin embargo, aunque sean capaces de correr con un  $VO_2$  similar, hay que tener en cuenta la EC para determinar el resultado (43,68). Por ejemplo, en un estudio (69), el grupo de atletas que acumulaba mayor volumen de entrenamiento semanal fueron los que mostraron velocidades de carrera superiores en distancias entre 10 y 90 km las cuales fueron explicadas por la EC y no por el  $VO_{2max}$  o el % $VO_{2max}$  sostenido durante la competición. Por otro lado, los parámetros asociados al U.Anae (% del  $VO_{2max}$  y/o

velocidad) se han mostrado más sensibles a las adaptaciones producidas por el entrenamiento que el  $VO_{2max}$  (66), evidenciándose una relación entre dichos parámetros y el rendimiento en pruebas de resistencia desde los 3 km hasta la maratón (66,67,70-73).

Durante muchos años, la gran tendencia ha sido analizar el rendimiento en pruebas de resistencia atendiendo principalmente a los parámetros cardiorrespiratorios. Así, la fatiga se explicaría por problemas en el aporte de oxígeno a la musculatura o la incapacidad de utilizarlo lo suficientemente rápido en la célula muscular. Esta doctrina reduccionista hacia los factores cardiorrespiratorios tiene su origen, según MacFarlane (74) en el desarrollo de tecnologías para la medición del gasto energético y el análisis de variables respiratorias ocurrida en los años 60 y 70. Estos aparatos sofisticados y que aportaban datos de forma automática generó un reforzamiento del concepto del  $VO_{2max}$  como indicador de rendimiento aeróbico de un atleta. Esto ocurrió a pesar de generarse evidencias paralelas que informaban sobre las limitaciones de esta variable y las altas relaciones que existen entre el rendimiento en pruebas de resistencia y otras, como la velocidad máxima en carrera, la potencia crítica y el U.Anae. El término Economía de Carrera (EC) se relaciona íntimamente con la eficiencia, la cual expresaría la proporción de potencia metabólica requerida para producir una potencia física determinada. Así, el rendimiento de un atleta estaría limitado por la cantidad de trabajo físico que puede realizar con la energía disponible durante el tiempo asignado (75). Esto permite comprender cómo un corredor puede tener un dispendio energético menor que otro a una velocidad constante, lo que le permite correr durante más tiempo a esa velocidad, o correr a una velocidad mayor una distancia determinada con un consumo de  $O_2$  similar (76,77). Por ejemplo, en el estudio de Conley y Krahenbuhl (39) observaron que, en un grupo de corredores de nivel homogéneo ( $VO_{2max} = 71,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y  $\approx 32 \text{ min}$  en 10 km) el  $VO_{2max}$  no mantenía una correlación significativa con el rendimiento en 10 km pero sí lo hizo la EC a diferentes velocidades submáximas la cual explicó el 65,4% de la variación en el rendimiento en 10km. En general, existe un gran cuerpo de evidencias científicas que indican una relación positiva entre la EC y el rendimiento en esfuerzos de resistencia (37,39,78-81). Sin embargo, existe menos

consenso acerca de los posibles métodos que se pueden aplicar para mejorar la EC, posiblemente debido a diferencias metodológicas de los estudios (80). Actualmente se recomiendan diferentes estrategias para mejorar la EC con el objetivo de aumentar el rendimiento en disciplinas de resistencia (78,80,82-88):

- 1) Trabajo de fuerza con sobrecargas y pliometría (características neuromusculares).
- 2) Exposición a la altitud.
- 3) Entrenamiento en condiciones de elevada temperatura.

Como ya se expuso en el apartado anterior, aunque el éxito en esfuerzos de resistencia requiere un elevado  $VO_{2max}$ , éste no explica por sí solo el rendimiento y otras variables como la EC o la velocidad pico alcanzada en tapiz rodante son mejores predictores en un grupo de atletas con un nivel similar (39,56,78). Así, se ha visto como tras un programa de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia mejoraba el rendimiento en distancias largas e incluso lo hacía sin haber provocado incrementos en el  $VO_{2max}$  (78,89). Actualmente, se asume que tanto factores centrales asociados al consumo de oxígeno como factores de potencia muscular relacionados con las características neuromusculares y anaeróbicas limitan el rendimiento en pruebas de resistencia de alta intensidad (68,90). El desarrollo de la fuerza y potencia se ha convertido recientemente en un factor clave para entender el rendimiento en carreras de larga distancia, presumiblemente por descender el coste energético de la actividad (68,80,89,91). Del mismo modo, la potencia y capacidad anaeróbica ha mostrado relación con el rendimiento (78,79,92,93). Esta interacción entre diferentes parámetros se debe a que, aunque en deportes de resistencia se requiere una elevada potencia aeróbica, los atletas también deben ser capaces de mantener una velocidad relativamente alta durante toda la distancia. Esto enfatiza la dependencia sobre el papel de las características neuromusculares que están relacionadas con la activación voluntaria y refleja, la fuerza muscular y elástica y la mecánica de carrera (77,80,93,94). Gazeau, Koralsztein y Billat (95) observaron que los sujetos que eran capaces de mantener más tiempo su VAM eran los que modificaban menos las variables cinemáticas gracias a una mayor eficiencia motriz. De hecho, el aumento del tiempo de contacto en la segunda parte de la prueba se mostró como un buen

indicador del cese del esfuerzo. Este hallazgo también se observó en el estudio de Nummela et al. (79) donde la pérdida de capacidad de reclutamiento muscular desde el km 3 al km 5 en un test de 5 km se relacionó negativamente con el rendimiento. Los atletas que fueron capaces de mantener una menor pérdida de reclutamiento neuromuscular tuvieron mejor rendimiento. Incluso, se observó que todos los atletas realizaron más rápido la última vuelta y que esta mayor velocidad se correlacionó con la velocidad alcanzada en un test previo de capacidad anaeróbica en carrera ( $V_{MART}$ ), pero no con el  $VO_{2max}$  ni con la EC. Es decir, en la fase final de un esfuerzo de resistencia, podrían ser los factores neuromusculares los determinantes del rendimiento y no la capacidad de consumo de oxígeno. Como recuerdan los autores, la  $V_{MART}$  no sólo se relaciona con la capacidad anaeróbica sino con la capacidad del sistema neuromuscular de aplicar potencia. En el estudio de Paavolainen et al. (92) se observó que los atletas de mayor nivel eran capaces de aplicar mayores niveles de fuerza en cada apoyo (menores tiempos de contacto) a una velocidad dada y mostraban una preactivación mayor del músculo gastrocnemio. Estas variables cinemáticas mostraron correlación con el tiempo invertido en 10 km. En otro estudio de Paavolainen, Nummela y Rusko (96) se comprobó que la velocidad llevada en 5 km se correlacionó con el  $VO_{2max}$  ( $r = 0,63$ ;  $p < 0,05$ ), el punto de compensación ventilatoria ( $r = 0,74$ ;  $p < 0,001$ ), la EC ( $r = - 0,69$ ;  $p < 0,01$ ), los tiempos de contacto en 5 km ( $r = - 0,50$ ;  $p < 0,05$ ), con la velocidad alcanzada en 20 m ( $r = 0,63$ ;  $p < 0,05$ ) y con la velocidad alcanzada en el test  $V_{MART}$  ( $r = 0,68$ ;  $p < 0,01$ ), siendo el punto de compensación ventilatoria, la EC y la  $V_{MART}$  los más determinantes del rendimiento en 5 km. Los autores vuelven a recalcar que tanto la vía anaeróbica como los factores neuromusculares se relacionan con el rendimiento en pruebas de larga distancia. Existen más evidencias de esta relación entre el entrenamiento de fuerza y los factores neuromusculares como contribución positiva al rendimiento en pruebas de resistencia a través, principalmente, de la mejora en la EC (78,79,84,86,88,89,97,98). Gran parte de las investigaciones se han centrado sobre los efectos del entrenamiento de la fuerza máxima y/o pliometría ya que se dirigen a adaptaciones neurales con menor énfasis en la hipertrofia. Además, la pliometría también actúa sobre el stiffness del sistema músculo tendinoso, que permite al cuerpo almacenar la energía elástica y utilizarla de forma más efectiva (99). Estas adaptaciones incrementarían la EC a través

de un mejor reclutamiento de las unidades motoras y menor tiempo de contacto que permitirían generar más fuerza sin aumentar de forma proporcional los requerimientos energéticos (80,93). Resumiendo, al modelo tradicional de explicación del entrenamiento en resistencia se le unen dos variables más: el reclutamiento muscular y la producción de fuerza. Lo que queda por aclarar es si un mayor nivel de fuerza aumenta el rendimiento por mejorar la EC o porque los factores neuromusculares son una variable independiente que, por sí misma y sin actuar en nada más, supone un límite para el rendimiento de estas características (79). Así por ejemplo, se encontró una relación entre la disminución del rendimiento en resistencia con la edad en atletas entrenados y el empeoramiento de variables cardiorrespiratorias y en la manifestación de fuerza y potencia, pero no en la EC (77).

En definitiva, el rendimiento en los eventos de larga duración depende de la compleja interacción de los siguientes factores: 1) alto GC y aporte de  $O_2$  a los músculos activos que lleve a una elevada capacidad de regeneración aeróbica de ATP ( $VO_{2max}$ ); 2) la habilidad para mantener un elevado porcentaje de  $VO_{2max}$ ; y 3) la habilidad de moverse más eficientemente (EC) (100).

### **2.1.2. La fatiga en carreras de resistencia**

Se han propuesto numerosos modelos de explicación de la fatiga en esfuerzos prologados (101): 1. cardiovascular/anaeróbico; 2. alteraciones en el aporte/depleción energético; 3. fatiga neuromuscular; 4. trauma muscular; 5. biomecánico; 6. termorregulatorio; 7. psicológico/motivacional y 8. gobernador central.

La fatiga muscular puede referirse a un déficit motor, a una percepción o un descenso en la función muscular, puede describir el descenso gradual de la capacidad del músculo para hacer fuerza o el fin de una actividad sostenida y puede ser medida como una reducción en la fuerza muscular, un cambio en la actividad electromiográfica o un agotamiento de la función contráctil (102) . Una definición más concreta de fatiga

sería la reducción inducida por el ejercicio en la capacidad del músculo para ejercer fuerza o potencia independientemente de que se pueda o no continuar la tarea (103). Comienza a manifestarse desde los primeros momentos de la tarea y se va desarrollando progresivamente. Así que, la cantidad de fatiga muscular originada por una intervención puede cuantificarse por el descenso en la fuerza o potencia máxima generada inmediatamente después de la contracción (102) .

Para facilitar su estudio, el origen de la fatiga generalmente es dividida en dos: central y periférica (104). La fatiga periférica se refiere a la fatiga producida por cambios en, o más allá, de la unión neuromuscular, mientras que la fatiga central se relaciona con la reducción progresiva de la activación muscular voluntaria. Sin embargo, los mecanismos incluidos en ambos orígenes interactúan en el desarrollo de la fatiga (105,106). La fatiga ocurre porque uno o más de los eslabones de la cadena de acciones que generan fuerza se ven afectados. Este eslabón es dependiente del tipo de tarea que se realiza, de ahí el principio de *dependencia de la fatiga de la tarea*. Es decir, no existe un mecanismo único en el desarrollo de la fatiga, siendo el mecanismo principal aquel que ha sido más solicitado durante la tarea (102,103). Las características de la tarea hacen que se vean afectados de distinta manera mecanismos como el flujo nervioso enviado por el sistema nervioso central (SNC) a las unidades motoras, la estrategia de reclutamiento de las unidades motoras, la propagación neuromuscular, los mecanismos de acople de excitación-contracción, la disponibilidad de sustratos metabólicos, la homeostasis intracelular, el aparato contráctil y el flujo sanguíneo hacia la musculatura (107).

En la carrera de resistencia se ha observado un predominio de la fatiga de origen central (108,109) aunque no se descarta la interacción de procesos de fatiga periférica (28). Hay evidencias de que el esfuerzo de resistencia necesita de un adecuado aporte (17,24,25,110-112) y uso de O<sub>2</sub> (26,27,113,114), de aporte de sustrato metabólico (115-120), rendimiento neuromuscular (121-124), factores biomecánicos (37,39,78-81,90,125,126) y termorregulación (127-130).

Durante mucho tiempo, la hipótesis más popular para explicar la reducción de la fuerza tras un ejercicio de elevada intensidad fue que la elevada acidosis asociada a la producción de ácido láctico (131). La idea de asociar elevadas concentraciones de ácido láctico en sangre ( $[La]_s$ ) a peor rendimiento muscular se basa en resultados de correlaciones que revelaron las relaciones temporales entre el lactato muscular o la acumulación de  $H^+$  con la disminución de fuerza en tareas fatigantes (132). Si, ante un trabajo muscular intenso, la balanza se desequilibra a favor del consumo de ATP, el entorno se llena de altas concentraciones de ADP, Pi,  $Ca^{2+}$  y bajas concentraciones de ATP. Esto funciona como señal para activar la glucólisis y la oxidación. Además, la mayor estimulación del SNS (sistema nervioso simpático) debido a la mayor intensidad de trabajo y a la recepción de señales de quimio y barorreceptores que le informan sobre el estado precario de la célula, produce una estimulación de la médula suprarrenal y el páncreas para segregar adrenalina y glucagón, lo que estimula todavía más la glucólisis. Es una respuesta integrada del sistema nervioso y el hormonal (133). Ante tareas de elevada intensidad, la glucólisis anaeróbica será la vía metabólica principal para aportar piruvato suficiente para ser oxidado y generar ATP. Sin embargo, la mitocondria no es capaz de oxidar todo el piruvato formado por la glucólisis y empieza a acumularse (132). Un método de regulación de la vía glucolítica es en general aplicable a cualquier reacción: la tasa de una reacción se aproxima a cero cuando los productos finales de dicha reacción se acumulan en el medio. La acumulación de ácido pirúvico y los  $H^+$  detendría el proceso, por lo que estos dos productos reaccionan entre sí formando ácido láctico (133). Se entiende por tanto que el aumento de la  $[La]_s$  coincide en el tiempo con la acidosis muscular por lo que el lactato es un buen indicador indirecto de esa acidosis, pero si no se produjera en esas cantidades, la acidosis sería más severa y se produciría más rápido afectando antes la fatiga y por lo tanto al rendimiento (134). De ahí que esta nueva concepción del papel que juega el ácido láctico y su relación con la acidosis celular en el ejercicio sea objeto de intenso debate (132,135-137,138).

La cantidad de fatiga muscular originada por una intervención puede cuantificarse por el descenso en la fuerza o potencia máxima generada inmediatamente después de la contracción (102). Como se dijo previamente, la fatiga depende del tipo de ejercicio,

de variables como la intensidad y duración del esfuerzo, los grupos musculares involucrados y el tipo de contracción muscular (106). Es por esto que los protocolos para la medición de la fuerza de contracción de un músculo deben guardar un adecuado equilibrio entre la estandarización de la ejecución del test que permita controlar las variables que quieren ser evaluadas y la máxima adaptación posible al gesto deportivo real para poder transferir la información aportada por la prueba. El problema es la mezcla de tipos de fibras y fatiga en los grupos musculares al hacer una tarea global (102). Pero si es demasiado localizado, estamos reduciendo la valoración de la fatiga a un grupo muscular y no es la realidad del rendimiento en una disciplina deportiva, además de que contracciones puramente concéntricas, excéntricas o isométricas no son naturales o comunes en el deporte (139). Correr es un gesto natural para el hombre pero que, con el entrenamiento diario, lleva a una fatiga específica y propia asociada al ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA o del término original en inglés *Stretch-Shortening Cycle* o SSC) (140). La principal ventaja del CEA es que permite aumentar el rendimiento muscular durante la fase final (concéntrica) si se compara con una acción concéntrica pura (141) y se asocia, principalmente, a la acumulación de energía elástica en la fase excéntrica al estirarse tanto los elementos contráctiles como los tendones (142). El CEA comprende una fase excéntrica (la musculatura está activa), una concéntrica y, en medio, una fase de frenado o impacto que será diferente en función de la actividad desarrollada (p. ej. esquí vs correr). Cuando el CEA es repetido durante mucho tiempo y a gran intensidad, causa alteraciones reversibles de tipo neural, estructural y mecánicas cuya severidad y duración son dependientes de las características y naturaleza de la tarea. La mayor parte de estudios que evaluaron la fatiga producida por un esfuerzo de CEA, observaron un descenso en la producción de fuerza máxima voluntaria y con electroestimulación. La funcionalidad en la mayoría de los casos se recuperaba a los dos días (141). Las sucesivas fases excéntricas que se producen al correr generan una fatiga específica que se manifiesta en una reducción de la capacidad de acople rápido entre fase excéntrica y concéntrica y una menor tolerancia al estiramiento. Así, el tiempo de las fases de frenado e impulsión aumenta, modificando la técnica de carrera: el aterrizaje se realiza con la pierna más extendida pero con mayor flexión de rodilla en las siguientes fases. (28).



Ya que la carrera genera una fatiga específica, se ha sugerido el empleo del modelo del CEA para el estudio de la fatiga en condiciones naturales (139). Así, la evaluación del comportamiento del CEA, al implicar las condiciones naturales de la actividad muscular, permite el análisis de los factores metabólicos, mecánicos y neurales de forma simultánea y no solo de los metabólicos, como ocurre con el uso de tareas basadas en regímenes de contracción concéntricos puros (139,141). Por ejemplo, se observó que, tras una tarea que causa fatiga específica en el CEA (saltos repetidos), el rendimiento estuvo más afectado en test relacionados con la evaluación del CEA (Drop Jump) que con contracciones concéntricas puras (Squat Jump) (143). Se investiga si existen ajustes a nivel supraespinal, pero la gran mayoría ofrece evidencias de que la fatiga del CEA depende principalmente de la fatiga de la estructura del huso neuromuscular (139). Los eventos que llevan a la reducción del rendimiento en este tipo de actividades se podrían secuenciar de la siguiente manera (141):

1. Debido al daño muscular, se reduce la sensibilidad del huso neuromuscular. Las fibras intra y extrafusales se fatigan. Se sugiere también un deterioro de la actividad de elementos elásticos como la titina y la desmina. Además, hay inhibición de la activación de las motoneuronas alfa en la médula debido a las aferencias de las terminaciones nerviosas III y IV y a la activación de los OTG (órganos tendinosos de Golgi).
2. La regulación del stiffness muscular y articular se altera (disminuye).
3. La eficiencia de la función de CEA decrece.

En definitiva, la explicación de la fatiga inducida por el ejercicio se busca en modelos de sistemas complejos (101) recomendándose, en el caso de la carrera de resistencia, incluir el estudio de la fatiga específica derivada del CEA (28).

## **2.2. El método interválico**

### **2.2.1. Concepto y objetivos del entrenamiento interválico de elevada intensidad**

Muchas actividades deportivas se caracterizan por 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) (144-146).

El Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad (HIT del término original en inglés *High-Intensity Interval Training*) se 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 (147). El HIT fue descrito científicamente por primera vez por Reindell y Roskamm en 1959 y fue popularizado en los juegos Olímpicos por el atleta Emil Zatopek. Desde entonces, los atletas de larga distancia y medio fondo han usado esta metodología para entrenar a velocidades próximas a su velocidad de competición. Sin embargo, los datos y argumentos científicos no fueron publicados o investigados hasta la época reciente (5). Tal como explican Daniels y Scardina (148) los primeros trabajos sobre este método de entrenamiento se remontan a la década de los años sesenta, donde se denominaba entrenamiento intermitente en lugar de interválico. Estos estudios ya se centraban en la relación entre el intervalo de carga y pausa y el efecto de las diferentes intensidades y duraciones sobre el organismo (5,149,150-154). Actualmente hay un conocimiento limitado sobre la relación dosis-respuesta entre la carga de entrenamiento y los cambios inducidos por el mismo en las capacidades físicas y de rendimiento, donde suelen mostrarse respuestas con una alta variabilidad interindividual (155,156). Es necesario continuar con estudios sobre HIT para prescribir qué tipo de entrenamiento puede maximizar las adaptaciones deseadas en diferentes individuos.

La fundamentación teórica del HIT se basa en la alternancia entre los períodos de trabajo a alta intensidad con los de descanso, que permite aumentar el tiempo de

trabajo a alta intensidad en comparación con el que sería capaz de realizar el deportista en una sola carga continua a la misma intensidad. Este método permite alcanzar mayores volúmenes de entrenamiento realizados a intensidades de esfuerzo elevadas (157) que no sólo solicitan al máximo el sistema cardiorrespiratorio, sino que permite ejercitarse a mayores potencias de trabajo en comparación con el entrenamiento continuo y con menores concentraciones de lactato sanguíneo (158). Debido a esto, el rendimiento en una sesión de HIT se puede evaluar en relación al tiempo total de trabajo hasta extenuación a altas intensidades (TTE) y al tiempo total de trabajo a  $VO_{2max}$  o a intensidades próximas a él ( $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ).

La investigación en la fisiología del deporte constata la importancia que tiene el  $VO_{2max}$  para el rendimiento en esfuerzos de resistencia (17,36,44). Actualmente, la mayor parte de las evidencias apuntan a que la intensidad es el factor clave para mejorar el  $VO_{2max}$  en atletas entrenados con lo que se desarrolla la hipótesis de que entrenar a intensidades que solicitan el  $VO_{2max}$  podría ser el estímulo óptimo para aumentarlo (3). Así, el objetivo tradicional que se ha demandado al entrenamiento interválico es conseguir que se sobrecarguen al máximo las estructuras y procesos que intervienen en el desarrollo del  $VO_{2max}$ , favoreciendo de esta manera un estímulo óptimo para alcanzar las adaptaciones beneficiosas para el rendimiento en resistencia (3,30,148,158). El HIT se trataría de un método de entrenamiento que busca mejorar el rendimiento aeróbico a la vez que un deportista realiza su actividad específica (148). Así, se estresarían repetidamente los sistemas fisiológicos utilizados en un esfuerzo específico con una duración mayor que la requerida en la actividad (147,159) y en comparación con una carga continua desarrollada a la misma intensidad (5,160,161). Por lo tanto, para que el estímulo sea óptimo y se logre aumentar el  $VO_{2max}$  se recomienda que los atletas entrenen durante varios minutos a intensidades que alcancen al menos el 90% del  $VO_{2max}$  (55,150,162).

Por otro lado, los beneficios del entrenamiento no sólo dependen de la capacidad de sollicitación máxima de los componentes cardiorrespiratorios sino también de la capacidad para cubrir más distancia en un tiempo dado debido a adaptaciones neuromusculares que maximizan la potencia de las contracciones musculares (5). Por

ejemplo, se ha visto que tras un programa de entrenamiento en HIT se produjeron mejoras en la actividad de enzimas oxidativas (citrato sintasa), de los depósitos de glucógeno y del rendimiento en cicloergómetro sin mejoras del  $VO_{2max}$  (163). Con lo cual, además del tiempo en  $VO_{2max}$ , hay otras variables fisiológicas que deben analizarse para caracterizar el estímulo de entrenamiento cuando se programa el HIT, como el sistema metabólico (el sistema de los fosfágenos, glucólisis anaeróbica y la oxidación de carbohidratos y grasas), el sistema neuromuscular y músculoesquelético. Así, las respuestas fisiológicas agudas de una sesión de HIT se pueden caracterizar atendiendo a 1) la respectiva contribución de los tres sistemas de energía; 2) la carga neuromuscular; y 3) la tensión muscular (150).

### **2.2.2. Continuo vs interválico**

El entrenamiento continuo e interválico son métodos de entrenamiento empleados tanto en casos de rehabilitación de pacientes con enfermedades crónicas como en la preparación de atletas de élite. Existe un debate intenso acerca de cuál es el método que tiene mayor efecto sobre el rendimiento aeróbico (114,164). Mientras que tanto el elevado volumen como la elevada intensidad son componentes importantes en el programa de entrenamiento de un atleta, todavía no está claro cómo deben manipularse con el fin de conseguir un rendimiento óptimo en esfuerzos de elevada intensidad en atletas entrenados (157).

El entrenamiento continuo y submáximo se caracteriza por mantener consumos de  $O_2$  submáximos mientras que el HIT alterna periodos de bajo consumo con alto consumo con lo que el  $VO_2$  fluctúa (114). Entrenamientos de mayor intensidad (HIT) se suelen emplear una vez que el deportista ha desarrollado una resistencia base sólida (1). Incluso, en atletas entrenados, parece que llega un momento en que el aumento del rendimiento o mejoras de factores fisiológicos como el  $VO_{2max}$ , U.Anae, la EC o las enzimas oxidativas musculares no dependen de un mayor incremento del volumen sino que se debe recurrir a incrementar la intensidad (147). Wenger y Bell (165)

observaron tras el análisis de la interacción entre frecuencia, volumen e intensidad de entrenamiento que la intensidad, con un volumen y frecuencia de entrenamiento mínimo, era el factor clave para aumentar el  $VO_{2max}$ , sobre todo en sujetos con mayores niveles de fitness cardiorrespiratorio. Tras el análisis de 34 estudios, Londree (166) observó que, para sujetos previamente desentrenados, entrenar a una intensidad próxima al U.Láctico supone suficiente estímulo para aumentar los umbrales pero se necesitó mayor intensidad para producir dichas adaptaciones en los que ya tenían un cierto nivel de rendimiento en resistencia. Otros apoyan esta idea de la intensidad como factor clave en la mejora de los parámetros fisiológicos y del rendimiento en resistencia (167-169). Billat (170) observó que los atletas keniatas que tenían una mayor distancia semanal recorrida a la intensidad asociada al  $VO_{2max}$  o superior mostraban un  $VO_{2max}$  más alto y eran más exitosos en 10 km en comparación con los atletas que entrenaban a velocidades inferiores y dependían más del volumen semanal. El volumen de entrenamiento semanal realizado a esa intensidad explicó el 59% de la VAM y ésta el 52% de la varianza en el tiempo de 10 km.

Existen hipótesis que intentan justificar los posibles efectos fisiológicos diferenciadores entre el método continuo y el HIT. Así, algunos autores (171,172) asocian el entrenamiento continuo (70-80% del  $VO_{2max}$ ) con una mejora principalmente a nivel central, y el HIT (100% del  $VO_{2max}$ ) con una mejora principalmente a nivel periférico. Pero también hay argumentos a favor de lo contrario (114,173,174)

Macdougall y Sale (159) llegan a esa conclusión basándose en estudios en los que se observaba que el GC era el limitante principal del rendimiento en pruebas de resistencia. El factor clave en la mejora del GC era el VS, el cual mostraba un aplanamiento en test incrementales a una intensidad en torno al 50% del  $VO_{2max}$ . A partir de estos datos, la hipótesis sostenida fue que intensidades no superiores al 75% del  $VO_{2max}$  estimularían al máximo el GC y que intensidades superiores afectarían más a otros componentes (p. ej. la capacidad anaeróbica). Sin embargo, se ha observado que en atletas entrenados el VS alcanza su máximo a intensidades próximas al  $VO_{2max}$  (175-177). Para Daussin et al. (174), ambos métodos de entrenamiento inciden de diferente manera en las adaptaciones centrales y periféricas. En el HIT hay una

variación de la demanda de  $O_2$  y requiere de adaptaciones para mantener el aporte adecuado de  $O_2$  y del GC en cada momento (componente central). Por el contrario, el entrenamiento continuo se asocia con una demanda de  $O_2$  constante siempre y cuando la intensidad del esfuerzo sea inferior a la aparición del componente lento del  $O_2$ . En esas circunstancias el GC permanece por debajo de su máximo y los beneficios del entrenamiento continuo irían más encaminados a adaptaciones periféricas, que permiten una mayor extracción de  $O_2$  (componente periférico). Para estos autores, la variación en la demanda de  $O_2$  durante el HIT es un factor de estimulación en sí mismo que genera adaptaciones periféricas (114).

Al comparar los efectos de métodos submáximos y máximos en las adaptaciones fisiológicas, hay estudios en los que no se observaron diferencias (178-182). Debido a esto, una de las hipótesis planteadas es que lo más importante es la carga de trabajo total por encima del tipo de entrenamiento (178,180,183,184). Otros autores basan estas similitudes en la posibilidad de que ambos métodos logren producir adaptaciones beneficiosas aunque a través de diferentes mecanismos (114,157,174). Por otro lado, Midgley et al. (3) recuerdan que se ha llegado al razonamiento de que intensidades máximas estimularán al máximo factores limitantes del  $VO_{2max}$  (p. ej. VS) a través de la observación de la respuesta cardiovascular en pruebas incrementales. Puesto que para entrenar a intensidades aeróbicas máximas se suelen escoger métodos de entrenamiento intermitentes, es posible que aplicar este razonamiento fisiológico a este tipo de métodos de entrenamiento sea una medida cuestionable. Sin embargo, otros estudios han encontrado evidencias de ciertas diferencias (114,173,174,185-187).

Todos estos resultados llevan a un panorama donde todavía no está claro qué adaptaciones producen cada uno de los dos métodos de entrenamiento y cuál aumenta de forma más eficaz el rendimiento en resistencia. Posiblemente se deba a que cada método produce similares adaptaciones fisiológicas beneficiosas para el rendimiento en resistencia pero a través de diferentes mecanismos (114,157,188). En general, se puede interpretar que la clave del mayor efecto del entrenamiento interválico es que es capaz de producir adaptaciones tanto centrales como periféricas

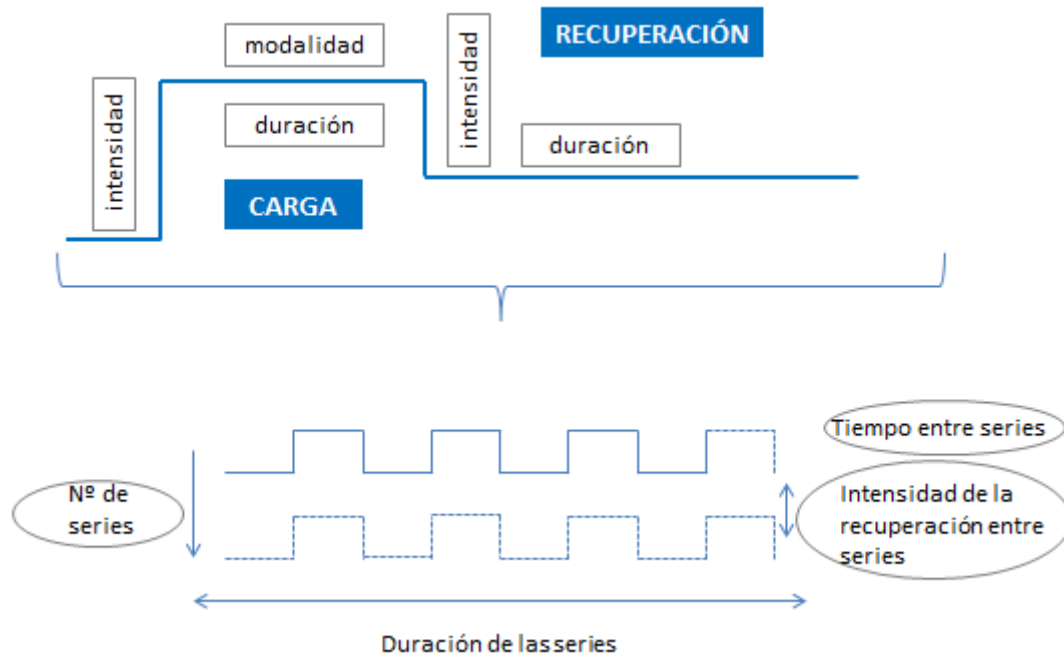
(114,174,186,189) y dirigidas a la mejora de las vías energéticas aeróbica y anaeróbica (162,190-194). Así, se ha observado que los beneficios asociados al aumento de la intensidad de entrenamiento van dirigidos a la mejora del  $VO_{2max}$  (174,187,191-193,195-199) de los umbrales ventilatorios (183,186,193-195), de la resistencia a la fatiga (200), cambios en el metabolismo muscular (114,184,192,201,202) y aumento del rendimiento (171,174,183,191-195,199,200,201,203-206).

Por último, cabe destacar que el HIT se ha erigido como un método eficaz para la promoción y adherencia a la actividad física y la práctica deportiva (207), demostrando mejorar la condición cardiorrespiratoria en poblaciones con problemas cardíacos (208-211), síndrome metabólico (212-214), de sobrepeso u obesidad (215,216) e incluso con enfermedad arterial periférica (217) .

### **2.2.3. Diseño y programación del entrenamiento interválico de elevada intensidad**

Las principales variables que se deben tener en cuenta para diseñar un entrenamiento de HIT (figura 3) son (147,150,218):

- Tipo de trabajo, intensidad y duración del intervalo de carga.
- Tipo de trabajo, intensidad y duración del intervalo de pausa.
- Duración total de la sesión.



**Figura 3.** Las nueve variables que definen una sesión de HIT. Adaptado de Buchheit y Laursen (150).

Estas variables deben manipularse en acuerdo con el plan anual de programación, el nivel de entrenamiento y el perfil de respuesta al estímulo de entrenamiento de cada atleta (147).

Los entrenamientos interválicos de alta intensidad pueden dividirse en dos grandes categorías (219): de sprint y aeróbico. El *entrenamiento interválico aeróbico* se define como aquél que solicita el metabolismo aeróbico en una proporción superior al anaeróbico. Puede ser estimado por el ratio entre el déficit acumulado de oxígeno y el consumo de oxígeno durante el HIT (5). La idea principal es encontrar un método de entrenamiento que logre aumentar el  $VO_{2max}$  a través de una carga de trabajo que implique la máxima sollicitación de la potencia aeróbica sin depender demasiado de la capacidad anaeróbica. Por otro lado, existen dos formas específicas de entrenamiento de HIT donde las intensidades empleadas son supramáximas:



- a. Entrenamiento de Sprints Repetidos (o Repeated-Sprint Training o RST), descrito como la repetición de intervalos cortos ( $\leq 10$  s) de intensidad supramáxima intercalados con breves períodos de recuperación ( $\leq 60$  s) (220,221).
- b. Entrenamiento Interválico de Sprints (o Sprint Interval Training o SIT), que se situaría en el extremo más elevado de intensidad empujado para HIT. En general, consiste en esfuerzos muy cortos ( $\leq 30$  s) de esfuerzo máximo intercalados por períodos largos de recuperación ( $\approx 4$  min) (222).

Buchheit y Laursen (150) distinguen el HIT corto ( $< 60$  s), HIT largo ( $> 60$  s) y formas específicas de HIT (RST y SIT). Según estos autores, estos formatos de HIT producen 6 tipos de respuestas fisiológicas que se pueden clasificar en:

1. Metabólico, pero con solicitud principal de grandes requerimientos de transporte de oxígeno y de los sistemas de utilización del mismo (sistema cardiopulmonar y de las fibras musculares oxidativas).
2. Metabólico tipo 1, pero con mayor grado de solicitud a nivel neuromuscular.
3. Metabólico tipo 1, con una mayor demanda de la vía glucolítica anaeróbica.
4. Metabólico tipo 3, pero con una demanda superior a nivel neuromuscular.
5. Solicitud metabólica principalmente de la vía glucolítica anaeróbica y una elevada carga neuromuscular.
6. Solicitud de elevadas cargas neuromusculares principalmente (no forma parte del método interválico).

Los intervalos cortos pueden ser “manipulados” para alcanzar los objetivos de las categorías 1 a la 4. Sin embargo, formas específicas de HIT, como son el caso del SIT sólo puede encajar en la categoría 5 y, en el caso del RST, las categorías 4 y 5.

Existen diferentes formas de prescribir la intensidad para una sesión de HIT. Desde sus inicios en la práctica de la carrera en pista, se suelen utilizar las velocidades específicas sobre distancias entre los 800 m y 5000 m (5). En la práctica, ha obtenido excelentes resultados pero tiene como principal factor limitante que no existe un control preciso

sobre las respuestas fisiológica, lo que sería un problema si el objetivo es producir una adaptación fisiológica antes que preparar una competición (150). Billat (5) propone un enfoque mixto en el que, cuando se está fuera del período competitivo y/o en la pretemporada, se emplearían variables de velocidad asociadas a un parámetro fisiológico, dejando las velocidades de competición para los períodos de preparación competitiva. Por otro lado, este procedimiento de selección de la intensidad es de difícil aplicación a deportes que no son de pista (p. ej. deporte de equipo) o con personas que desconocen su mejor marca personal en diferentes distancias.

Otro procedimiento común es emplear la Velocidad (o potencia) asociada al  $VO_{2max}$  o VAM, que representaría un estímulo óptimo si la idea es correr el máximo tiempo posible en  $VO_{2max}$  (5). La VAM es una variable que integra el  $VO_{2max}$  y la economía de movimiento (60). Se puede determinar de diferentes maneras, pero la más popular es a través de pruebas incrementales tanto en laboratorio como en pista. Es una variable que está altamente correlacionada con el rendimiento en pruebas de resistencia (36,37) y que se ha mostrado válida para el diseño de sesiones de entrenamiento cuyo objetivo es alcanzar el  $VO_{2max}$  (53,55,149,158,199,223). Algunos de los mecanismos que se creen que mejoran el rendimiento por haber entrenado a la VAM o a intensidades próximas a la VAM, son la reducción del déficit de oxígeno, por lo que la contribución anaeróbica al inicio del ejercicio sería menor, un aumento de la velocidad crítica o mejora en los umbrales ventilatorios o lácticos (224,225). Para el tipo de entrenamiento SIT y/o RST, se recomienda hacer la determinación de la intensidad de esfuerzo en función de la Velocidad de la Reserva Anaeróbica o de la Velocidad alcanzada en el test de fitness intermitente en el caso de los deportes de equipo o de raqueta (150).

Si se asume que estas intensidades son las correctas para el HIT o SIT/RST, la siguiente decisión que se debe tomar es cuál debería ser la duración del intervalo de carga. Muchos estudios se han centrado en el debate de si la mejor opción es emplear duraciones fijas (p. ej. 30:30 s) o utilizar como criterio un porcentaje determinado del tiempo límite (Tlim) (p. ej. 60% Tlim) (195,205,223,224,226,227).

Otro factor clave del HIT es la determinación de la intensidad y duración del intervalo de pausa óptimo. Este aspecto será debatido más adelante en su apartado específico ya que es el objeto de estudio de esta tesis.

Por último, las sesiones de HIT pueden diseñarse agrupando o no los intervalos de carga en series. Por ejemplo, en el estudio de Tardieu-Berger et al. (160) realizar los intervalos agrupados en series permitió un mayor tiempo total de trabajo pero similar tiempo de trabajo a porcentajes próximos al  $VO_{2max}$  en comparación con la repetición de intervalos hasta la extenuación. Los autores atribuyen la incapacidad de aumentar el tiempo de trabajo al  $VO_{2max}$  del diseño con series a que los atletas debían recuperar altos niveles de  $VO_2$  tras la pausa entre los bloques independientemente de la intensidad de la recuperación.

Todas estas variables pueden modificarse y combinarse de múltiples maneras a la hora de diseñar una sesión de HIT (228). La manipulación de la intensidad y duración de los intervalos de trabajo y recuperación cambia las demandas relativas a determinadas vías metabólicas dentro de las células musculares así como el aporte de oxígeno al músculo (229). Durante periodos cortos de trabajo máximo, el contenido de ATP muscular se mantiene mediante la integración de varios procesos metabólicos. Sin embargo, a medida que las cargas se repiten, la respuesta metabólica del intervalo de carga siguiente estará determinado por el anterior y por la duración del intervalo de recuperación (103). Las consecuentes adaptaciones que ocurrirán tanto a nivel celular como sistémico, serán específicas a las características particulares del programa de entrenamiento empleado (147). Es posible que los diferentes enfoques sobre el diseño de la sesión de HIT, analizados por separado, puedan solicitar una adaptación al entrenamiento similar a nivel metabólico y/o neuromuscular. Sin embargo, conocer las respuestas agudas a los diferentes diseños de una sesión de HIT debe ayudar al entrenador a escoger la que mejor se ajusta a sus necesidades (150).

#### **2.2.4. Respuestas inmediatas al entrenamiento interválico de elevada intensidad**

Las respuestas fisiológicas al ejercicio intenso indican que el entrenamiento en torno al  $VO_{2max}$  podría aumentarlo (30). Así, se puede asumir que el porcentaje del  $VO_{2max}$  alcanzado y el tiempo que es mantenido ( $TTVO_{2max}$ ) se pueden utilizar como criterios que caracterizan y analizan el estímulo que supone el ejercicio (55,158,230).

De todos modos, los factores relacionados con el consumo de oxígeno no son los únicos limitantes de la carrera de larga distancia. A mayores del proceso aeróbico, las características neuromusculares y anaeróbicas están también involucradas (79). De acuerdo con Noakes et al. (56), los beneficios del entrenamiento también dependen de la distancia cubierta a altas velocidades determinando la adaptación muscular, maximizando el número de contracciones musculares potentes. Por eso, otro de los criterios más importantes para analizar la eficacia de una sesión de HIT es el tiempo total de trabajo hasta la extenuación (TTE) (230,231). Se trata de buscar la mejor combinación posible de las variables del HIT que permitan estar más tiempo trabajando a altas intensidades, donde no sólo se estimule al máximo el sistema cardiorrespiratorio sino que, además, se haga corriendo a altas velocidades (232).

En los primeros estudios sobre entrenamiento interválico se recomendaban como protocolos para aumentar el  $VO_{2max}$  y el rendimiento en mediodfondistas los que utilizaban cargas de 1 min a 8 min al 90-100% de la VAM (5,233). Sin embargo, otros estudios han conseguido altos tiempos de trabajo en  $VO_{2max}$  con intervalos de carga de corta duración (149,158,161,230-232,234-236). Este hecho ha empujado a la comunidad científica a ahondar en la interacción sobre las distintas variables que se emplean para el diseño del HIT y su efecto sobre la sollicitación cardiorrespiratoria, metabólica y neuromuscular. Sin embargo, la combinación óptima de sus variables de diseño para maximizar el estímulo tanto sobre los factores cardiorrespiratorios como neuromusculares y anaeróbicos, todavía es incierta (223).

En los apartados que vienen a continuación se desarrollan con mayor profundidad los conocimientos actuales sobre el impacto que tienen las variables de un HIT sobre los criterios de eficacia.

#### **2.2.4.1. Intervalos largos**

La capacidad de alcanzar el  $VO_{2max}$  durante una sola carga de carrera a la velocidad entre máximo estado estable de lactato (MLSS según el término original en inglés Maximal Lactate Steady State) y la VAM se atribuye al fenómeno del componente lento del  $VO_2$ , el cual es dependiente del nivel de acondicionamiento, observándose que los atletas más en forma tienen menos posibilidades de alcanzar el  $VO_{2max}$  (237). Billat et al. (62) estudiaron en 16 atletas amateur cuál era la velocidad que permitía alcanzar mayor  $TTVO_{2max}$ , analizando tiempos límite desarrollados al 90%, 100%, 120% y 140% de la VAM. En este caso, fue la intensidad correspondiente al 100% de la VAM la que permitió el mayor  $TTVO_{2max}$ . Con lo cual, se recomiendan intensidades >95% de la VAM para poder alcanzar el  $VO_{2max}$  en esfuerzos continuos.

Sin embargo, normalmente los atletas no entrenan hasta la extenuación de forma aislada sino que agrupan los esfuerzos en intervalos o series (150). En el HIT también se espera una respuesta similar: el  $VO_2$  de cada intervalo de carga se presupone que se eleva hasta alcanzar el  $VO_{2max}$  ayudado por el efecto del componente lento del  $VO_2$  (233). El efecto del intervalo anterior (aceleración de la cinética del  $VO_2$ ) (146,238) y el componente lento (158) determinan si se alcanza o no el  $VO_{2max}$  en los sucesivos intervalos de carga. Para alcanzar el  $VO_{2max}$  en el primer intervalo, éste debe tener la suficiente duración para permitirlo. Como normalmente en las sesiones de HIT el intervalo de duración es menor al tiempo necesario para alcanzar el  $VO_{2max}$ , lo usual es alcanzarlo en los consecutivos (150). Así, la interacción de la intensidad y duración del intervalo de carga con el de pausa y el encadenamiento de los intervalos establecen la respuesta fisiológica en relación al  $TTVO_{2max}$ . Por todo esto, en los primeros estudios sobre entrenamiento interválico se recomendaban como protocolos para aumentar el

VO<sub>2</sub>max y el rendimiento en mediofondistas los que utilizaban cargas de 1 min a 8 min al 90-100% de la VAM (5,233). Como se ha apuntado anteriormente, también se ha sugerido el tiempo hasta la extenuación en la VAM (Tlim) como un parámetro adecuado para diseñar la duración del intervalo, al registrarse Tlim muy diferentes entre atletas con igual VAM (60,147,150,199). Se ha observado una mejora significativa en el rendimiento en carrera de 3000 m con un programa de entrenamiento de HIT empleando el 60%Tlim en comparación con el 70%Tlim (224). Esfarjani y Laursen (195) observaron que determinar la duración del intervalo de carga con el 60% del Tlim fue más efectivo en la mejora del rendimiento en 3000 m que los HIT con intervalos de duración cortos (30 s). Sin embargo, en la investigación de Hill y Rowell (55) el 60% del Tlim no fue suficiente para alcanzar el VO<sub>2</sub>max (sólo un atleta de 13 lo consiguió) en un esfuerzo de una sola carga a la VAM. Además, destacan que el TTVO<sub>2</sub>max fue bajo (< 60 s) y variable entre sujetos. En un estudio de Billat et al. (158) observaron los mismos resultados en un esfuerzo continuo hasta la extenuación a una velocidad próxima al 90% VAM: los atletas lograron alcanzar el VO<sub>2</sub>max pero tarde y lo (158) mantuvieron de media unos 2 min 42 s (± 3 min 09 s) del total del Tlim (8 min 20 s ± 1 min 45 s). Otros estudios han obtenido peor resultado empleando un determinado porcentaje del Tlim para diseñar la duración del intervalo de carga en comparación con duraciones estándar (227).

Otro aspecto que se debe decidir es el número de intervalos o volumen de la sesión de HIT. Hay que tener en cuenta que la consecución del VO<sub>2</sub>max en HIT con diseño de intervalo largo (2 - 3 min) no es inmediata. En el estudio de Demarie et al. (239) 6 sujetos alcanzaron el VO<sub>2</sub>pico más alto en toda la sesión (repetición de intervalos de carga del 50% del Tlim a velocidad crítica hasta la extenuación) en la última carga, mientras que los restantes 9 sujetos estabilizaron su valor desde la segunda repetición en adelante. En el estudio de Vuorimaa et al. (90) los sujetos alcanzaban el VO<sub>2</sub>max a partir de la 2ª repetición (7 x 120 s a la VAM). Muchos trabajos de investigación han llevado a cabo sesiones de entrenamiento de HIT largo con duraciones que oscilan entre los 6 min (3 x 2 min) (223), de 10 a 15 min (5 x 3 min) (219,240), de 24 a 30 min (6 - 8 x ≈ 4 min) (195,241,242) o 40 min (6 - 8 x 5 min) (200,243). Estas duraciones han

permitido trabajar entre 4 a 10 min en  $VO_{2max}$  (153,223,239) y alrededor de 10 min en consumos superiores al 90% del  $VO_{2max}$  (223,240).

#### 2.2.4.2. Intervalos cortos

Se ha considerado que el HIT corto (esfuerzos inferiores al minuto) era menos eficaz en la sollicitación del  $VO_{2max}$ . Astrand et al. (233) encontraron que sólo los intervalos superiores a 2 min permitían alcanzar el  $VO_{2max}$  durante las repeticiones. En el estudio de Wallner et al. (244) se compararon sesiones de HIT con intervalos de 10:20 s a diferentes velocidades (93,4%, 101,9% y 111% de la VAM) con recuperación pasiva para observar la sollicitación aeróbica y glucolítica. Encontraron que los atletas lograron alcanzar al final de las sesiones el 71,1%, 80,4% y 85,6% del  $VO_{2max}$  respectivamente. Según Astrand et al. (233), en los intervalos de trabajo más cortos (< 10 s) las necesidades de ATP en la musculatura activa dependen de la fosforilación oxidativa de la PCr, donde el 50% del oxígeno utilizado procede de la mioglobina. De ahí, que con esta duración del intervalo, el sistema cardiorrespiratorio mostrara un nivel bajo de sollicitación. Sin embargo, otros estudios sí han conseguido alcanzar el  $VO_{2max}$  utilizando intervalos cortos (149,158,161,227,231,232,235,245).

Para Billat (5) uno de los puntos clave que explica que con el HIT de intervalos cortos no se haya alcanzado el  $VO_{2max}$  en estudios previos, es que se emplea una recuperación pasiva, la cual genera descensos acusados del  $VO_2$  y, debido a la corta duración del siguiente intervalo de carga, no permite el suficiente tiempo para determinar el  $VO_{2max}$ . En el estudio de Billat et al.(158) se comparó el HIT con el entrenamiento continuo para analizar cuál permitía más tiempo de trabajo en  $VO_{2max}$  y qué diferencias podrían haber en cuánto al estímulo. Compararon HIT corto de 30:30 s al 100% de la VAM con recuperación al 50%, con el entrenamiento continuo a velocidad supracrítica ( $\approx$  90% de la VAM). Encontraron que el HIT corto alcanzaba el  $VO_{2max}$  y además permitía más  $TTVO_{2max}$  (7 min 51 s vs 2 min 42 s) y sin tanta  $[La]_s$  en comparación con el entrenamiento continuo. Belfry et al. (246) observaron que la

respuesta del  $VO_2$  fue superior en el entrenamiento interválico con la recuperación realizada a intensidad moderada en comparación con una intensidad de recuperación ligera. Para estos autores una intensidad de contracción muscular moderada permite un mayor flujo sanguíneo y mayor aporte de  $O_2$ , que facilitará la fosforilación oxidativa en la siguiente carga de trabajo, alcanzando  $VO_2$  más altos. Sin embargo, otros estudios que emplearon los HIT cortos con pausa pasiva también lograron alcanzar el  $VO_{2max}$  (234). Es más, se ha observado un  $TTVO_{2max}$  similar en HIT cortos empleando la recuperación activa o pasiva (161,231,235).

En HIT de intervalos cortos, el  $TTVO_{2max}$  está fuertemente correlacionado con el tiempo total de trabajo hasta la extenuación (TTE) (158,232). Por consiguiente, la clave en este tipo de sesiones es encontrar la mejor relación trabajo:recuperación que permita aumentar el TTE. Sin embargo, no suele ser una práctica habitual trabajar hasta la extenuación sino diseñar un número determinado de intervalos. La clave está entonces en encontrar el diseño de HIT corto más eficiente en relación al  $TTVO_{2max}$  con respecto al TTE ( $TTVO_{2max}/TTE$ ) (150).

Así como velocidades  $\geq 90\%$  de la VAM son las recomendadas para las sesiones de HIT con intervalos de trabajo largos (p. ej. 2 - 3 min), en los HIT de diseño corto, se recomiendan intensidades máximas y supramáximas (150,161,230,234,247). En general, en los HIT con diseño corto, los datos obtenidos hasta ahora tienden a recomendar intensidades máximas y supramáximas con duraciones de los intervalos de trabajo superiores a los 10 s para optimizar el tiempo de trabajo a  $VO_{2max}$  o próximos a él. Con intervalos inferiores a los 20 s, se recomienda la pausa pasiva, pudiendo emplearse la activa con intervalos más largos (150).

El número de intervalos de la sesión deberían estar programados dependiendo de los objetivos (carga total o  $TTVO_{2max}$  esperado), así como del tiempo que se necesita para alcanzar el  $VO_{2max}$  y del ratio  $TTVO_{2max}/TTE$  que se quiera conseguir (150). Parece que completar aproximadamente 10 min de trabajo a consumos próximos al  $VO_{2max}$  (igual o superior al 90% del  $VO_{2max}$ ) es un estímulo eficaz para producir adaptaciones cardiorrespiratorias (231). Buchheit y Laursen (150) recomiendan ejercitarse durante



30 min empleando el formato 30:30 s (110% de la VAM y 50% de la VAM) ya que el porcentaje sobre el tiempo total de trabajo que supone ejercitarse a intensidades próximas al  $VO_{2max}$  se sitúa en torno al 30%. De todos modos, todavía está por constatar cuál es el mejor criterio para determinar el volumen o duración de una sesión de HIT ya que muchos de los estudios centrados en este aspecto han destacado la gran variabilidad de los datos, ya sea por diferentes criterios a la hora de definir el  $TTVO_{2max}$  (235,248,249) como en las respuesta fisiológicas de los participantes (149,249).

En realidad, el fenómeno parece ser más complejo y no es suficiente con modificar una de las variables de diseño del HIT. El rendimiento y el nivel de  $VO_2$  alcanzado en los entrenamientos de HIT dependen de la interacción entre la duración e intensidad de los intervalos de carga y de pausa (245).

#### **2.2.4.3. Largos vs Cortos**

En el estudio de Astrand (233) se observó que una sesión de HIT con intervalos cortos convirtió el esfuerzo en submáximo en comparación con intervalos de trabajo más largos (p. ej. 2 - 3 min). El HIT corto también se ha utilizado por mostrar un menor vaciamiento de los depósitos de glucógeno al priorizar el uso de lípidos comparado con los HIT de intervalos largos (229,250) o el ejercicio continuo a la misma intensidad (158,251). Libicz et al. (149) quisieron comparar en triatletas entrenados la diferencia que provocaba la duración del intervalo de trabajo sobre diferentes parámetros fisiológicos asociados al rendimiento. Así compararon dos sesiones de HIT en natación de igual carga pero diferente duración del intervalo de carga, haciendo una sesión de 16 x 50 m (R: 15 s) y 8 x 100 m (R: 30 s) con la intensidad adaptada por el tiempo en 400 m. Los resultados mostraron que el tiempo de trabajo en consumos por encima del 95% del  $VO_{2max}$  fue dos veces mayor con las series de mayor duración aunque no existían diferencias significativas debido a la gran variabilidad de los datos. Vuorima et al. (90) encontraron que sólo los intervalos largos (2:2 min a la VAM) permitieron

alcanzar el  $VO_{2max}$ , mientras que los cortos (1:1 min a la VAM) permanecieron de media un 12% por debajo. En un estudio donde se empleó el mismo tipo de intervalos (153), los HIT de 2:2 min en comparación con 1:1 min a la VAM permitieron a más sujetos alcanzar el 90%  $VO_{2max}$  (88,2% vs 23,5% respectivamente) y mantenerlo más tiempo (4,47 min vs 1,32 min respectivamente). En el trabajo de Millet et al. (223) se comparó el efecto de diferentes sesiones de HIT (30:30 s; 60:30 s; 50%:50% del Tlim) sobre el TT90% $VO_{2max}$ . Encontraron que los intervalos más largos solicitaron valores de  $VO_{2pico}$ ,  $FC_{pico}$  y TT90% $VO_{2max}$  más altos en comparación con los 30:30 s. En el estudio de Seiler y Sjursen (252) se observó que los intervalos de 2 a 6 min con una intensidad escogida por el participante permitieron alcanzar valores de  $VO_{2pico}$  más próximos al  $VO_{2max}$  en comparación con intervalos de trabajo más cortos (1 min). Franch et al. (242) aplicaron un programa de entrenamiento a 36 corredores amateur de 3 sesiones semanales durante 6 semanas. Los participantes fueron divididos en tres grupos: los que realizaron un HIT corto (15:15 s), HIT largo (4:2 min) y entrenamiento continuo (de 20 a 30 min). La intensidad media de cada sesión, expresada como % $FC_{max}$ , fue la misma en los tres tipos de sesión y se buscaba llevar al atleta a la extenuación en cada tipo de entrenamiento. Encontraron que el entrenamiento continuo y el HIT largo mejoraban más el  $VO_{2max}$  (+ 5,9 y + 6% respectivamente) y la VAM (+ 9% y + 10% respectivamente) con respecto al pretest en comparación con el HIT corto. La EC mejoró más con el entrenamiento continuo y el HIT largo (+ 3%) en comparación con el HIT corto (+ 0.9%), el cual no alcanzó diferencia significativa en relación al pretest. La distancia límite que recorrieron al 87% del  $VO_{2max}$  previo al programa del entrenamiento, mejoró en los tres tipos de entrenamiento pero de forma más acusada con el entrenamiento continuo (+ 94%) que con el HIT largo (+ 67%) y el corto (+ 65%). A partir de estos datos, recomiendan utilizar entrenamiento continuo o HIT largo con atletas recreativos para mejorar el rendimiento en resistencia y la EC. Laursen et al (226) encontraron una mejora significativamente más pronunciada del  $VO_{2pico}$ , la potencia máxima ( $P_{max}$ ) y el rendimiento en un test de 40 km en ciclismo (TT40km) al emplear tres programas de HIT con diseño diferente en comparación con un programa de entrenamiento continuo. Además, fueron los entrenamientos de HIT con intervalos largos (60%Tlim) y realizados a la intensidad de  $P_{max}$  los que mejoraron más el  $VO_{2pico}$  y la  $P_{max}$  en comparación con HIT de intervalos cortos y supramáximos. En el estudio de

Esfarjani y Laursen (195) se observó que, aunque dos tipos de HIT mejoraron el rendimiento en la carrera de 3000 m, VAM,  $VO_{2max}$  y umbral ventilatorio, el HIT con intervalos de carga de duración  $60\%T_{lim}$  a la VAM fueron los que provocaron mayores mejoras en comparación con un HIT corto a velocidades supramáximas. Recientemente, Matsuo et al. (219) obtuvieron resultados similares. Así, 8 semanas de entrenamiento con SIT (7 x 30 s al  $120\%VO_{2max}$  recuperando 15 s), HIT (3 min al  $85-90\%VO_{2max}$  con recuperación de 2 min) o entrenamiento continuo (40 min al  $60-65\%VO_{2max}$ ) produjeron aumentos del  $VO_{2max}$ , aunque fue el HIT el que logró mejoras más elevadas. En el estudio de Helgerud et al. (187) tras 8 semanas de entrenamiento, el  $VO_{2max}$  y el VS mejoraron significativamente y de forma similar empleando HIT de diseño corto (15:15 s) y largo (4:3 min) en comparación con entrenamiento continuo. Aunque no hubo diferencias en los resultados entre los dos tipos de HIT, los autores recomiendan el uso de HIT con intervalos largos por observar que este tipo de entrenamiento resultaba más fácil de completar.

De la misma forma, también hay estudios que han observado una respuesta fisiológica y de rendimiento superior en sesiones de HIT con intervalos cortos en comparación con los largos, tanto en la respuesta aguda (227,253) como en adaptaciones tras un programa de entrenamiento (254). Así, Rønnestad et al. (227) compararon tres tipos de protocolos de HIT en función de la duración de los intervalos de carga:pausa: 30:30 s,  $50\%:50\%$  del  $T_{lim}$  y  $60\%:60\%$  del  $T_{lim}$  a la potencia aeróbica máxima en cicloergómetro (PAM), con recuperación activa al  $50\%$  de la PAM. Encontraron que el HIT 30:30 s logró mayor  $TT_{90\%VO_{2max}}$  y mayor TTE en comparación con los otros dos HIT de intervalos largos. En un estudio posterior (254), la mejor respuesta aguda en beneficio de los HIT cortos se tradujo en mayores mejoras en variables fisiológicas y de rendimiento tras 10 semanas de entrenamiento en comparación con intervalos más largos (5 min).

En conclusión, parece que cuando se manipulan adecuadamente las variables de diseño de una sesión de HIT, podrían ser válidas muchas fórmulas para solicitar el  $VO_{2max}$ . Con los datos que se disponen en la actualidad, parece que, a nivel de la sollicitación cardiorrespiratoria ( $TTVO_{2max}$ ), el HIT largo ofrece mejores resultados que

el HIT corto. Buchheit y Laursen (150) sugieren emplear intervalos largos, o bien usar los intervalos cortos que mantengan una relación intervalo de carga:pausa superior a 1, para alcanzar una sollicitación cardiorresiratoria eficiente ( $TTVO_{2max}/TTE$ ).

### **2.3. Recuperación activa versus pasiva en el entrenamiento interválico de elevada intensidad**

En el HIT es necesario optimizar la intensidad, la duración y el número de intervalos de carga además del tipo y duración de la recuperación (activa vs pasiva) entre los intervalos ya que, a medida que estos se repiten, 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 del intervalo de pausa (103,226). Los criterios que se suelen emplear para caracterizar el estímulo que supone una sesión de entrenamiento de HIT es el tiempo en  $VO_{2max}$  o próximo a él ( $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ), el TTE como parámetro relacionado con la estimulación neuromuscular y la eficiencia del entrenamiento ( $TTVO_{2max}/TTE$ ) (150).

En el HIT, la programación tanto de la duración como la intensidad del intervalo de recuperación es importante para (150):

- 1) maximizar la capacidad de trabajo en el siguiente intervalo aumentando el flujo sanguíneo a la musculatura para acelerar la recuperación metabólica y
- 2) mantener un nivel mínimo de  $VO_2$  para reducir el tiempo en alcanzar el  $VO_{2max}$  en los intervalos consecutivos.

En apartados anteriores se ha presentado brevemente el debate sobre la duración e intensidad de los intervalos de carga y su efecto en la respuesta fisiológica y posibles adaptaciones beneficiosas para el rendimiento. Otro de los factores que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar un entrenamiento de HIT es la duración y el tipo de recuperación que se hace entre los intervalos de carga. Precisamente, el objetivo de

esta tesis es estudiar el papel que juega la modalidad del intervalo de pausa en la respuesta aguda a una sesión de HIT. En la actualidad, los datos experimentales no son concluyentes (146). Mientras que algunos investigadores han señalado una mayor capacidad de rendimiento en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad utilizando una recuperación activa (146,231,255-261) otros no han confirmado estos resultados (144,152,161,196,217,235,262-269) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.

Estudio	Objetivo	Sujetos	Protocolo	Resultados	Aplicación práctica
(231)	Adaptaciones y rendimiento en HIT	24 varones N=9 ACT N=9 PAS N=6 C	7 semanas entrenamiento HIT: 30:30 s al 105%VAM con PAS o ACT al 50%VAM. Carrera en pista.	PAS: > Tlim ACT: > TTVO <sub>2max</sub> /TTE y ↑VO <sub>2max</sub> ≈ TT90% y TT95%VO <sub>2max</sub> , ↑VAM	ACT para ↑VO <sub>2max</sub>
(261)	catecolaminas en reposo y tras un esfuerzo incremental máximo	24 varones N=9 ACT N=9 PAS N=6 C	7 semanas entrenamiento HIT: 30:30 s al 105%VAM PAS o ACT al 50%VAM. Carrera en pista	ACT: >↑VO <sub>2max</sub> y VAM , > nivel catecolaminas	ACT
(270)	[La] y rendimiento en RSA	N=10 varones	4-5x6 s R:5 min ACT (35%PAM) o PAS. Cicloergómetro	ACT: >∇[La] y > potencia de trabajo en esfuerzos con resistencias altas	N.R.
(129)	rendimiento RSA en ambiente de calor	8 varones	37 min de sprints de 4 s con ACT (35%VO <sub>2pico</sub> ) o PAS Cicloergómetro, 35°C y 44% humedad relativa	= trabajo medio y potencia desarrollada en los sprints ACT: >T <sup>a</sup> muscular, rectal, corporal y de piel, > FC.	indiferente

**Tabla 1.** Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.

Estudio	Objetivo	Sujetos	Protocolo	Resultados	Aplicación práctica
(259)	respuesta metabólica y cardiorrespiratoria	13 varones	2 x 30 s –R: 4 min ACT (40%VO <sub>2max</sub> ) o PAS. Cicloergómetro	ACT: <∇ potencia en los primeros 10 segundos, > VO <sub>2</sub> y FC en el 2º sprint.	ACT
(144)	desoxigenación muscular en RSA	10 jugadores de equipo	6x 4:21 s ACT o PAS. Tapiz.	ACT: >desoxigenación muscular, ∇rendimiento y > [La]	PAS
(260)	rendimiento y [La]	7 ciclistas	6x15 s R:3 min ACT (80rpm contra 1kg) o PAS. Cicloergómetro.	= efecto en potencia pico y media en la sesión ACT: < ∇ potencia pico y media de la 1ª a la 6ª carga = efecto en remoción [La]	ACT
(146)	Respuesta metabólica y rendimiento	11 varones	4xextenuación 110%Pmax- R:5 min ACT (20%VO <sub>2max</sub> ), estiramientos o PAS. Cicloergómetro.	ACT: > rendimiento y sollicitación aeróbica	ACT
(245)	TTE en HIT	12 varones	15:15 s al 120%VAM con ACT (50%VAM) o PAS.	PAS: > TTE.	PAS

**Tabla 1.** Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.

Estudio	Objetivo	Sujetos	Protocolo	Resultados	Aplicación práctica
(235)	TTVO <sub>2max</sub> y T90%VO <sub>2max</sub>	12 varones	Carrera en pista. 15:15 s a 120%VAM con ACT (50%VAM) o PAS	PAS: > TTE	PAS
(268)	oxigenación muscular y TTE	12 varones	Carrera en pista 15:15 s ≈125%PAM con ACT (40%VO <sub>2max</sub> ) o PAS. Cicloergómetro	= TTVO <sub>2max</sub> PAS: >TTE PAS: <∇ desoxigenación = [La]	PAS
(263)	Diferentes intensidades de pausa en rendimiento y oxigenación muscular	12 varones	15 s l. máxima + R:15 s (PAS; ACT 20%VO <sub>2max</sub> ; ACT al 40%VO <sub>2max</sub> ) + 30 s l.máxima En cicloergómetro.	PAS: mejor rendimiento (PP y MP) y mayor oxigenación muscular	PAS
(152)	rendimiento y oxigenación muscular	8 varones	10 x 5 s (R:25; 50; 100 s) con ACT (≈40%VO <sub>2max</sub> ) o PAS. Cicloergómetro	PAS: <∇ la potencia y la oxigenación en pausas 25" y 50" = en pausas largas (100 s)	PAS
(256)	rendimiento	6 atletas	8x 6:30 s con ACT (60rpm con 1kg) o PAS. En cicloergómetro	ACT: mejor potencia pico y trabajo total realizado	ACT



**Tabla 1.** Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.

Estudio	Objetivo	Sujetos	Protocolo	Resultados	Aplicación práctica
(196)	Rendimiento y metabolismo en RSA	9 varones	6x4:25 s con ACT ( $\approx 32\%VO_{2max}$ ) o PAS. En cicloergómetro.	ACT: $>\nabla$ rendimiento, PP final, $>[La]$ muscular y tendencia a $>\nabla[PCr]$	PAS
(262)	rendimiento y metabolismo durante RSA con diferentes intensidades de ACT vs PAS	9 varones	6x4:25 s ACT ( $\approx 35\%VO_{2max}$ y $\approx 20\%VO_{2max}$ ) o PAS. Cicloergómetro	ACT: PP más baja, $>$ descenso de la PP, $>[La]$ muscular superior y tendencia a $< [PCr]$	PAS
(161)	TTVO <sub>2max</sub> y TT90%VO <sub>2max</sub> T	8 corredores	30:30 s al 105%VAM con ACT (50%VAM) o PAS	PAS: $>$ TTE $\approx$ TTVO <sub>2max</sub> y TT90%VO <sub>2max</sub> ACT: $>$ TTVO <sub>2max</sub> /TTE	ACT: objetivo cardiorrespiratorio PAS: también neuromuscular
(266)	efecto diferentes duraciones y modalidad de la pausa (corta vs larga y ACT vs PAS) en el rendimiento en RSA	16 nadadores	8x25 m sprint (R:45 s) ACT (60%V.100 m) o PAS + 50 m V.max 8x25 m (R:120 s) ACT (60%V.100 m) o PAS + 50 m V.max. En piscina.	-ACT: $>\nabla$ rendimiento en 45 s y 120 s. -120 s: mejor rendimiento en 50 m. independientemente de la modalidad. ACT: $< [La]$	PAS: pausas cortas

**Tabla 1.** Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.

Estudio	Objetivo	Sujetos	Protocolo	Resultados	Aplicación práctica
(267)	Rendimiento en RSA	9 nadadores	8x25 m -R:45 s con ACT al 50% V.100m; con ACT al 60% V.100m o con PAS + R: 6 min con el mismo protocolo que entre repeticiones + 50 m l.máxima.  En piscina.	-PAS: > [La], mejor rendimiento entre sprints  - ≈ rendimiento tras pausa larga	PAS
(265)	rendimiento en series y repeticiones RSA	8 nadadores de élite	serie A: 4x30:30 s al 95%F.max de nado resistido con PAS + R: 5 min ACT (60% V.100 m) /PAS/MIXTO +  Serie B: 4x50 m (R: c/2min) ACT o PAS.  En piscina.	≈ rendimiento en serie B  < ∇ rendimiento en serie B con mixto  PAS y MIXTO: > [La]	ACT: pausas >2min
(264)	Rendimiento en RSA	10 nadadores	8x25 m -R:120 s con ACT al 40% V.100m (≈35-40% VO <sub>2max</sub> ); con ACT al 60% del V.100m (≈45-60%VO <sub>2max</sub> ) o con PAS + R:6 min con el mismo protocolo que entre repeticiones + 50 m l.máxima.  En piscina.	-ACT40% y PAS: mejor rendimiento entre sprints  -≈ rendimiento en 50m  -≈ [La]	PAS o ACT de baja intensidad en pausas cortas

**Tabla 1.** Revisión de investigaciones centradas en la comparación de las respuestas agudas y crónicas al entrenamiento de HIT en función de la modalidad de la pausa.

Estudio	Objetivo	Sujetos	Protocolo	Resultados	Aplicación práctica
(271)	respuesta hormonal y metabólica	12 ciclistas	4x4min 90-95%PPO - R:3min ACT (45%PPO) o PAS.  En cicloergómetro.	ACT: $\Delta$ niveles hormonales  $\approx$ respuesta metabólica	N.R
(269)	efectos de 2 semanas de HIT en $VO_{2max}$ y rendimiento.	16 triatletas junior	-Sesión cicloergómetro: 4x 4 min 90-95% $FC_{max}$ ; R:3 min (60% $FC_{max}$ ) o PAS -sesión carrera: 2 x 10 x40:20 s al 90-95% $FC_{max}$ ACT (60% $FC_{max}$ ) o PAS y 3 min ACT o PAS entre series -sesión nado: 6 x 200 m al 90%MMP temporada -R:2 min ACT (50%MMP temporada) o PAS	-PAS: $\Delta$ $VO_2$ al $UV_1$ , la P. $UV_2$ , PPO y TT-20 min. -ACT: $\Delta$ rendimiento en Wingate	PAS

ACT: pausa activa ; FC: frecuencia cardíaca ; C: grupo control; I: intensidad; MMP: mejor marca personal; MP: potencia media; N.R.: no reportado; PAM: potencia aeróbica máxima ; PAS: pausa pasiva; PCr: fosfocreatina; PP: potencia pico; P. $UV_2$ : potencia asociada al segundo umbral ventilatorio; [La]: concentración de ácido láctico; R: recuperación; r.p.m: revoluciones por minuto; RSA: *Repeated Sprint Ability* o habilidad de repetir sprints; Tª: temperatura ; TT: *time trial* o prueba contrarreloj ; TT $VO_{2max}$ : tiempo de trabajo en  $VO_{2max}$ ; TT90% $VO_{2max}$ : tiempo de trabajo  $\geq 90\%VO_{2max}$ ; TTE: tiempo total de trabajo hasta extenuación ; VAM: velocidad aeróbica máxima;  $VO_{2max}$ : consumo máximo de oxígeno ;  $UV_2$ : segundo umbral ventilatorio;  $P_{max}$ : potencia máxima.

La hipótesis más popular para explicar la reducción de la fuerza tras un ejercicio de elevada intensidad ha sido que la elevada acidosis asociada al ácido láctico era la principal causa de fatiga (131). En la actualidad existe un gran cuerpo de evidencia que indica que la recuperación activa es una estrategia adecuada para disminuir el lactato sanguíneo (272-278,278-281). El ácido láctico se oxida en los músculos cuando se contraen a baja intensidad y como la redistribución del lactato a zonas especializadas en su consumo (p. ej. corazón, fibras ST o hígado para el ciclo de Cori) depende del flujo sanguíneo, la recuperación activa se postula como un método útil para eliminarlo tras el ejercicio intenso (274). Ante las altas concentraciones de ácido láctico alcanzadas durante esfuerzos de elevada intensidad (superiores al U.Láctico) la recuperación activa facilitaría su eliminación y podría tolerarse mayor carga de trabajo (5,268), lo que sugiere que el músculo es el principal tejido encargado de la remoción de dicho sustrato (282,283).

Sin embargo, desde la perspectiva del deporte, lo que importa es la relación que tiene con el rendimiento esta mayor eliminación de ácido láctico de la pausa activa (284). En este caso, los datos son menos concluyentes. Así, se ha observado que la recuperación activa consigue descender más la  $[La]_s$  y mantener mejor el rendimiento en comparación con la pausa pasiva (255); que la recuperación activa logra descender la  $[La]_s$  pero es la pasiva la que logra mantener mejor el rendimiento (266,267,285); que existe un rendimiento similar empleando los dos tipos de recuperación a pesar de que existen diferencias en la remoción del lactato sanguíneo (258,265,275,284,286); que el efecto sobre la  $[La]_s$  es similar pero se consigue diferente rendimiento en función del tipo de pausa (146,235,260,268) o que hay un efecto similar en la remoción de lactato sanguíneo y rendimiento en esfuerzos posteriores de elevada intensidad con ambos tipos de pausa (265,287). Estos resultados tan diferentes podrían tener su origen en diversas concepciones sobre la relación de la  $[La]_s$  o muscular con el rendimiento. Son muchos los investigadores que alertan sobre el error que se ha venido cometiendo durante los años en asociar el ácido láctico a la acidez celular y por lo tanto a la disminución del rendimiento. Por ejemplo, Robergs et al. (134) recalcan que el lactato ha estado unido a la acidosis muscular durante muchos años pero que no existe una

base bioquímica fuerte que apoye esta teoría. Así, el fósforo inorgánico ( $P_i$ ) jugaría un papel determinante: cuando la intensidad del ejercicio está por encima del estado de equilibrio, se estimula la glucólisis para proporcionar ATP aumentando los  $P_i$ . El lactato aumenta al ser el metabolito que previene la acumulación de piruvato y permite la liberación de  $NAD^+$ , el cual se necesita para la segunda parte de la glucólisis. Así, el aumento de la  $[La]_s$  coincide en el tiempo con la acidosis muscular por lo que el ácido láctico es un buen indicador indirecto de esa acidosis pero si no se produjera en esas cantidades, la acidosis sería más severa y se produciría más rápido afectando antes la fatiga y por lo tanto al rendimiento. Esta nueva concepción del papel que juega el ácido láctico y su relación con la acidosis celular en el ejercicio se está debatiendo intensamente en la actualidad (132,135-137,138).

Esta variabilidad puede estar influida igualmente por razones metodológicas puesto que no existe un acuerdo sobre la mejor estrategia para escoger la intensidad de la recuperación activa para reducir la  $[La]_s$  (274,284). Muchas de las investigaciones que han analizado la intensidad de la recuperación y la eliminación de lactato la han prescrito en relación al  $VO_{2max}$ . Se ha observado que la intensidad de la recuperación activa que produce mayores reducciones de la  $[La]_s$  se sitúa entre el 30 y el 70% del  $VO_{2max}$  (273). Sin embargo, se ha sugerido que una mejor opción es escoger la intensidad de recuperación en relación a la velocidad del U.Láctico, ya que asegura una intensidad de esfuerzo donde se genera eliminación sin producir acumulación (255,272,273). Por otro lado, existe una alta variabilidad en los umbrales lácticos con lo que la prescripción con respecto a la velocidad máxima implicaría diferentes cargas entre los deportistas (255). Debido a las diferentes concepciones del papel que juega el ácido láctico en la acidosis celular y por lo tanto en el rendimiento o a las diferencias metodológicas en la elección de la recuperación activa para su remoción, muchos investigadores llegan a la conclusión de que la  $[La]_s$  no es un predictor fiable del rendimiento en esfuerzos repetidos de alta intensidad (267,288).

Otra de las causas de la fatiga en esfuerzos de elevada intensidad son los posibles desequilibrios iónicos en la membrana celular. Se ha atribuido una posible ventaja de la recuperación activa en la aceleración de la recuperación del equilibrio iónico en el

sarcolema que permitiría mejorar el rendimiento en la siguiente carga de trabajo. Tras contracciones musculares repetidas a alta intensidad, el  $K^+$  y el  $Na^+$  se acumulan fuera y dentro del sarcolema respectivamente, reduciendo la excitabilidad muscular y alterando la propagación del potencial de acción (289,290). Este desequilibrio iónico en el sarcolema sería un factor muy importante en la recuperación de la potencia muscular en los primeros momentos de la pausa siendo, posteriormente, los factores bioquímicos como el  $P_i$  o el pH (291). Por lo tanto, una reducción en la liberación de  $K^+$  fuera de las células musculares y/o un aumento de su remoción podría retrasar el desarrollo de la fatiga (290). Varios estudios han detectado adaptaciones en la cinética y acumulación de  $K^+$  fuera del sarcolema, un incremento en la actividad de la bomba  $Na^+ -K^+ -ATPasa$  y su influencia sobre el desarrollo de la fatiga tras programas de entrenamiento de HIT (290,292,293). La siguiente cuestión es conocer si esto ocurre también dentro de la sesión de HIT gracias al mayor estímulo que supondría la recuperación activa. Las contracciones moderadas que se llevan a cabo durante la recuperación activa podría acelerar el funcionamiento de la bomba  $Na^+ -K^+ -ATPasa$  favoreciendo una recuperación más rápida del equilibrio hidroelectrolítico a lo largo del sarcolema (146,294).

La fatiga neural es un mecanismo plausible que explica la fatiga tanto en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad como en los sprints repetidos (103,131,295) aunque parece que la causa predominante de fatiga en este tipo de esfuerzos son los mecanismos periféricos (131,296-298). La modalidad de la pausa en el HIT podría afectar a los mecanismos de fatiga asociados a alteraciones en el flujo del sistema nervioso central hacia la musculatura activa. La distancia recorrida a alta intensidad es clave en la adaptación neuromuscular y rendimiento en atletas de resistencia (56). Para conseguirlo, los entrenadores echan mano de sesiones de HIT de elevado volumen, que también desencadena altas contribuciones glucolíticas, y/o emplean la pausa activa entre repeticiones o series (298). La recuperación activa podría entonces permitir una mayor carga de trabajo muscular debido a una estimulación adecuada del SNC durante las pausas activas (32). Bajo el principio de especificidad, se entiende que la combinación de intervalos de carga de diferente duración e intensidad, junto con las recuperaciones, hace que los efectos generados por la sesión de HIT sean diferentes en

función de las vías metabólicas solicitadas, la carga neuromuscular y la fatiga músculoesquelética (298). Por lo tanto, cabe hacerse la siguiente pregunta: ¿qué es mejor: seguir estimulando la musculatura a intensidades bajas (pausa activa) o descansar para que en el siguiente intervalo la musculatura esté en las mejores condiciones para afrontar una carga intensa? Con respecto a este tema, es muy interesante la aportación que ofrece la investigación desarrollada por (299) en la que encontraron que tras 8 semanas de entrenamiento, tanto el grupo de sujetos que entrenó con metodología continua como el que siguió el método interválico, logró un aumento de la actividad de la enzima SDH. Sin embargo, cuando se estudió en función del tipo de fibra muscular, se averiguó que el entrenamiento continuo sólo logró aumentar la actividad de esta enzima en las fibras ST y el interválico en las FT. No se observaron cambios en la PFK con ninguno de los dos métodos de entrenamiento. Los autores concluyen que el músculo muestra una extraordinaria capacidad de adaptación oxidativa pero que ésta depende del modelo de reclutamiento de las fibras musculares durante el ejercicio. Entender cómo se pueden manipular las variables de HIT para modular la carga neuromuscular es importante para maximizar el estímulo de entrenamiento y minimizar el dolor muscular y/o el riesgo de lesión (298). Sin embargo, el rol que juega la modalidad del intervalo de recuperación sobre los factores neuromusculares es desconocido.

Otro de los argumentos esgrimidos a favor de la recuperación activa es que posibilitaría una mayor disponibilidad de la vía aeróbica en el siguiente intervalo de carga gracias a una cinética del oxígeno más rápida (146). La importancia de la cinética del  $VO_2$  se corresponde a una rápida adaptación del metabolismo aeróbico y, por lo tanto, a un menor déficit de  $O_2$  y acumulación de lactato (300). Una cinética del  $VO_2$  más rápida permitiría aumentar la contribución aeróbica al comienzo del ejercicio que llevaría a su vez a acumular más tiempo en niveles próximos al  $VO_{2max}$  y a una mayor tolerancia del ejercicio (29,300-302). Hay un cierto consenso en que la ejecución de una carga previa reduce el déficit de oxígeno y el componente lento desarrollado en la carga siguiente y que, independientemente de cuál sea el mecanismo, estos efectos podrían predisponer para mejorar la tolerancia al esfuerzo y aumentar el rendimiento (303). El tiempo requerido para alcanzar un estado estable entre el consumo de ATP y

el ATP aportado por la fosforilación oxidativa se representa por la constante de tiempo tau ( $\tau$ ). Un valor de  $\tau$  más pequeño refleja una cinética del  $\text{VO}_2$  más rápida y la capacidad de alcanzar antes el estado estable y viceversa. Esto es un importante determinante de la tolerancia al ejercicio ya que un sujeto con cinética de  $\text{VO}_2$  más acelerada incurrirá en un menor déficit de  $\text{O}_2$  y posiblemente en menor caída de contenido de PCr muscular, menor aumento de lactato y producción de  $\text{H}^+$ , lo que reduce la degradación del glucógeno muscular en comparación con una cinética de  $\text{VO}_2$  más lenta (301). Para Burnley y Jones (29), uno de los puntos clave de la cinética del  $\text{VO}_2$  y su relación con la tolerancia a esfuerzos de elevada intensidad es el componente lento del  $\text{VO}_2$ . El componente lento del  $\text{VO}_2$  representa un aumento del  $\text{VO}_2$  continuo que indica un coste de  $\text{O}_2$  adicional que induce a una depleción de los depósitos energéticos más rápida, a una aceleración de la hipertermia y la deshidratación. Sólo se manifiesta en esfuerzos de intensidad superior al U.Láctico y normalmente aparece entre 90-180 s tras el comienzo del ejercicio. En esfuerzos de intensidad severa el componente lento no se llega a estabilizar y, si el intervalo tiene la duración suficiente, podrá alcanzarse el  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . De ahí que el porcentaje al que se sitúe el U.Láctico con respecto al  $\text{VO}_{2\text{max}}$  puede ser de capital importancia ya que el U.Láctico es el punto hasta el cual el componente lento no se desarrolla. Por otro lado, el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  interactúa con la evolución del componente lento y la magnitud de la capacidad anaeróbica para determinar la duración del esfuerzo. En la actualidad, hay evidencias que apuntan hacia que el entrenamiento de resistencia permite: 1) una aceleración de la fase fundamental en la respuesta del  $\text{VO}_2$  en esfuerzos con intensidades tanto por debajo como por encima del U.Láctico; y 2) una reducción de la magnitud del componente lento del  $\text{VO}_2$  para la misma intensidad superior a la asociada al U.Láctico (301,304,305) y que está relacionado con mayor tolerancia al ejercicio (301,304,306).

Sin embargo, en otros casos no se ha observado relación entre la cinética del  $\text{VO}_2$  y el rendimiento en esfuerzos de elevada intensidad (303,307-309). Para Burnley y Jones (29) esta discrepancia en los resultados se debería a que, aunque la cinética de  $\text{VO}_2$  afecte al rendimiento, lo hace en interacción de otros factores fisiológicos. La idea es encontrar un tipo de pausa que favorezca este ajuste entre los dos sistemas (aeróbico



y anaeróbico) y permitir un mejor rendimiento en la siguiente carga y/o en la sesión (mayor  $TTVO_{2max}$  y/o mayor TTE). Recientemente se está clarificando el hecho de que una carga previa afecta profundamente a la cinética del  $VO_2$  en una carga posterior (238,310) . Por lo tanto, un diseño cuidadoso del protocolo de ejercicio en términos de intensidad del ejercicio previo, la duración de la recuperación y la intensidad de la siguiente carga puede producir cambios en la tolerancia a un determinado ejercicio (29).

En contraposición a estas evidencias, han surgido estudios que observaron que la pausa pasiva mejora el rendimiento en un entrenamiento interválico (144,152,161,196,217,235,245,262-265,265-269). Para estos autores, una de las causas que se atribuyen a la menor capacidad regenerativa de la pausa activa en el rendimiento de los atletas podría ser el error cometido en la elección de la intensidad y/o duración del intervalo de recuperación activa y la adaptación de dichas características a la intensidad y/o duración del intervalo de carga. Según MacDougall y Sale (159) en esfuerzos que superan los dos minutos y medio el factor principal limitante es la capacidad de los músculos para producir energía a partir de la oxidación de los depósitos de glucógeno y grasas. La recuperación pasiva podría favorecer la restauración de los depósitos de oxígeno unidos a la mioglobina y hemoglobina en mayor medida que la activa, sugiriendo que la energía gastada durante la pausa activa limitaría la disponibilidad del oxígeno para los músculos activos. En el estudio de Belfry et al. (246) compararon la respuesta del  $VO_2$  y el nivel de desoxigenación de la hemoglobina ( $\Delta HHb$ ) entre un entrenamiento continuo y dos tipos de entrenamiento interválico: 10:5 s con recuperación activa de intensidad ligera (INT1) y de intensidad moderada (INT2). El  $VO_2$  fue mayor en el entrenamiento continuo, seguido del INT2 y por último el INT1. La mayor desoxigenación se observó en el entrenamiento continuo, sin diferencias en los interválicos aunque sólo en INT1 se reflejaron oscilaciones de  $VO_2$ . Es decir, la recuperación activa con una intensidad entre ligera y moderada permitió un mayor aporte de  $O_2$  a la musculatura en comparación con el entrenamiento continuo. Los autores sugieren que existe una intensidad óptima en la contracción muscular para asegurar un aporte de flujo sanguíneo, y por tanto de  $O_2$ , a la musculatura activa. Otros estudios corroboran esta mayor capacidad de

desoxigenación muscular con la recuperación activa y su relación con el empeoramiento del rendimiento en una sesión de HIT (152,268). Esta hipótesis fue testada por Buchheit et al. (144) donde en una sesión de HIT, la pausa activa produjo un  $\text{VO}_2$  medio mayor unido a una desoxigenación de la hemoglobina más severa, un decremento más pronunciado del rendimiento y una  $[\text{La}]_s$  más elevada en los intervalos de carga en comparación con la pasiva.

Un elemento importante durante el HIT sería el papel de los fosfágenos en el aporte de energía. En concreto, la PCr es responsable del aporte de la energía requerida durante esfuerzos intermitentes a velocidades supramáximas, cuya recuperación es dependiente en parte de la disponibilidad de oxígeno (189,245,302,311,312). Atletas con elevado metabolismo oxidativo (alta densidad capilar, elevada actividad enzimática oxidativa y proporción elevada de fibras Tipo I) podrían recuperar más rápido sus depósitos de PCr y el rendimiento inicial (103,297). En el estudio de Dupont et al. (302) encontraron que los atletas que tenían un *apagado* de la cinética de  $\text{VO}_2$  más rápida eran los que mantenían mejor el rendimiento en sprints repetidos. Por lo tanto, los que mantuvieron mejor el rendimiento serían los que tenían la capacidad de recuperar más rápido la [PCr]. Tal como apuntan McMahon y Kenkins (313), como la caída en los niveles de PCr parece afectar negativamente a la contracción muscular y al rendimiento en la siguiente carga de trabajo, maximizar la tasa de resíntesis de la PCr en un período de pausa corto beneficiaría al deportista en esfuerzos de carácter intermitente. La resíntesis de la PCr depende del aporte de la energía cedida por el ATP sintetizado aeróbicamente. En concreto se pueden describir dos fases en la resíntesis de la PCr: una rápida, que es independiente del pH y dependiente de la [ADP] citosólico, y otra más lenta que está asociada a la alteración de la homeostasis de la fibra muscular y el pH. Aunque existen muchas evidencias que prueban la relación directa entre el porcentaje de PCr recuperado en el intervalo de pausa y el rendimiento alcanzado en la siguiente repetición, el efecto del tipo de pausa en el HIT sobre los depósitos de PCr es desconocido (146). Una de las teorías a favor de la recuperación pasiva es que permitiría una mayor disposición de oxígeno para recuperar los depósitos de PCr y posibilitaría al deportista afrontar en mejores condiciones el siguiente intervalo de carga sin aumentar la dependencia energética

sobre la vía glucolítica anaeróbica. Así, durante la pausa activa, una proporción considerable del ATP mitocondrial se dirigiría a mantener la actividad muscular mientras que con la recuperación pasiva aumenta la degradación de ATP destinada a resintetizar PCr (284,314).

A lo largo de este apartado, se ha hecho hincapié en la importancia del estudio de la interacción que entre los intervalos de carga, los de pausa y el número de repeticiones/series que se llevan a cabo. Existe un debate sobre cuál es el mejor tipo de pausa (activa vs pasiva) en una sesión de HIT en función de la duración de la carga. Para Billat (5) la pausa activa en HIT cortos (30:30 s) es una mejor opción ya que la potencia media es mayor y el ejercicio está próximo al 100% del  $VO_{2max}$ , manteniendo la cinética de  $O_2$  y permitiendo alcanzar antes el  $VO_{2max}$  en la siguiente carga, lo que podría mejorar el rendimiento. Incluso con pausas de cinco minutos, la recuperación activa y/o los estiramientos funcionaron mejor que la pasiva para mejorar el consumo de  $O_2$ , su cinética y la capacidad de rendimiento (146). Sin embargo, en estudios recientes, en intervalos de trabajo y recuperación muy cortos (intervalos de carga < 20 s) resultó mejor la recuperación pasiva para mantener el rendimiento (152,161,235,268). Las líneas actuales apuntan hacia el uso de la pausa activa por tener un posible efecto beneficioso cuando el intervalo de recuperación es largo (i.e  $\geq$  3 min), donde los mecanismos de limpieza tienen más importancia tras asegurar la resíntesis de los depósitos de PCr (150,265). En pausas más cortas (p. ej. inferiores a 2 - 3 min) la pausa pasiva sería una mejor opción para mantener el rendimiento en los intervalos consecutivos (150,152,265). En otros estudios se recomienda el mismo procedimiento incluso evidenciando que, si la pausa es larga (p. ej. > 6 min), parece que el factor clave es la propia duración de la pausa más que la intensidad de la misma (152,264,266,267).

La elección de la intensidad, si se decide emplear una recuperación activa, debe ir encaminada a conseguir la mayor recuperación posible de las condiciones metabólicas de la musculatura evitando la falta de oxígeno para sintetizar PCr. Todavía no está claro qué intensidades pueden ayudar a reducir la concentración de lactato muscular y su relación con el rendimiento en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad (262).

En el estudio de Greenwood et al. (255) 14 nadadores realizaron 200 m a velocidad máxima seguidos de 10 min de recuperación que podía ser: pasiva, activa realizada a la velocidad asociada al umbral láctico (V.U.Láctico), al 50% de la velocidad del U.Láctico (V.U.Láctico.5) o al 150% de la velocidad del U.Láctico (V.U.Láctico.1.5). A continuación repetían el test de 200 m observándose que todas las recuperaciones activas producían una mayor remoción de  $[La]_s$  con respecto a la pasiva pero sólo la recuperación activa V.U.Láctico mejoró el rendimiento en el segundo 200 m. En el estudio de Thevenet et al. (236) observaron que la recuperación activa realizada a mayor intensidad (84% de la VAM) en una sesión de HIT llevada hasta la extenuación provocó un menor TTE, menor  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  así como mayores niveles de acidosis en comparación con intensidades de recuperación más ligeras (54% y 67% de la VAM). También se ha observado que la recuperación activa de baja intensidad y la pasiva proporcionaron mejor rendimiento en sprints repetidos en comparación con intensidades de recuperación moderadas (264). Otros estudios observaron como la recuperación activa a la velocidad asociada al U.Láctico (86% V.max) reducía la  $[La]_s$  además de mejorar el rendimiento en un esfuerzo máximo consecutivo en comparación con la pausa pasiva (255). Aunque los datos son contradictorios y confusos en muchas ocasiones, en la actualidad, las evidencias científicas parecen apuntar que intensidades de recuperación bajas ( $\approx 20-30\%$  del  $VO_{2max}$ ), moderadas ( $\approx 35-45\%$  del  $VO_{2max}$ ) y elevadas ( $\approx 60\%$  del  $VO_{2max}$ ) reducen el rendimiento en esfuerzos de alta intensidad repetidos en comparación con recuperaciones pasivas (262-264,266,267,314). Por eso, en HIT con intervalos de carga-recuperación cortos (p. ej. < 2 – 3 min) se recomienda la pausa pasiva y ante intervalos de recuperación más largos (p. ej. > 3 - 4 min) se podría escoger la recuperación activa realizada a una intensidad submáxima (150).

Uno de los criterios de rendimiento en una sesión de HIT es el TTE. El entrenamiento interválico de alta intensidad nace con la idea de poder entrenar a altas intensidades durante más tiempo en comparación con el entrenamiento continuo. Las investigaciones persiguen conocer cuál es el diseño de HIT que permite aumentar tanto el TTE como el  $TTVO_{2max}$  y/o el que sea más eficiente, es decir, el diseño de HIT donde el porcentaje de tiempo que supone el  $TTVO_{2max}$  con respecto al TTE sea el más

alto posible. En la actualidad la mayoría de las pruebas apuntan a que en HIT de diseño corto la recuperación pasiva permite mayor TTE (161,230,231,235,245,268) pero es la activa la que permite mejores ratios  $TTVO_{2max}/TTE$  (150,161,231,235).

Como se ha dicho previamente, las diferencias metodológicas pueden explicar en gran parte la discrepancia de los resultados. Es necesario estandarizar la pauta a seguir para poder escoger la intensidad y la duración del intervalo de pausa de forma individualizada para provocar respuestas fisiológicas que lleven a una recuperación metabólica y muscular eficiente que haga que el individuo esté en las mejores condiciones posibles para afrontar el siguiente esfuerzo.



**3. ESTUDIO EXPERIMENTAL: EFECTOS INMEDIATOS DEL TIPO DE PAUSA  
(ACTIVA VERSUS PASIVA) EN EL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA  
INTENSIDAD**





### 3.1. Justificación

Los objetivos de la evaluación fisiológica son identificar los factores determinantes del rendimiento, caracterizar el perfil de los atletas, establecer la eficacia de la prescripción del entrenamiento y posibilitar la transferencia de lo observado a la programación del entrenamiento (8). Para los profesionales de la actividad física y el deporte conocer profundamente las respuestas fisiológicas, caracterizarlas y comprenderlas, es la clave para poder prescribir sesiones de HIT de forma segura y eficiente (154).

El entrenamiento Interválico de Alta Intensidad o High-Intensity Interval Training (HIT) se define 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) (146). El HIT ha sido un método que se ha utilizado desde los comienzos por atletas de alto nivel, pero cuyos datos y argumentos científicos no fueron publicados o investigados hasta la época reciente (5). La fundamentación teórica del entrenamiento interválico se basa en que la alternancia entre los períodos de trabajo a alta intensidad con los de descanso permite aumentar el tiempo de trabajo a alta intensidad en comparación con el que sería capaz de realizar el deportista en una sola carga continua a la misma intensidad. Este método permite alcanzar mayores volúmenes de entrenamiento a intensidades elevadas (157) que solicitan al máximo el sistema cardiorrespiratorio, permiten ejercitarse a mayores potencias de trabajo y con menores concentraciones de lactato sanguíneo, en comparación con el entrenamiento continuo (158). Los criterios que se suelen emplear para caracterizar el estímulo que supone una sesión de entrenamiento de HIT son, entre otros, el tiempo en  $VO_{2max}$  o próximos a él ( $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ), el tiempo total de trabajo hasta la extenuación (TTE) como parámetro relacionado con la estimulación neuromuscular y la eficiencia del entrenamiento ( $TTVO_{2max}/TTE$ ) (150). El resultado va a depender de la interacción entre los diferentes elementos que componen el diseño de una sesión de HIT. Se ha planteado que alcanzar el  $VO_{2max}$  o porcentajes próximos a él durante la sesión de entrenamiento es un estímulo óptimo para estresar al máximo el sistema de

transporte de  $O_2$  y generar adaptaciones beneficiosas para aumentar el  $VO_{2max}$  (147). Por ello, resulta pertinente determinar el nivel de sollicitación del  $VO_{2max}$  y la duración de la misma en diferentes diseños de entrenamiento (5) como un primer paso necesario para posteriores estudios orientados a verificar esta hipótesis (315).

Hay diferentes formas de diseñar una sesión de HIT 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 modelos de una sesión de HIT debe ayudar al entrenador a escoger aquellos protocolos que se ajustan a sus necesidades (150). En la actualidad, se necesitan más estudios sobre HIT para prescribir qué tipo de entrenamiento puede lograr las adaptaciones deseadas en diferentes individuos (147,149,316). Es necesario optimizar la relación entre las variables de intensidad, duración, número de intervalos de carga y el modo (activa o pasiva) y duración de la recuperación ya que, a medida que se repiten intervalos de carga máximos, 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 (103).

El objetivo de esta tesis es estudiar el papel que juega la modalidad del intervalo de pausa en la respuesta aguda a una sesión de HIT. Cuando se programa HIT tanto la duración como la intensidad del intervalo de recuperación es importante para: 1) maximizar la capacidad de trabajo en el siguiente intervalo y 2) mantener un nivel mínimo de  $VO_2$  para reducir el tiempo necesario para alcanzar el  $VO_{2max}$  en los intervalos siguientes (150). En la actualidad, los datos experimentales no son concluyentes (146). Mientras que algunos investigadores han señalado una mayor capacidad de rendimiento en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad utilizando una recuperación activa (146,231,255-261) otros no han confirmado estos resultados (144,152,161,196,217,235,262-269).

El principal argumento a favor del empleo de la recuperación activa es su efecto en el retraso de la fatiga gracias a su mayor capacidad de remoción de ácido láctico (5,131,268). Sin embargo, ni la  $[La]_s$  ni muscular han mostrado relación directa con el

rendimiento (150). Existe un debate acerca de cuál es el mejor criterio en la elección de la intensidad de la pausa activa para que se potencie su capacidad regenerativa y no limite la recuperación de los depósitos de PCr y el oxígeno de la mioglobina (274,284). Otros argumentos a favor de la pausa activa incluyen: 1) la posible capacidad de invertir el desequilibrio iónico a ambos lados de la membrana celular que limitan la capacidad de generación de fuerza en esfuerzos de alta intensidad (146,290,292,294); 2) la facilitación de la descarga del flujo neural desde el SNC hacia la musculatura activa, constituyendo un estímulo de entrenamiento superior para los factores neuromusculares (298,317) y 3) la aceleración de la cinética de O<sub>2</sub> que aumentaría la disponibilidad de la vía aeróbica y la consecución de consumos de O<sub>2</sub> más altos en la siguiente carga de trabajo (146).

Los defensores de la pausa pasiva explican los mejores resultados hallados en sus estudios sobre HIT atribuyéndole una mayor capacidad de recuperación de los depósitos de O<sub>2</sub> de la mioglobina y hemoglobina (144,152,268) y una maximización de la resíntesis de PCr en la musculatura activa (284,314). Así mismo, se sugiere como mejor opción los de pausa cortos (p. ej.  $\leq 2 - 3$  min) (150,262,263,266,267) donde se priorizan los mecanismos de recuperación frente a los de limpieza.

Por otro lado, en deportes de resistencia se requiere una alta potencia aeróbica pero los atletas también deben ser capaces de mantener una velocidad relativamente alta durante toda la distancia. Esto enfatiza la dependencia sobre el papel de las características neuromusculares por su relación con la activación voluntaria y refleja, la fuerza muscular y elástica y la mecánica de carrera (96,318). Correr es un gesto natural para el hombre pero que, con el entrenamiento diario, lleva a una fatiga específica y propia asociada al CEA (140). Cuando el CEA es repetido durante mucho tiempo y a gran intensidad, causa alteraciones reversibles de tipo neural, estructural y mecánicas cuya severidad y duración son dependientes de las características y naturaleza de la tarea. La mayor parte de estudios que evaluaron la fatiga producida por un esfuerzo de CEA, observaron un descenso en la producción de fuerza máxima tanto voluntaria como evocada. La funcionalidad en la mayoría se recuperaba a los dos días (141). Las sucesivas fases excéntricas que se producen al correr generan una fatiga específica que

manifiesta en una reducción de la capacidad de acople rápido entre fase excéntrica y concéntrica y una menor tolerancia al estiramiento. Así, el tiempo de las fases de frenado e impulsión aumenta, modificando la técnica de carrera: el aterrizaje se realiza con la pierna más extendida pero con mayor flexión de rodilla en las siguientes fases (28). En el trabajo de Gazeau, Koralsztein y Billat (95) observaron que los sujetos que eran capaces de mantener más tiempo su VAM eran los que modificaban menos las variables cinemáticas gracias a una mayor eficiencia motriz. De hecho, el aumento del tiempo de contacto en la segunda parte de la prueba se mostró como un buen indicador del cese del esfuerzo. En relación al HIT, es posible que el tipo de pausa contribuya a aumentar o retrasar la fatiga específica asociada al CEA. La pausa activa implica aumentar los ciclos de CEA realizados en toda la sesión y parecería lógico esperar que induzca a una fatiga muscular mayor o más rápida, traduciéndose en un peor rendimiento en la capacidad de salto y/o TTE más corto.

La presente investigación sobre el papel que juega la modalidad de la pausa en la modulación de las demandas del entrenamiento interválico, pretende ayudar a generar conocimiento de aplicación en el entrenamiento de las disciplinas de resistencia. La elección de una metodología adecuada en las fases de recuperación entre esfuerzos repetidos es de capital importancia, ya que se acepta que gran parte de las adaptaciones bioquímicas y fisiológicas que acompañan al entrenamiento de resistencia ocurre como respuesta al aumento de la demanda de energía de la célula muscular (319). De esta premisa se desprende que las adaptaciones que se producen, tanto a nivel celular como sistémico, son específicas a las características del programa de entrenamiento empleado (114,149). Así, el nivel de rendimiento y/o el consumo de oxígeno alcanzado durante un trabajo interválico de alta intensidad dependerá de la interacción entre la duración del ejercicio y los periodos de recuperación así como de la intensidad de ambos (245). El propósito del presente estudio es analizar en profundidad esta interacción y contribuir a aportar información a la metodología del entrenamiento de resistencia para poder optimizar las cargas aplicadas a los deportistas así como ayudar a asegurar el tipo de adaptación que se persigue con la aplicación repetida de sesiones de entrenamiento interválico en la carrera de alta intensidad.

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 (150). Por eso, en diversas especialidades se utiliza el método interválico como entrenamiento específico para aumentar el rendimiento (250). Por ello, conocer el efecto del tipo de pausa sobre la demanda de una sesión de entrenamiento interválico puede resultar de interés para otras disciplinas (272). Dicho efecto del tipo de pausa podría ser importante para aplicarlo no sólo en las sesiones sino también en las competiciones (255,285). Finalmente, 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 que permite adaptaciones fisiológicas beneficiosas para la salud además de no requerir tanto tiempo como el entrenamiento continuo, fomentando la adherencia a la práctica deportiva (207,214,215,320,321).

En cuanto a la metodología de trabajo, otro aspecto que confiere un carácter novedoso a este estudio es que todas las mediciones y análisis de variables fisiológicas, metabólicas y neuromusculares que caracterizarán el esfuerzo del organismo ante una tarea de alta intensidad se realizarán en condiciones de entrenamiento. Hay diferencias pequeñas pero significativas en el ejercicio en pista o tapiz debido a diferencias en la resistencia del aire, la superficie de contacto y los patrones de movimiento que podrían influir en el rendimiento (322). Estas variaciones podrían limitar la aplicación de las mediciones hechas en laboratorio a las condiciones en campo. Diferentes estudios han observado respuestas fisiológicas superiores cuando el esfuerzo se realiza en campo en comparación con condiciones de laboratorio (322-326). En dicho estudio, los atletas llevaron a cabo sus sesiones de entrenamiento de HIT en una pista de atletismo al aire libre, registrándose todas las variables que caracterizan el rendimiento en HIT con aparatos de medición portátiles que permitieron extraer los datos en el campo deportivo. Finalmente, muchos de los estudios sobre HIT se han desarrollado en cicloergómetro y menos en carrera a pie,

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 (204).

Partiendo de todas estas cuestiones se diseñó el presente estudio cuyo objetivo fundamental fue evaluar la influencia del tipo de pausa (activa vs pasiva) sobre los criterios de efectividad, sobre la capacidad de salto vertical así como sobre las respuestas cardiorrespiratoria y metabólica agudas en una sesión de HIT llevada a cabo en pista.

### **3.2. Objetivos**

#### **Objetivo 1**

Valorar el efecto del tipo de pausa sobre los criterios de efectividad (tiempo total de trabajo, tiempos en consumo máximo de oxígeno o próximos a él y eficiencia) en una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad tanto con carga preestablecida como con carga hasta la extenuación.

#### **Objetivo 2**

Evaluar la influencia del tipo de pausa sobre la respuesta cardiorrespiratoria durante una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad tanto con carga preestablecida como con carga hasta la extenuación.

#### **Objetivo 3**

Valorar el impacto del tipo de pausa sobre la respuesta metabólica valorada a través de los niveles de lactacidemia en una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad tanto con carga preestablecida como con carga hasta la extenuación.

#### **Objetivo 4**

Determinar la influencia del tipo de pausa sobre la capacidad de salto vertical en una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad o realizada hasta la extenuación.

## **Objetivo 5**

Explorar las asociaciones entre las diferentes variables y los criterios de efectividad de la sesión de entrenamiento interválico de elevada intensidad tanto con carga preestablecida como con carga hasta la extenuación.

### **3.3. Hipótesis**

#### **Hipótesis 1**

La modalidad de la pausa empleada en la sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad no afecta al tiempo total de trabajo en consumo máximo de oxígeno o próximo a él.

#### **Hipótesis 2**

El tipo de pausa pasiva permite mayor tiempo total de trabajo en la sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad realizada hasta la extenuación.

#### **Hipótesis 3**

El tipo de pausa activa permite mayor tiempo total de trabajo en consumo máximo de oxígeno o próximo a él en relación al tiempo total e trabajo en la sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad realizada hasta la extenuación.

#### **Hipótesis 4**

El tipo de pausa activa genera una respuesta cardiorrespiratoria más pronunciada en comparación con la pasiva.

#### **Hipótesis 5**

La pausa activa atenúa los niveles de lactacidemia derivada del entrenamiento interválico de alta intensidad.

## Hipótesis 6

La pausa activa provoca una mayor pérdida de capacidad de salto vertical en comparación con la pasiva en una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad.

### 3.4. Material y método

#### 3.4.1. Aproximación experimental

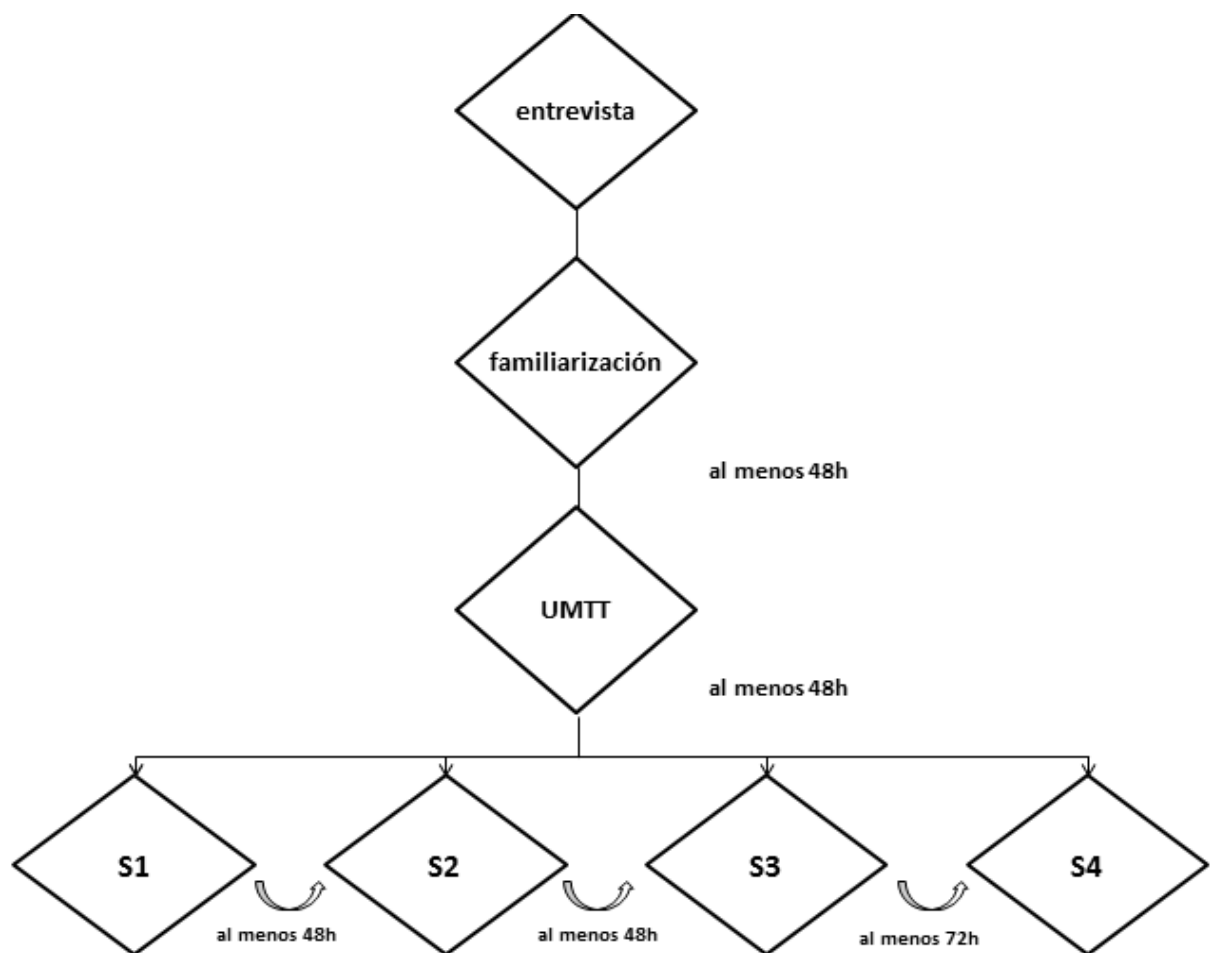
El diseño de este estudio incluyó un total de siete sesiones para cada deportista:

- En la *primera* sesión, se realizó una reunión informativa donde se explicó en profundidad el objetivo y la metodología que se siguió en la investigación.
- La *segunda* sesión tuvo como objetivo el registro de las características antropométricas y la familiarización con el material y los protocolos de los test que se desarrollaron en las siguientes sesiones de medición.
- En la *tercera* sesión se obtuvieron los parámetros de rendimiento y de respuesta cardiorrespiratoria. Para ello, los participantes realizaron una prueba de esfuerzo máxima con el protocolo validado para carrera en pista de la Universidad de Montreal (UMTT del término original en francés *Université de Montréal track Test*), una fase de verificación (FV) junto con un test de evaluación de la capacidad de salto vertical con contramovimiento (CMJ, del inglés *countermovement jump*). Todas estas pruebas se realizaron en una pista de atletismo homologada al aire libre.
- La *cuarta, quinta, sexta y séptima* sesión se centraron en el desarrollo de un entrenamiento interválico en la misma pista de atletismo individualizando el diseño del entrenamiento en función de los datos obtenidos en la prueba máxima. Dos de las sesiones fueron con carga



impuesta por el equipo de investigación (carga preestablecida o CP) y las últimas dos sesiones consistieron en prolongar el esfuerzo hasta el agotamiento (carga hasta la extenuación o CE). Las sesiones estuvieron separadas al menos por 48 horas y un máximo de 72h.

En la figura 4 se representa el diseño general del estudio.



**Figura 4.** Esquema general del diseño del estudio.

**Nota.** UMTT: Test de la Universidad de Montreal; S: sesión de HIT

### 3.4.2. Participantes

En este estudio participaron 11 sujetos. La inclusión de los participantes se realizó en base a los siguientes criterios:

- Ser varón
- Ser mayor de edad
- Estar federado
- Entrenar de manera sistemática en la carrera a pie con participación regular en carreras de competición.

Los participantes fueron reclutados por un muestreo de conveniencia a través de contactos individuales con diversos atletas que cumplían las condiciones. En una entrevista concertada con cada participante, se les informó de los objetivos, de la metodología y los aparatos de medición que se emplearían en el estudio. Se comunicó que sólo podrían participar en el estudio si se cumplía con la asistencia a la reunión informativa y entrega del consentimiento informado (anexo 6.2). Se advirtió que si la falta de asistencia repetida a las sesiones hacía que el tiempo asignado para realizar la toma de sus datos se prolongara más de un mes, serían excluidos del estudio. Una vez que aceptaron la participación, firmaron un consentimiento informado y se les entregó documentación informativa de todo lo explicado verbalmente durante la entrevista. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de A Coruña.

Participaron un total de 12 atletas. Uno de ellos tuvo que abandonar el estudio por causa de una lesión durante sus entrenamientos habituales con lo que la muestra final quedó en 11 participantes. De todas las variables que se han extraído de las sesiones de testaje, no se pudieron registrar los datos cardiorrespiratorios de dos atletas en las sesiones con CE y de otros dos participantes no se obtuvieron los datos de rendimiento neuromuscular durante las sesiones con CE.

Sus características antropométricas de los participantes se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de las características de los participantes (n= 11)

	<b>Media</b>	<b>DE</b>	<b>Rango</b>
<b>Edad (años)</b>	36,63	6,93	25-46
<b>Talla (cm)</b>	174,78	7,16	159,6-89
<b>Masa (kg)</b>	71,3	10,31	50,7-91
<b>IMC (kg·m<sup>-2</sup>)</b>	23,21	1,77	19,90-25,51

IMC: índice de masa corporal; DE: desviación estándar

### 3.4.3. Material

Para el desarrollo de las diferentes pruebas de valoración se emplearon los materiales que a continuación se enumeran.

- Evaluación antropométrica
  - Tallímetro (Añó, Sayol, España) con precisión de 1 mm.
  - Báscula con precisión de 0,1 kg.
  
- Evaluación de la capacidad de salto
  - Plataforma de fuerzas piezoeléctrica portátil (Quattro Jump, Kistler, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 500 Hz.
  - Programa informático de la plataforma de fuerzas (versión 1.0.9.2, Kistler, Suiza).

- *Evaluación de la respuesta cardiorrespiratoria en el test incremental en pista y durante las sesiones de entrenamiento interválico*
  - Pista de atletismo homologada, sintética de tartán de 8 calles y 400 m de cuerda (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña).
  - Bicicleta de montaña (Orbea, Dakar, España) con ruedas de 26 pulgadas de diámetro.
  - Velocímetro (Wireless BC 1200+, Sigma Elektro, Alemania).
  - Analizador de gases respiratorios (Cosmed K4b<sup>2</sup>, Roma, Italia). Su utilización ha sido validada en numerosas investigaciones asegurando una gran fiabilidad (327-329).
  - Un medidor del ritmo cardíaco Polar RS800 (Electro, Finland).
  - Un silbato.
- *Evaluación de la respuesta metabólica en el test incremental en pista y durante las sesiones de entrenamiento interválico*
  - Analizador portátil de concentración de lactato sanguíneo portátil Lactato Scout (SensLab GmbH, Alemania). La fiabilidad de este dispositivo ha sido reportada previamente (CV= 10,2%) (330). Requiere una muestra sanguínea de 0,5 µL y tiene un tiempo de análisis de 15 s. Las tiras reactivas se llenan con la muestra sanguínea directamente desde el sitio de muestra.

- Evaluación de la percepción de esfuerzo en el test incremental en pista
  - Escala de Percepción subjetiva del Esfuerzo de Borg (RPE, del término original en inglés *Ratio of Perceived Exertion*) con valores de 6 al 20 (331).

Antes de cada test se recordaba la interpretación de esta escala con un discurso similar al siguiente:

*“No se preocupe por un solo factor, como dolor en las piernas o dificultad para respirar, trate de centrarse en su total sensación de esfuerzo. Mire la escala de calificación, mientras realiza el ejercicio. Seleccione el número que mejor describe su nivel de esfuerzo. Trate de evaluar su sensación de esfuerzo lo más honestamente posible. Es su sensación de esfuerzo personal y no cómo se compara con las puntuaciones de los demás”.*

### 3.4.4. Variables de estudio

En la Tabla 3 se muestran las variables evaluadas.

**Tabla 3.** Índice de las variables analizadas en el estudio.

<b>VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Talla</b>	Estatura	cm
<b>Masa</b>	Masa corporal	kg
<b>Edad</b>	Edad	años
<b>VARIABLES ANALIZADAS EN EL TEST DE APTITUD CARDIORRESPIRATORIA</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>VO<sub>2rep</sub></b>	Consumo de oxígeno registrado en reposo	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
<b>FC<sub>rep</sub></b>	Frecuencia cardíaca registrada en reposo	ppm
<b>[La]<sub>rep</sub></b>	Concentración de ácido láctico en sangre registrada en reposo	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>VAM</b>	Velocidad aeróbica máxima	km·h <sup>-1</sup>
<b>VO<sub>2max</sub></b>	Consumo máximo de oxígeno	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
<b>T<sub>UMTT</sub></b>	Tiempo empleado en el test de la Universidad de Montreal	s
<b>V.UV<sub>2</sub></b>	Velocidad asociada al segundo umbral ventilatorio	km·h <sup>-1</sup>
<b>[La]<sub>max</sub></b>	Concentración máxima de ácido láctico en sangre registrada tras el test de la Universidad de Montreal	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>RER<sub>max</sub></b>	Cociente respiratorio máximo registrado en el test de la Universidad de Montreal	

**Tabla 3.** Índice de las variables analizadas en el estudio.

<b>VARIABLES ANALIZADAS EN EL TEST DE APTITUD CARDIORRESPIRATORIA</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Meseta</b>	Momento en el que el incremento del consumo de oxígeno es menor de 150 ml·min <sup>-1</sup> a pesar del aumento de la intensidad	SI/NO
<b>FC<sub>max</sub></b>	Frecuencia cardíaca máxima registrada en el test de Universidad de Montreal	ppm
<b>FC.UV<sub>2</sub></b>	Frecuencia cardíaca asociada al Segundo umbral ventilatorio	ppm
<b>RPE<sub>max</sub></b>	Valor registrado de la Escala de Percepción de Esfuerzo	Un valor del 6 al 20
<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA CAPACIDAD DE SALTO EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>h<sub>max</sub></b>	Altura máxima registrada en una serie de 5 CMJ	cm
<b>h<sub>media</sub></b>	Altura media registrada en los 5CMJ de una serie de saltos	cm
<b>F<sub>pico</sub></b>	Fuerza pico media registrada en la fase concéntrica en los 5CMJ de una serie de saltos	N·kg <sup>-1</sup>
<b>P<sub>pico</sub></b>	Potencia pico media registrada en la fase concéntrica en los 5CMJ de una serie de saltos	W·kg <sup>-1</sup>
<b>Stiff</b>	Stiffness o rigidez vertical media registrada en los 5CMJ de una serie de saltos	N·m <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>
<b>h<sub>max,sesión</sub></b>	Promedio de la altura máxima de las series de 5CMJ en la sesión	cm
<b>h<sub>media,sesión</sub></b>	Promedio de la altura media de las series de 5CMJ en la sesión	cm

**Tabla 3.** Índice de las variables analizadas en el estudio.

<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA CAPACIDAD DE SALTO EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>F<sub>pico,sesión</sub></b>	Promedio de la fuerza pico media de las series de 5CMJ en la sesión	N·kg <sup>-1</sup>
<b>P<sub>pico,sesión</sub></b>	Promedio de la potencia pico media de las series de 5CMJ en la sesión	W·kg <sup>-1</sup>
<b>Stiff<sub>sesión</sub></b>	Promedio del stiffness o rigidez vertical de las series de 5CMJ en la sesión	N·m <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>
<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA RESPUESTA CARDIORRESPIRATORIA EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>TTT</b>	Tiempo total de trabajo a elevada intensidad	s
<b>TTE</b>	Tiempo de trabajo a elevada intensidad mantenido hasta la extenuación	s
<b>Dlim</b>	Distancia total recorrida a elevada intensidad en la sesión	m
<b>TTVO<sub>2max</sub></b>	Tiempo total de trabajo con consumos iguales o próximos al 95%VO <sub>2max</sub>	s
<b>TTVO<sub>2max</sub>/TTE</b>	Tiempo total de trabajo con consumos iguales o superiores al 95%VO <sub>2max</sub> en relación al tiempo total de trabajo en la sesión	%
<b>TT90%VO<sub>2max</sub></b>	Tiempo total de trabajo con consumos iguales o superiores al 90%VO <sub>2max</sub>	s
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>/TTE</b>	Tiempo total de trabajo con consumos iguales o superiores al 90%VO <sub>2max</sub> en relación al tiempo total de trabajo en la sesión	%
<b>TAVO<sub>2max</sub></b>	Tiempo transcurrido hasta alcanzar el primer valor igual o superior al 95%VO <sub>2max</sub> en las cargas de la sesión	s



**Tabla 3.** Índice de las variables analizadas en el estudio.

<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA RESPUESTA CARDIORRESPIRATORIA EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C</b>	Tiempo total de trabajo con consumos iguales o próximos al 95%VO <sub>2max</sub> en cada carga	s
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C</b>	Tiempo total de trabajo con consumos iguales o próximos al 90%VO <sub>2max</sub> en cada carga	s
<b>VO<sub>2m</sub>.C</b>	Consumo de oxígeno medio en cada carga	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
<b>VO<sub>2p</sub>.C</b>	Consumo de oxígeno pico en cada carga	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
<b>VO<sub>2m</sub>.P</b>	Consumo de oxígeno medio en cada pausa	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C</b>	Valor relativo que supone el VO <sub>2</sub> medio alcanzado en cada carga con respecto al VO <sub>2max</sub> del participante	%
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C</b>	Valor relativo que supone el VO <sub>2</sub> pico alcanzado en cada carga con respecto al VO <sub>2max</sub> del participante	%
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C.sesión</b>	Tiempo total promedio de trabajo en consumos de oxígeno próximos o iguales al 95%VO <sub>2max</sub> en la sesión.	S
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C.sesión</b>	Promedio del tiempo total de trabajo en consumo de oxígeno próximos o iguales al 90%VO <sub>2max</sub> en la sesión.	S
<b>VO<sub>2m</sub>.C.sesión</b>	Promedio del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas de la sesión	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
<b>VO<sub>2p</sub>.C.sesión</b>	Promedio del consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas de la sesión	ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>

**Tabla 3.** Índice de las variables analizadas en el estudio.

<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA RESPUESTA CARDIORRESPIRATORIA EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>VO<sub>2m</sub>.C.sesión.%VO<sub>2max</sub></b>	Promedio del valor relativo que supone el VO <sub>2</sub> medio alcanzado en cada carga con respecto al VO <sub>2max</sub> del participante en la sesión	%
<b>VO<sub>2p</sub>.C.sesión.%VO<sub>2max</sub></b>	Promedio del valor relativo que supone el VO <sub>2</sub> medio alcanzado en cada carga con respecto al VO <sub>2max</sub> del participante en la sesión	%
<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA RESPUESTA METABÓLICAS EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>[La]<sub>rep</sub></b>	Concentración de ácido láctico en sangre en reposo	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>[La]<sub>carga</sub></b>	Concentración de ácido láctico sanguíneo registrado inmediatamente tras el intervalo de carga	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>[La]<sub>pausa</sub></b>	Concentración de ácido láctico sanguíneo registrado al finalizar el intervalo de pausa	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>[La]<sub>carga</sub>.sesión</b>	Promedio de la concentración de ácido láctico sanguíneo registrado inmediatamente tras el intervalo de carga	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>[La]<sub>pausa</sub>.sesión</b>	Promedio de la concentración de ácido láctico sanguíneo registrado al finalizar el intervalo de pausa	mMol·L <sup>-1</sup>
<b>Diff[La].sesión</b>	Promedio de la diferencia en la concentración de ácido láctico en sangre entre la carga y la pausa en la sesión	mMol·L <sup>-1</sup>

**Tabla 3.** Índice de las variables analizadas en el estudio.

<b>VARIABLES ANALIZADAS DE LA RESPUESTA CARDÍACA EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO</b>		
<b>ABREVIATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>FC<sub>m</sub>.C</b>	Frecuencia cardíaca media alcanzada durante las cargas de la sesión	ppm
<b>FC<sub>max</sub>.C</b>	Frecuencia cardíaca máxima alcanzada en las cargas de la sesión	ppm
<b>FC<sub>m</sub>.P</b>	Frecuencia cardíaca media alcanzada durante las pausas de la sesión	ppm
<b>FC<sub>m</sub>.C.sesión</b>	Promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en la cargas de la sesión	ppm
<b>FC<sub>max</sub>.C.sesión</b>	Promedio de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada en las cargas de la sesión	ppm
<b>FC<sub>m</sub>.P.sesión</b>	Promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en la pausas de la sesión	ppm

### **3.4.5. Procedimiento y diseño**

#### **3.4.5.1. Primera sesión**

La primera sesión consistió en una entrevista personal con el participante donde se le informó de los objetivos, metodología y los riesgos que se podrían derivar del estudio. 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.

A todos los sujetos se les facilitó un documento explicativo donde constaban los detalles del estudio (anexo 6.3). Si decidían participar, firmaban un informe de consentimiento (anexo 6.2). Al finalizar la reunión, se estableció con cada participante la fecha para la siguiente sesión.

#### **3.4.5.2. Segunda sesión**

Los objetivos fueron 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 pista de atletismo. Tras un calentamiento estándar, se explicó y practicó el test de saltos. En una superficie de cemento anexa a la pista de tartán sintético se instaló la plataforma de fuerzas para ejecutar una serie de 5 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, Kistler, Suiza). 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 ó 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 5CMJ válidos, los participantes hacían un salto previo de la intensidad más baja posible para evitar fatiga tras la señal del investigador.
- Realizar 5 saltos máximos continuos 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 5CMJ 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.

A continuación, se colocó el K4b2 al atleta. De nuevo, se practicaron los saltos de 5CMJ sobre la plataforma con el analizador y el pulsómetro colocados, ya que esta sería la condición de ejecución durante las sesiones de entrenamiento interválico.

Después de la familiarización con el protocolo de los saltos, se explicó la escala de esfuerzo percibido de Borg con valores de 6 al 20 (331) para familiarizarse con la capacidad de percepción del esfuerzo como una integración de las diferentes sensaciones durante el ejercicio.

Para terminar, se pidió al participante que realizase tres vueltas continuas a la pista de atletismo en la que se desarrollarían todos los test de evaluación con el K4b2 y el pulsómetro colocados. Debía realizar estas vueltas a diferentes intensidades siendo la última a velocidad máxima. Aunque los participantes tenían experiencia previa en la ejecución de pruebas máximas, éstas habían sido en tapiz rodante y con un analizador de gases fijo. Así, el objetivo de esta primera sesión fue la de familiarizar al sujeto con las sensaciones del analizador de gases portátil y a diferentes intensidades de carrera al aire libre.

Al finalizar esta sesión, se estableció la fecha de la siguiente valoración que debía tener lugar en un plazo mínimo de 48h. 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. Las condiciones meteorológicas fueron comprobadas sistemáticamente hasta la víspera de la cita, mediante consulta del parte meteorológico ([www.windguru.com](http://www.windguru.com)). En el caso de que la sesión tuviera que ser aplazada, se estableció con el afectado una nueva fecha lo más próxima posible.

En todas las evaluaciones se comprobó en el momento de llegar a la instalación las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y presión barométrica) con la consulta de la estación metereológica de A Coruña en la web Meteogalicia ([www.meteogalicia.es](http://www.meteogalicia.es)). En el caso de que existiese riesgo de influencia en la capacidad de termorregulación de los participantes se decidiría suspender la valoración. Se estableció como límite superior una temperatura de 28°C y como límite inferior los

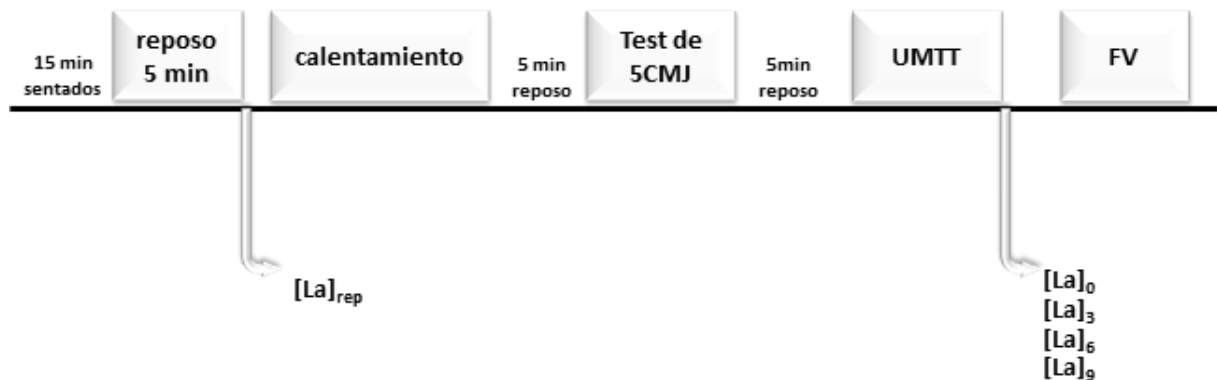
10°C (332,333). En la tabla 27 (anexo 6.1) se presenta el resumen de las características meteorológicas de los días de medición para cada participante, datos expresados como media y desviación estándar.

Se recordó a los atletas los requisitos que deberían cumplir para la siguiente sesión y se recomendó que se hidratasen correctamente las horas previas.

### 3.4.5.3. Tercera sesión

La tercera sesión se llevó a cabo al menos 48h después de completar la familiarización. Como en todas las sesiones, se comprobó el parte meteorológico previamente para determinar si había riesgo de precipitaciones o temperatura fuera de los límites establecidos.

El diseño general de la tercera sesión se presenta en la figura 5.



**Figura 5.** Diseño de la tercera sesión.

#### *3.4.5.3.1. Mediciones en reposo*

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.

Tras el calentamiento y calibración del K4b2, se colocó la banda del pulsómetro y se ajustó la unidad portátil al tronco del participante a través del arnés, sin colocación de la máscara. El participante permaneció sentado en una silla con respaldo en un módulo cubierto anexo a la pista de atletismo. Las instrucciones que siguieron fueron las de permanecer en esa posición con el menor movimiento posible y sin hablar durante 15 min. Inmediatamente después de dicho intervalo de tiempo, se conectó la mascarilla y se comenzó el registro de los gases respiratorios y de la FC en estado de reposo durante 5 minutos. Se recordó que debían respirar tranquilos y sin apneas, para evitar datos erróneos. Al finalizar el tiempo de registro, se tomó una muestra sanguínea del lóbulo de la oreja derecho para analizar la  $[La]_{rep}$ .

#### *3.4.5.3.2. Calentamiento*

En todas las sesiones se realizó el mismo calentamiento portando sólo el pulsómetro (RS800CX, Polar) y por superficie de césped dentro de la pista de atletismo.

Consistió en:

- diez minutos de carrera continua al 60%  $FC_{max}$  estimada para la edad,
- 5 min de movilidad activa,
- 5 repeticiones de 50 m en progresión de intensidad, recuperando la vuelta andando lento,
- 1 ensayo del protocolo de medición de los 5CMJ en la plataforma,
- 5 min de descanso pasivo.



Se recordó a los participantes que debían hidratarse correctamente hasta el inicio de la prueba. A continuación, se colocó el K4b2 y se procedía al análisis de los saltos en la plataforma de fuerzas.

#### *3.4.5.3.3. Saltos*

Tras los 5 min de descanso, que se aprovechaban para colocar el K4b2 y su banda del pulsómetro, se realizó el test de saltos siguiendo el mismo protocolo previamente descrito.

#### *3.4.5.3.4. Test incremental en pista*

La prueba de carrera progresiva en pista UMTT es un test continuo, indirecto y máximo cuya precisión, validez y reproducibilidad ha sido previamente constatada (60,323). En este caso, se optó por marcar el ritmo de carrera de intensidad creciente con la ayuda de un ciclista equipado con un velocímetro calibrado que iba marcando la velocidad en cada estadio.

Tras introducir los datos del participante en el K4b2, se ejecutó el UMTT marcando una velocidad inicial de  $8\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  y aumentándola  $1\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada 2 min. El cambio de estadio se señaló al ciclista y al atleta haciendo sonar un silbato e indicando verbalmente la velocidad a la que se cambiaba. Se pidió a los atletas que se mantuviesen siempre detrás de la bicicleta a una distancia de 2 - 3 m (figura 6). El test se consideró finalizado cuando el atleta no podía mantener el ritmo y se alejaba de la bicicleta (5 m aproximadamente). Este criterio fue explicado al participante previamente al test y en todo momento fueron animados verbalmente hasta el final de la prueba.



**Figura 6.** Imagen del desarrollo del UMTT en la pista de atletismo.

Un cartel con la Escala de Percepción de Esfuerzo de Borg fue colocado en la espalda del ciclista. Así, durante el desarrollo de la prueba, cada vez que se indicó un cambio de velocidad se le pidió al sujeto que especificase al ciclista el valor de su RPE del estadio completado en un tono normal para evitar modificaciones del patrón respiratorio en la medida de lo posible. El ciclista comunicaba dicho valor inmediatamente al equipo de investigación. Inmediatamente al cese del esfuerzo, un miembro del equipo investigador preguntó la  $RPE_{max}$ . Simultáneamente, se tomó una muestra de  $[La]_s$  en el lóbulo de la oreja derecha con el analizador de lactato sanguíneo portátil. Se tomaban muestras sanguíneas cada 3 min hasta obtener el primer valor de  $[La]_s$  que descendía en relación a la medición anterior un valor superior al error técnico de medición de Lactate Scout (1mMol) (330).

Se consideró la VAM como la velocidad alcanzada en el último estadio completado, tal como es descrito en el artículo original Leger y Boucher (323). Si completaba un minuto del estadio pero no podía acabarlo, se aplicaba la siguiente fórmula (334):

$$VAM = I + \Delta I (n/120)$$

Donde  $I$  es la velocidad del estadio previo que fue completado,  $\Delta I$  es el incremento de velocidad para alcanzar el nuevo estadio y  $n$  indica el número de segundos que el sujeto aguantó del último estadio.

Si el sujeto no completaba un minuto en el siguiente estadio, la VAM era la correspondiente a la velocidad del anterior. También se registró  $T_{UMTT}$ .

#### 3.4.5.3.5. Tratamiento de los datos

- *Tratamiento de los datos registrados en reposo*

Entre los diferentes parámetros ventilatorios que el software del analizador de gases aporta, se analizaron los siguientes: consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), el cociente de intercambio respiratorio (RER, del término original en inglés *Respiratory Exchange Ratio*) y equivalentes ventilatorios para el oxígeno ( $VE/VO_2$ ) y para el dióxido de carbono ( $VE/VCO_2$ ). También se analizaron los registros de FC que aportaba la banda del K4b2 (Polar, Electro, Finlandia).

En las mediciones en reposo, los datos respiración a respiración se volcaron en el software de Cosmed, se filtraron y promediaron cada 30 s para reducir el ruido de la señal. Se tuvieron en cuenta para el análisis de la respuesta respiratoria y cardíaca los datos de los últimos 4 min de medición.

- *Tratamiento de los datos del CMJ*

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).

A continuación, se detectaron las fases de los saltos definidas como (335):

- Fase excéntrica, donde se distinguieron a su vez dos fases:
  - a. *Fase de relax*: comprende desde el inicio del salto hasta el valor mínimo de la fuerza de reacción del suelo. El participante relaja los músculos de la cadera y pierna permitiendo a las rodillas flexionarse bajo los efectos de la gravedad. La fuerza de reacción del suelo es inferior al peso del sujeto y su centro de masas se acelera hacia abajo.
  - b. *Fase de frenado o excéntrica pura*: esta zona comienza a continuación de la fase de relax y termina en el momento en que los valores de la velocidad pasen de negativos a positivos. Coincide con la altura más baja del dentro de gravedad (c.d.g) alcanzada en el salto.
  - c. Fase concéntrica, la cual va desde el momento anterior hasta el momento del despegue.

Una vez detectada la fase concéntrica, se hallaron los valores de fuerza pico ( $F_{\text{pico}}$ ) y potencia pico ( $P_{\text{pico}}$ ). Se analizaron también la altura media de los 5 CMJ ( $h_{\text{media}}$ ), la altura máxima alcanzada en toda la serie de los 5CMJ ( $h_{\text{max}}$ ) y el stiffness (Stiff).

- *Tratamiento de los datos del UMTT y FV*

En el UMTT, los datos aportados por el K4b2 fueron volcados en el software de Cosmed, filtrados y promediados cada 15 s. Se consideraba  $VO_{2\text{max}}$  el valor más alto obtenido con el promedio de dos intervalos de 15 s. El  $RER_{\text{max}}$  se determinó como el valor promedio más alto de dos intervalos de 15 s consecutivos.

Después de la realización de la prueba incremental, los parámetros ventilatorios se representaron mediante gráficos en el propio software del analizador de gases con la finalidad de detectar visualmente el primer y segundo umbral ventilatorio ( $UV_1$  y  $UV_2$ ). Los criterios utilizados para la detección del  $UV_1$  fueron (336,337):

- Equivalentes respiratorios: el punto más bajo del  $VE/VO_2$  coincidiendo con una estabilización o descenso del  $VE/VCO_2$ .

- Presión al final de cada espiración: tras un descenso inicial, momento en el que se estabiliza la  $PET_{O_2}$ . Tras un ascenso inicial, momento en el que se mantiene el  $PET_{CO_2}$ .
- Ventilación: primer aumento de la VE no proporcional al aumento de la carga

Los criterios utilizados para la detección del  $UV_2$  eran:

- Equivalentes respiratorios: comienzo del aumento del  $VE/VO_2$  sin aumento del  $VE/VCO_2$  o aumento simultáneo de los dos.
- método PET (sube el  $PET_{O_2}$  y baja el  $PET_{CO_2}$ ).
- Ventilación: segundo aumento de la VE no proporcional al aumento de la carga

Se consideraba  $FC_{max}$  el valor más alto del promedio de dos intervalos consecutivos de 15 s.

De la prueba del UMTT también se extraían las variables VAM ( $km \cdot h^{-1}$ ), el  $T_{UMTT}$  (s) y el  $RPE_{max}$ .

Los datos de la FV se filtraban y promediaban de la misma forma que los extraídos del UMTT, obteniéndose las variables de  $VO_{2verif}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{verif}$ ), el máximo valor de RER ( $RER_{verif}$ ) y el tiempo hasta la extenuación ( $T_{verif}$ ) en la FV.

Para considerar máxima la prueba, se debían cumplir al menos dos de los siguientes criterios:

- Mostrar una meseta en el consumo de oxígeno en el último estadio con un incremento inferior a los  $150 ml \cdot min^{-1}$  con respecto al precedente (338).
- Alcanzar un RER mayor o igual a 1,1 (339).
- Obtener una  $FC_{max}$  superior al 95% de la máxima asociada a la edad (340) determinada por la fórmula  $[207 - (0.7 \cdot edad)]$  (341).

- Obtener una  $[La]_{\max}$  mayor o igual a  $8 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$  (i.e.  $[La]_{\max} \geq 8 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (342).

Independientemente del cumplimiento de estos criterios de maximalidad, cada participante realizó a continuación una FV para aportar información sobre la consecución del  $VO_{2\max}$  en el UMTT. Tras el UMTT, los participantes descansaron de forma pasiva durante 15 min y con hidratación *ad libitum*. A continuación, realizaron un test supramáximo y rectangular cuya velocidad de carrera fue la correspondiente al siguiente estadio del UMTT al último completado ( $VAM + 1\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). La prueba fue disputada con el K4b2 y la banda del pulsómetro. El participante se colocó detrás del ciclista que marcaría desde el comienzo la velocidad indicada y mantuvo este esfuerzo hasta la extenuación dándose por finalizado bien por la decisión voluntaria del participante o por una separación de la bicicleta de más de 5 m.

La prueba de UMTT se consideró máxima si cumplía al menos dos de los criterios de maximalidad descritos. Esta decisión se tomó en base a los datos obtenidos en un estudio previo realizado en nuestro centro (343) donde se observó un grado de concordancia significativo y sustancial entre los criterios de maximalidad. Por otro lado, se consideraba confirmado el valor de  $VO_{2\max}$  obtenido en el UMTT si éste no era superado en más de un 5% por el máximo consumo de oxígeno obtenido en la FV ( $VO_{2\text{verif}}$ ) (343).

- *Tratamiento de los datos de concentración de lactato sanguíneo*

Inmediatamente al finalizar el UMTT, se procedía a la toma de una muestra sanguínea ( $0.5 \mu\text{L}$ ) con el Lactate Scout en el lóbulo derecho del participante. Sucesivas muestras eran tomadas con el mismo procedimiento cada tres minutos hasta obtener el primer valor menor a la anterior medición. Se consideró como  $[La]_{\max}$  el valor más alto de  $[La]_s$  registrado durante dichas mediciones.

Finalizada esta tercera sesión y tras comprobar el cumplimiento de los criterios de maximalidad, se aleatorizaron las sesiones de entrenamiento en función del tipo de pausa que se iba a desarrollar. Se utilizó la función en el programa de Excel (Microsoft Office Excel, 2010) con el comando: “=aleatorio()”. Así, se aleatorizaron las dos sesiones de CP y posteriormente las de CE.

#### **3.4.5.4. Sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad**

Cada participante realizó cuatro sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad. Estas sesiones fueron individualizadas siguiendo los parámetros obtenidos en la prueba incremental. Todos los entrenamientos se desarrollaron en la misma pista de tartán sintético en la que se realizaban la familiarización y el UMTT.

En las dos primeras sesiones, la carga a completar fue preestablecida por el equipo investigador (CP) y fue la misma para todos los sujetos. La diferencia residió en el tipo de pausa que se realizó entre los intervalos de carga: activa o pasiva. Estas dos sesiones fueron aleatorizadas para cada individuo. Las últimas dos sesiones siguieron el mismo esquema que las anteriores pero se realizó hasta la extenuación (CE). Del mismo modo, se aleatorizó qué sesión harían primero en función del tipo de pausa (activa o pasiva).

En todas las sesiones se procedió igual que en el UMTT, comprobando el parte meteorológico el mismo día de la evaluación en la instalación para determinar si se daban las condiciones adecuadas para realizar el test o se debía posponer.

Las dos primeras sesiones (CP) debían estar separadas al menos 48 horas y las dos últimas (CE) al menos 72 horas. Siempre se recordó al participante los requisitos que se debían cumplir, que ya fueron explicados en la entrevista inicial, fueron entregados por escrito en una hoja de información para que siempre las pudieran consultar y fueron los mismos que se siguieron para la tercera evaluación.

Al finalizar la medición, se concertó con el participante la fecha de la siguiente evaluación.

La instalación fue la misma que la empleada en la familiarización y en el UMTT (figura 7). La zona de testajes estuvo situada en un punto intermedio de la recta de la pista (figura 8).



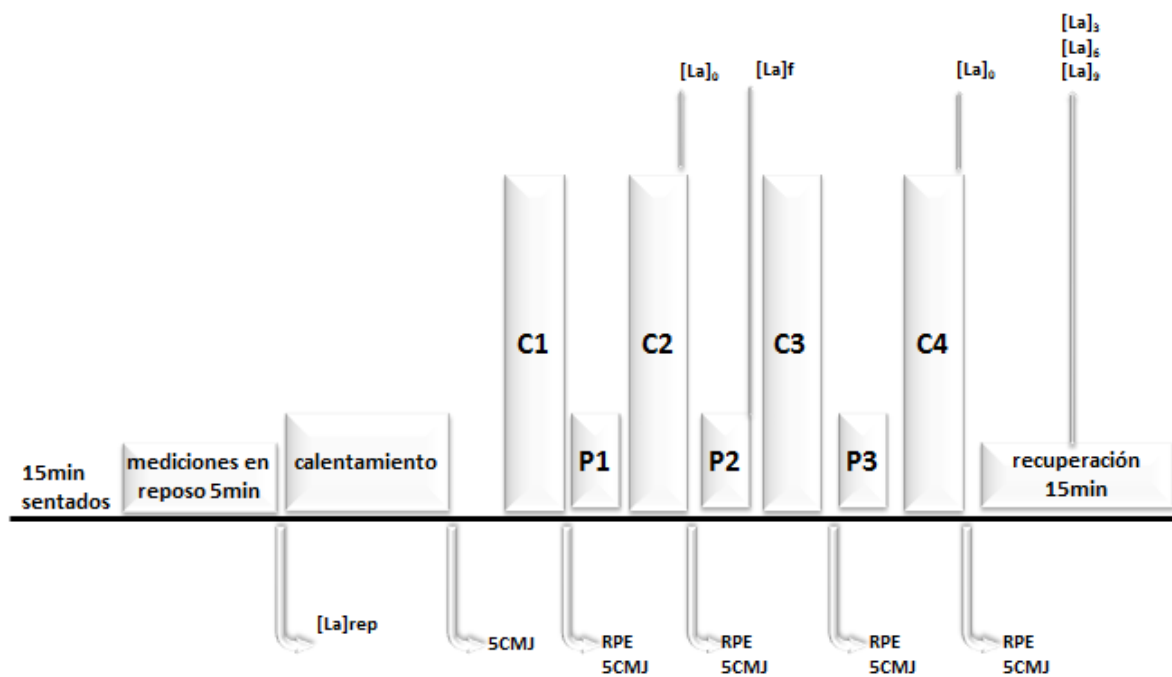
**Figura 7.** Instalaciones donde se desarrollaron las sesiones de evaluación.





**Figura 8.** Zona de testaje en la pista

El diseño general de las sesiones de entrenamiento se representa en la figura 9.



**Figura 9.** Esquema del diseño de la sesión de carga preestablecida.

#### *3.4.5.4.1. Mediciones en reposo*

Se siguió el mismo protocolo que en la tercera sesión.

#### *3.4.5.4.2. Calentamiento y test de saltos*

Se siguió el mismo protocolo que en la tercera sesión.

#### *3.4.5.4.3. Los entrenamientos interválicos*

Las sesiones de CP consistieron en 4 intervalos de carga de 2 min a la VAM, recuperando 2 min bien con pausa activa al 80% de la velocidad asociada a UV<sub>2</sub> (80%V.UV<sub>2</sub>) o pasiva según el resultado de la aleatorización. La velocidad durante el intervalo de carga fue marcada con el mismo sistema que en el UMTT: un ciclista fue delante del atleta marcando la velocidad con un velocímetro calibrado. El ciclista salió unos metros detrás del atleta para que, al pasar por su lado, pudiese marcar la velocidad deseada. Este sistema fue el mismo tanto en la sesión con recuperación activa como la pasiva. El atleta debía mantenerse siempre detrás del ciclista a una distancia prudencial de  $\pm 3$  m. El tiempo total de trabajo a alta intensidad de la sesión con CP fue de 480 s, estimándose para toda la sesión una duración total de 1h 30 min.

Durante toda la ejecución de los intervalos de carga y pausa, el atleta llevó el K4b2 y la correspondiente banda de pulsómetro. Inmediatamente después de cada intervalo se evaluó el rendimiento neuromuscular con la prueba de 5CMJ en la plataforma de fuerzas. Cada dos cargas, se analizó la [La]<sub>s</sub> inmediatamente al finalizar el correspondiente intervalo de carga ([La]<sub>carga</sub>) y, tras los 2 min de recuperación, inmediatamente antes del siguiente intervalo de carga, se determinó la [La]<sub>s</sub> ([La]<sub>pausa</sub>). Para poder hacer estas mediciones, se hizo coincidir el final del intervalo de carga en el punto donde estaba dispuesto todo el material para la recogida de datos (plataforma

de fuerzas, equipo informático, material de medición del lactato, etc.). Para ello, se calculó la distancia en metros que iba a recorrer el participante durante el intervalo de carga y se situó el punto de partida en el lugar de la pista que permitiese finalizar ese recorrido en el punto de testaje. La FC era registrada de forma continua y gracias a la marcación de vueltas de forma manual en el pulsómetro y en el K4b2, se diferenciaron los intervalos de registros asociados al momento de carga y los de pausa.

Tras la batería de tests, si la pausa a seguir era pasiva, se pidió al participante que volviese al punto de salida caminando lento y recuperar el tiempo sobrante de pie, quieto, en el punto de partida (figura 10). Si la pausa era activa, el ciclista esperó a que el participante ejecutase el test de 5CMJ preparado para marcar la velocidad de carrera durante 2 min. Como se dijo previamente, la velocidad de la recuperación activa se estableció al 80% de la  $V_{UV_2}$  determinado previamente para cada participante en el UMTT. De nuevo se calcularon los metros a recorrer durante la pausa para hacer coincidir el final de los 2 min de recuperación con el punto de partida del intervalo de carga, siendo informados del recorrido en la pista tanto el ciclista como el atleta antes de comenzar la evaluación.



**Figura 10.** Imagen de la preparación del atleta para el comienzo del intervalo de carga.

En las sesiones hasta la extenuación, el diseño seguido fue el mismo repitiéndose los intervalos hasta que el sujeto no fue capaz de seguir la velocidad impuesta por el ciclista o éste se separó de él más de 5 m. La  $[La]_s$  se registraba tras cada intervalo de carga par, mientras que el test de 5CMJ se realizó tras cada intervalo de carga.

La batería de test ( $[La]_s$  y 5CMJ) fue tomada al completo siempre tras el último intervalo del participante.

#### *3.4.5.4.4. Mediciones post-esfuerzo*

Tras las últimas mediciones del intervalo de carga final, se acompañó al sujeto al módulo cubierto anexo a la pista para que recuperase en la misma posición y en el mismo sitio donde se registraron las mediciones en reposo. El tiempo de medición fue de 15 min donde registraba de manera continuada la respuesta de intercambio de

gases respiratorios y la FC. La  $[La]_s$  fue medida cada 3 min hasta obtener un valor más bajo que la concentración de lactato registrada en la medición anterior. No obstante, estas valoraciones no han sido finalmente reportadas en esta Tesis.

Al finalizar el período de medición, se desconectaron los aparatos de medición y se pidió al sujeto que se hidratase correctamente. Los elementos del analizador de gases fueron desinfectados con material de limpieza de instrumental de ámbito clínico (Instrunet LAB polvo, Inibsa, España), y la banda del pulsómetro fue lavada de acuerdo con las indicaciones del manual del fabricante.

#### *3.4.5.4.5. Tratamiento de los datos*

- *Tratamiento de los datos registrados en reposo*

Se siguió el mismo protocolo que en la tercera sesión.

- *Tratamientos de los datos del test de salto*

El tratamiento de los datos del test de salto fue el mismo que el explicado en el apartado de la Tercera sesión. En las sesiones de CP, se analizaron todas las series de saltos realizadas antes de cada intervalo de pausa. En las sesiones de CE se analizaron las series de saltos asociadas al 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del tiempo total de trabajo de cada sesión.

- *Tratamiento de los datos registrados durante los entrenamientos interválicos de alta intensidad*

*Datos de la respuesta respiratoria.* Los datos del K4b2 y el pulsómetro analizados fueron los correspondientes a las cargas y pausas, eliminando los datos detectados durante la batería de tests ejecutada al finalizar el intervalo de carga. Los datos fueron volcados al software específico del K4b2 y la señal fue filtrada y promediada cada 5 s. Estos datos se exportaron a Excel para poder calcular los valores de las diferentes

variables. El valor de referencia del  $VO_{2max}$  fue el que había sido alcanzado en el UMTT.

Para determinar el tiempo total de trabajo hasta la extenuación (TTE) se sumaron los intervalos de carga completados sin contar los intervalos de pausa. Para determinar el tiempo de trabajo en  $VO_{2max}$  (TT $VO_{2max}$ ) se aplicó el comando disponible en Excel de sumar las celdas que igualaban o superaban el valor del 95% del  $VO_{2max}$  del individuo (i.e. “contar.si”). Así, el número de celdas detectadas que cumplían con el criterio se multiplicó por 5 ya que cada celda correspondía al promedio de 5 segundos de registro y se obtuvo el tiempo que estaba el sujeto al 95% del  $VO_{2max}$  durante el intervalo de carga.

$$Ej. =(contar.si(A4:A28)>=95\%VO_{2max})*5$$

La misma metodología se aplicó al análisis del tiempo total de trabajo en cada carga al 90% del  $VO_{2max}$  del sujeto (TT90% $VO_{2max}$ ). El método escogido para determinar TT $VO_{2max}$  y TT90% $VO_{2max}$  se consideró más robusto en comparación a otras opciones metodológicas (248).

En las sesiones de CP, se analizaron todas las cargas de trabajo. En las sesiones con CE se analizaron las variables correspondientes al 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del tiempo total de trabajo en cada sesión.

*Datos de la frecuencia cardíaca.* Los datos de FC registrados por la banda de pulsómetro del K4b2, siguieron el mismo tipo de filtrado y promediado que los datos espirométricos (5 s). Estos valores fueron exportados a una hoja Excel para calcular el valor de las variables analizadas. Se obtuvieron valores de FC durante toda la sesión de entrenamiento, diferenciando los datos de la FC de los intervalos de carga y los de la pausa, no incluyendo en el análisis los datos de FC durante la batería de tests que se hacían tras cada intervalo de carga.

*Datos de concentración de lactato sanguíneo.* Se obtenían los valores de  $[La]_{carga}$  tras cada carga par. Un miembro del equipo investigador estuvo preparado para interceptar al sujeto cuando éste finalizase el intervalo de carga en las inmediaciones del punto de testaje. Se extrajo una muestra de sangre del lóbulo de la oreja derecha de forma aséptica. Este valor fue comunicado a otro miembro del equipo y anotado en una hoja de registro.

Tras el intervalo de pausa, y mientras el ciclista se preparaba para comenzar el siguiente intervalo de carga alejándose unos metros del participante, se extrajo otra muestra de sangre con el mismo procedimiento ( $[La]_{pausa}$ ).

En las sesiones de carga controlada se realizaron mediciones de  $[La]_{carga}$  tras la 2ª y 4ª carga y  $[La]_{pausa}$  previa a la 3ª carga y a los 3 min de la finalización de la sesión. En las sesiones hasta la extenuación, se realizaron mediciones de concentración de lactato sanguíneo en cada carga par y en la última realizada.

### **3.5 Análisis estadístico y tratamiento de datos.**

El análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS v. 15.0 para Windows (Chicago, IL, EE.UU.). Para el tratamiento de los datos obtenidos mediante el programa informático de la plataforma de fuerzas, se utilizó el programa EXCEL (2010, Microsoft Office, EE.UU.).

Para verificar la normalidad de las variables se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk.

El estudio descriptivo de los datos incluyó medias, desviaciones típicas y rangos.

Para comprobar la diferencia entre medias entre las variables de los dos tipos de sesiones (activa o pasiva), se aplicó la prueba t-student para muestras relacionadas si las variables seguían una distribución normal y, si no lo hacían, se aplicó la prueba de Wilcoxon.

Para comprobar las diferencias entre los dos tipos de sesiones (activa o pasiva) entre los diferentes momentos de medición, se aplicó un ANOVA de dos vías (momento x pausa) para medidas repetidas. Los niveles de los factores para el análisis de la respuesta cardiorrespiratoria fueron:

- Momento: 4 niveles para el estudio de las cargas y 3 niveles para el estudio de las pausas en las sesiones CP y 5 niveles para el estudio de las cargas y pausas en las sesiones CE.
- Pausa: 2 niveles (i.e. activa, pasiva).

Los niveles de los factores para el análisis de la respuesta neuromuscular fueron:

- Momento: 5 niveles para las sesiones CP y 6 niveles para las sesiones CE
- Pausa: 2 niveles (i.e. activa, pasiva)

Los niveles de los factores para el análisis de la respuesta metabólica fueron:

- Momento: 3 niveles en las sesiones CP y 6 niveles y 5 niveles para las cargas y pausas respectivamente en CE.
- Pausa: 2 niveles (i.e. activa, pasiva)

Si las variables no seguían una distribución normal, se aplicó el test de Friedman, con comparaciones de datos apareados con el test de Wilcoxon con la corrección de Bonferroni.

Se estudiaron las correlaciones existentes entre las diferentes variables a través del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ). Se considerará que existe una correlación directa cuando  $r > 0$  e inversa si  $r < 0$ . Se considerará una asociación débil cuando  $r < 0,30$ , moderada cuando  $r \geq 0,30$  y  $\leq 0,70$  y fuerte cuando  $r > 0,70$  (344).

La significación estadística se estableció en  $p < 0,05$ .



### 3.6. Resultados

#### 3.6.1. Test incremental en campo

Los valores de las variables del UMTT se resumen en la tabla 4.

**Tabla 4.** Valores de las variables analizadas del UMTT

	<b>Media(DE)</b>	<b>Rango</b>
<b>VAM (Km·h<sup>-1</sup>)</b>	18,72(1,05)	17-20,5
<b>T<sub>UMTT</sub></b>	1407,27(126,89)	1200-1620
<b>VO<sub>2max</sub> (ml·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</b>	59,26(5,27)	52,27-71,82
<b>FC<sub>max</sub> (ppm)</b>	178,09(7,4)	167-191
<b>RER<sub>max</sub></b>	1,14(0,04)	1,07-1,21
<b>[La]<sub>max</sub> (mMol·L<sup>-1</sup>)</b>	9,17(2,8)	4,4-12,9
<b>V.UV<sub>2</sub> (km·h<sup>-1</sup>)</b>	15,45(0,93)	14-17
<b>FC.UV<sub>2</sub> (ppm)</b>	160,57(6,12)	153-169,7

VAM: velocidad aeróbica máxima; VO<sub>2max</sub>: consumo máximo de oxígeno; FC: frecuencia cardíaca máxima; RER<sub>max</sub>: máximo cociente respiratorio; [La]<sub>max</sub>: máxima concentración de lactato sanguíneo; V.UV<sub>2</sub>: velocidad asociada al segundo umbral ventilatorio; FC.UV<sub>2</sub>: frecuencia cardíaca asociada al segundo umbral ventilatorio; DE: desviación estándar.

En la tabla 5 se resumen los criterios de maximalidad de cada uno de los participantes, así como su cumplimiento.

**Tabla 5.** Criterios de maximalidad cumplidos por los participantes del estudio.

Participante	VO <sub>2max</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	Meseta (SI/NO)	RER <sub>max</sub> (SI/NO)	FC <sub>max</sub> (ppm; SI/NO)	[La] <sub>max</sub> (mMol·L <sup>-1</sup> ; SI/NO)	RPE <sub>UMTT</sub>	FV (SI/NO)
1	63,88	SI	1,11 (SI)	187 (SI)	9,7 (SI)	19	SI
2	71,82	NO	1,19 (SI)	195 (SI)	7,3 (NO)	18	SI
3	59,05	SI	1,07 (SI)	172 (SI)	10 (SI)	19	SI
4	60,61	NO	1,34 (SI)	180 (SI)	11,2 (SI)	18	SI
5	57,27	SI	1,2 (SI)	176 (SI)	11,6 (SI)	19	SI
6	57,01	SI	1,18 (SI)	178 (SI)	7,2 (NO)	19	SI
7	60,64	SI	1,11 (SI)	167 (NO)	6,1 (NO)	17	SI
8	59,13	SI	1,13 (SI)	182,4(SI)	10,1 (SI)	19	SI
9	56,52	SI	1,21 (SI)	176 (NO)	6,5 (NO)	17	SI
10	52,27	SI	1,17 (SI)	178 (SI)	4,4 (NO)	17	SI
11	53,76	NO	1,17 (SI)	191 (SI)	12,9 (SI)	19	SI

VO<sub>2max</sub>: consumo máximo de oxígeno; RER<sub>max</sub>: máximo cociente respiratorio; FC<sub>max</sub>: frecuencia cardíaca máxima; [La]<sub>max</sub>: máxima concentración de lactato sanguíneo; RPE<sub>max</sub>: ratio máximo de percepción de esfuerzo; FV: fase de verificación.

### 3.6.2. Sesiones de entrenamiento interválico con carga controlada

#### 3.6.2.1. Resultados sobre el rendimiento en las sesiones con carga preestablecida

El test de Shapiro-Wilk permitió aceptar la hipótesis de normalidad para las variables de las sesiones con CP ( $p > 0,05$ ) excepto para algunas de las registradas tanto en las sesiones con recuperación activa (TTVO<sub>2max</sub> en las cargas 1 y 4, TT90%VO<sub>2max</sub> en las cargas 1, 2, 3 y 4, VO<sub>2m</sub> en las cargas 1, 2, 3 y 4, VO<sub>2p</sub> en las cargas 1, 2, 3 y 4 y en el VO<sub>2m</sub> en las pausas 1 y 3) como en las sesiones con recuperación pasiva (TAVO<sub>2max</sub>, TA90%VO<sub>2max</sub>, TTVO<sub>2max</sub> en la carga 1, TT90%VO<sub>2max</sub> en la carga 1,2,3 y 4, VO<sub>2p</sub> en la carga 4 y en el VO<sub>2m</sub> en la pausa 3).

Los valores de las variables de los factores cardiorrespiratorios registrados en las sesiones CP se resumen en la tabla 6.

La prueba t-student para muestras relacionadas no detectó diferencias significativas en los tiempos de trabajo en  $VO_{2max}$ , aunque el p-valor resultante estuvo próximo a la zona de rechazo de la hipótesis de igualdad de medias ( $p = 0,056$ ). Relativizando los valores de tiempo total en  $VO_{2max}$  al tiempo total de trabajo ( $TTVO_{2max}/TTT$ ), no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos sesiones aunque sí se observa una tendencia a que fuese más eficiente la sesión con pausa pasiva ( $p = 0,062$ ). No hubo diferencia en la eficiencia conseguida en la sesión respecto al  $TT90\%VO_{2max}/TTT$  ( $p = 0,978$ ). No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre sesiones en el  $TAVO_{2max}$  ni el  $TA90\%VO_{2max}$ .

**Tabla 6.** Resultados de la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con carga CP

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>TTVO<sub>2max</sub> (s)</b>	117(114) <sup>§</sup>	0-295	158(109)	0-290	p = 0,056
<b>TT90%VO<sub>2max</sub> (s)</b>	222 (73)	145-350	230(104)	0-325	p = 0,588
<b>TTVO<sub>2max</sub>/TTT (%)</b>	24(23) <sup>§</sup>	0-61	34(24)	0-67	p = 0,062
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>/TTT (%)</b>	46(26)	0-72	46(20)	0-66	p = 0,978
<b>TAVO<sub>2max</sub> (s)</b>	61(23)	41-105	57(8)	47-70	p = 0,906
<b>TA90%VO<sub>2max</sub> (s)</b>	45(11)	32-6	45(6)	38-6	p = 0,735

TTVO<sub>2max</sub>: tiempo total de trabajo al  $VO_{2max}$ ; TT90%VO<sub>2max</sub>: tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub>; TTVO<sub>2max</sub>/TTT: tiempo total de trabajo al  $VO_{2max}$  relativo al tiempo total de trabajo; TT90%VO<sub>2max</sub>/TTT: tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub> en relación al tiempo total de trabajo; TAVO<sub>2max</sub>: tiempo en alcanzar el  $VO_{2max}$ ; TA90%VO<sub>2max</sub>: tiempo en alcanzar el 90%VO<sub>2max</sub>; DE: desviación estándar; §: tendencia estadísticamente significativa con respecto a la sesión pasiva ( $p < 0,10$ ).

Se presentan en la tabla 7 los valores de los tiempos de trabajo en  $VO_{2max}$  y 90%VO<sub>2max</sub> en cada una de las cargas.

**Tabla 7.** Resultados del estímulo cardiorrespiratorio alcanzado en las sesiones con CP.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
TTVO <sub>2max</sub> .C1 (s)	11(21)	0 – 65	20(26)	0-65
TTVO <sub>2max</sub> .C2 (s)	46(37) <sup>##</sup>	0-90	48(31) <sup>##</sup>	0-85
TTVO <sub>2max</sub> .C3 (s)	28(31)	0-75	44(31)	0-75
TTVO <sub>2max</sub> .C4 (s)	30(39)	0-85	45(31)	0-75
TT90%VO <sub>2max</sub> .C1 (s)	32(35)	0-80	34(35)	0-75
TT90%VO <sub>2max</sub> .C2 (s)	67(35) <sup>##</sup>	0-95	71(25) <sup>##</sup>	0-90
TT90%VO <sub>2max</sub> .C3 (s)	57(33)	0-85	60(30)	0-80
TT90%VO <sub>2max</sub> .C4 (s)	65(34) <sup>##</sup>	0-95	63(31) <sup>##</sup>	0-85

TTVO<sub>2max</sub>.C: tiempo total de trabajo al VO<sub>2max</sub> en la carga; TT90%VO<sub>2max</sub>.C: tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub> en la carga DE: desviación estándar; ## diferencia estadísticamente significativa con respecto a C1 (p < 0,01).

El test de Friedman detectó diferencias significativas en los TTVO<sub>2max</sub> en las cargas dentro de la sesión con pausa activa y pasiva (p = 0,005 y p = 0,002 respectivamente) y en los TT90%VO<sub>2max</sub> dentro de la sesión con pausa activa y pasiva (p < 0,001) (figura 11A y 11B respectivamente). La comparación de esta variable aplicando la prueba de Wilcoxon indicó diferencias estadísticamente significativas dentro de la sesión con pausa activa entre los siguientes momentos de medición:

- TTVO<sub>2max</sub>.C1 y TTVO<sub>2max</sub>.C2 (p = 0,008).
- TT90%VO<sub>2max</sub>.C1 con TT90%VO<sub>2max</sub>.C2 (p = 0,008) y TT90%VO<sub>2max</sub>.C4 (p = 0,008)

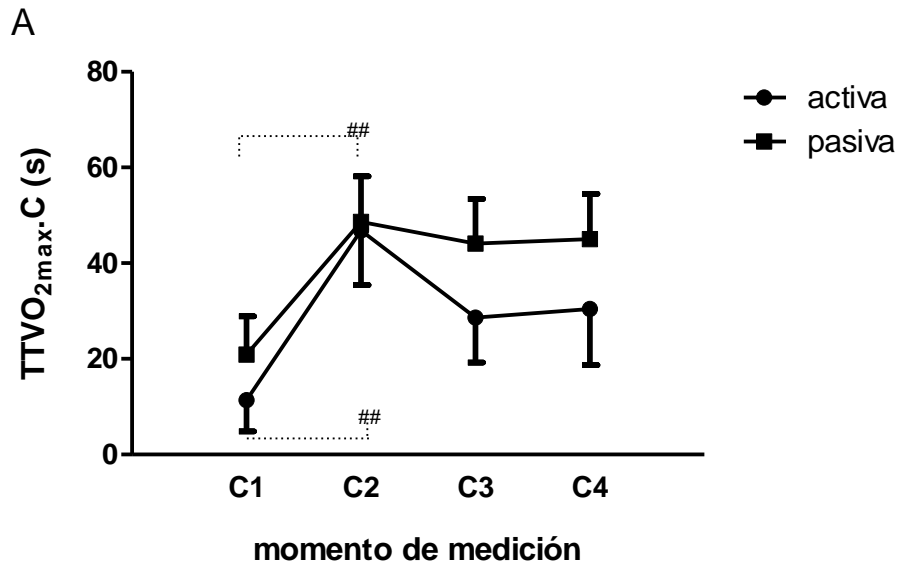
En la sesión con pausa pasiva se encontraron diferencias significativas entre:

- TTVO<sub>2max</sub>.C1 y TTVO<sub>2max</sub>.C2 (p = 0,008).
- TT90%VO<sub>2max</sub>.C1 y TTVO<sub>2max</sub>.C2 (p = 0,005) y TTVO<sub>2max</sub>.C4 (p = 0,008).

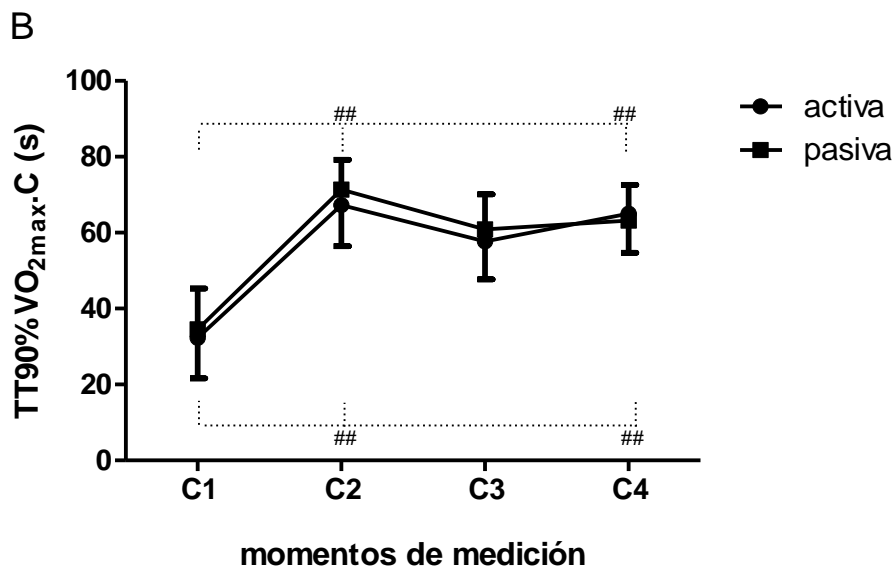
El test de Wilcoxon no reveló diferencias significativas entre ambas sesiones ni en el TTVO<sub>2max</sub> ni TT90%VO<sub>2max</sub> alcanzados en los diferentes momentos de medición.

La prueba t para muestras relacionadas no indicó diferencias estadísticamente significativas en el TT90%VO<sub>2max</sub>.C.sesión (47,81 vs 54,53 s; p = 0,491), aunque el p-valor resultante estuvo próximo a la zona de rechazo de la hipótesis de igualdad de medias en el TTVO<sub>2max</sub>.C.sesión (p = 0,062), siendo los valores medios superiores con pausa pasiva.

Por último, cabe destacar que dos de los participantes no alcanzaron el VO<sub>2max</sub> ni el 90%VO<sub>2max</sub> en ambas sesiones con CP.



## diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )



## diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )

**Figura 11.** Gráficos de los valores registrados de TTVO<sub>2max</sub> (A) y TT90% VO<sub>2max</sub> (B) en las cargas de las sesiones con CP. Para cada variable se representan las medias y los EEM (permitió mejor representación gráfica de los datos).

### 3.6.2.2. Resultados sobre la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con carga preestablecida

A continuación, se muestran los resultados cardiorrespiratorios medios y pico en los diferentes momentos de medición en las sesiones con carga preestablecida (tabla 8).

**Tabla 8.** Valores de los consumos de oxígeno medios y pico alcanzados en diferentes momentos de medición durante las sesiones con CP.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>VO<sub>2m</sub>.C1</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	44,28(5,23)	38,71-58,58	44,06(3,8)	37,32-52,42
<b>VO<sub>2m</sub>.C2</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	52,67(5,55) <sup>##</sup>	47,75-68,36	49,65(4,84) <sup>##</sup>	43,11-61,16
<b>VO<sub>2m</sub>.C3</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	49,78(5,47) <sup>##</sup>	44,75-65,1	48,2(5) <sup>##</sup>	41,06-60,31
<b>VO<sub>2m</sub>.C4</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	51,73(4,55) <sup>###*</sup>	47,05-64,25	48,69(3,93) <sup>##</sup>	44,07-59,09
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C1</b> (%)	77,73(6,28)	67,99-85,86	77,95(7,53)	61,50-88,32
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C2</b> (%)	92,96(5,92) <sup>###*</sup>	83,49- 101,06	88,15( 8,07) <sup>##</sup>	71,05-97,57
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C3</b> (%)	88,06(5,93) <sup>####*</sup>	78,85-95,96	85(6,95) <sup>##</sup>	67,67-91,62
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C4</b> (%)	51,73(4,55) <sup>####*</sup>	47,05-64,25	48,69(3,93) <sup>##</sup>	44,07-59,09
<b>VO<sub>2p</sub>.C1</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	53,37(6,26)	46,83-70,52	54,71(5,73)	49,14-70,01
<b>VO<sub>2p</sub>.C2</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	58,48(6,5) <sup>##</sup>	52,99-77,13	59,84(5,72) <sup>##</sup>	54,60-74,91
<b>VO<sub>2p</sub>.C3</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	88,06(5,93) <sup>##</sup>	78,85-95,96	85(6,95) <sup>##</sup>	67,67-91,62
<b>VO<sub>2p</sub>.C4</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	91,29(5,57) <sup>##††</sup>	81,66-99,37	86,38 (6,2) <sup>##</sup>	72,62-92,7

**Tabla 8.** Valores de los consumos de oxígeno medios y pico alcanzados en diferentes momentos de medición durante las sesiones con CP.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C1</b> (%)	89,11(6,26)	79,32-98,19	91,78(7,32)	79,32-102,6
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C2</b> (%)	98,16( 5,95)	88,98-107,4	100,75(7,73)	85,48-11,26
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C3</b> (%)	96,12(5,85)	86,6-102,26	98,61(8,54)	83,39- 109,31
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C4</b> (%)	94,02(5,06)	85,39- 100,95	98,45(8,25)	84,35- 110,56
<b>VO<sub>2m</sub>.P1</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	43,22(4,55) **	39,77-56,31	24,62(2,49)	21,73-29,4
<b>VO<sub>2m</sub>.P2</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40,22(3,93) **	34,7-50,09	21,96(1,5)	19,31-24,89
<b>VO<sub>2m</sub>.P3</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	43,7(4,34) +***	38,66-55	25,95(1,75) ++	24,3-29,56

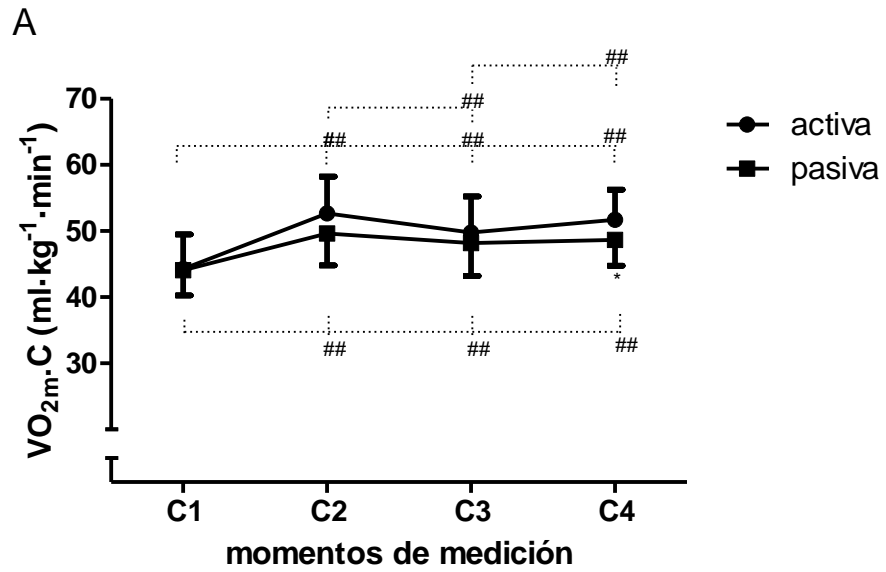
VO<sub>2m</sub>.C: consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas; VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C: valor del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas relativo al VO<sub>2max</sub> del participante; VO<sub>2p</sub>.C: consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas; VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C: valor del consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas relativo al VO<sub>2max</sub> del participante; VO<sub>2m</sub>.P: consumo de oxígeno medio alcanzado en la pausas; DE: desviación estándar; ##: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C1; ++: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C2 (p < 0,01); †: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C3 (p < 0,05); \*:diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva (p < 0,05); \*\*: diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva (p < 0,01)

La prueba de Friedman revela que el VO<sub>2m</sub>.C en la sesiones con pausa activa y pasiva fue diferente en función del momento de medición (p < 0,001). En concreto, la prueba de Wilcoxon revela diferencias significativas entre los VO<sub>2m</sub>.C con pausa activa entre C1 y C2 (p = 0,003), C3 (p = 0,003) y C4 (p = 0,003), entre C2 y C3 (p = 0,005) y entre C3 y C4 (p = 0,006). En la sesión con pausa pasiva, la prueba de Wilcoxon encuentra diferencias significativas entre el VO<sub>2m</sub> de la C1 con C2 (p = 0,003), C3 (p = 0,005) y C4 (p = 0,003) (figura 12A). Finalmente, al comparar los VO<sub>2m</sub>.C entre las sesiones, la

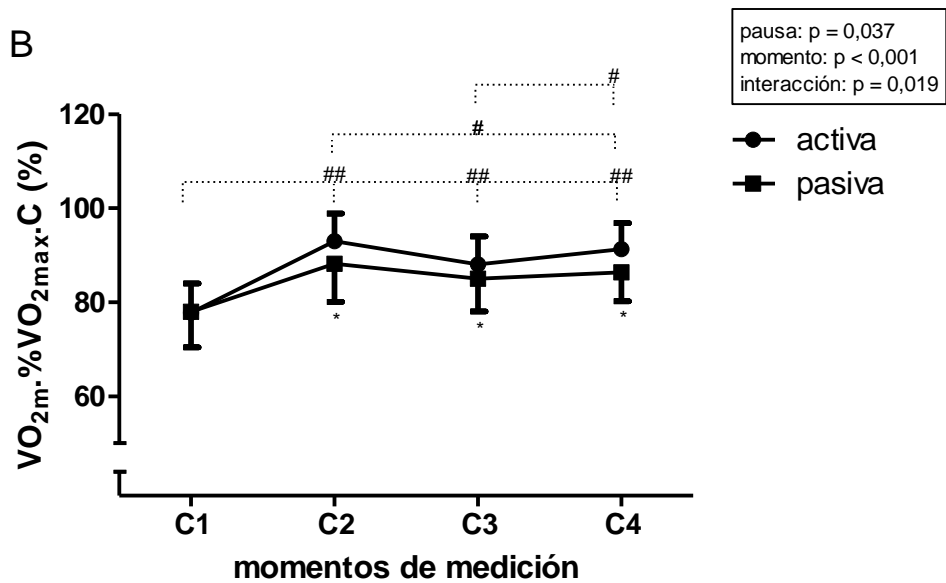


prueba de Wilcoxon detecta que es significativamente superior en la sesión con pausa activa en la C4 ( $p = 0,004$ ).

El ANOVA para el  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  detectó un efecto significativo de la pausa con valores superiores de la pausa activa ( $p = 0,037$ ) y un efecto significativo del momento de medición ( $p < 0,001$ ). En el análisis por pares, el  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  de la C1 fue significativamente inferior a C2, C3 y C4 ( $p < 0,001$ ); el de C2 fue significativamente superior al de C3 ( $p = 0,002$ ) y el de C3 fue significativamente inferior al de C4 ( $p = 0,014$ ). La interacción fue asimismo positiva ( $p = 0,019$ ). Los contrastes por pares demostraron en la sesión activa que el  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  de la C1 fue significativamente inferior a C2, C3 y C4 ( $p < 0,001$ ); que el de C2 fue significativamente superior al de C3 ( $p = 0,001$ ) y que el de C3 fue significativamente inferior al de C4 ( $p = 0,004$ ). En la sesión con pausa pasiva, el  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  en la C1 se mostró significativamente inferior al de C2, C3 y C4 ( $p < 0,001$ ). El análisis de comparación por pares reveló que la sesión con pausa activa generó valores superiores en la C2 ( $p = 0,021$ ), C3 ( $p = 0,039$ ) y C4 ( $p = 0,001$ ) en comparación con la pasiva (figura 12B).



##diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )  
\*diferencia significativa entre sesiones ( $p < 0,05$ )



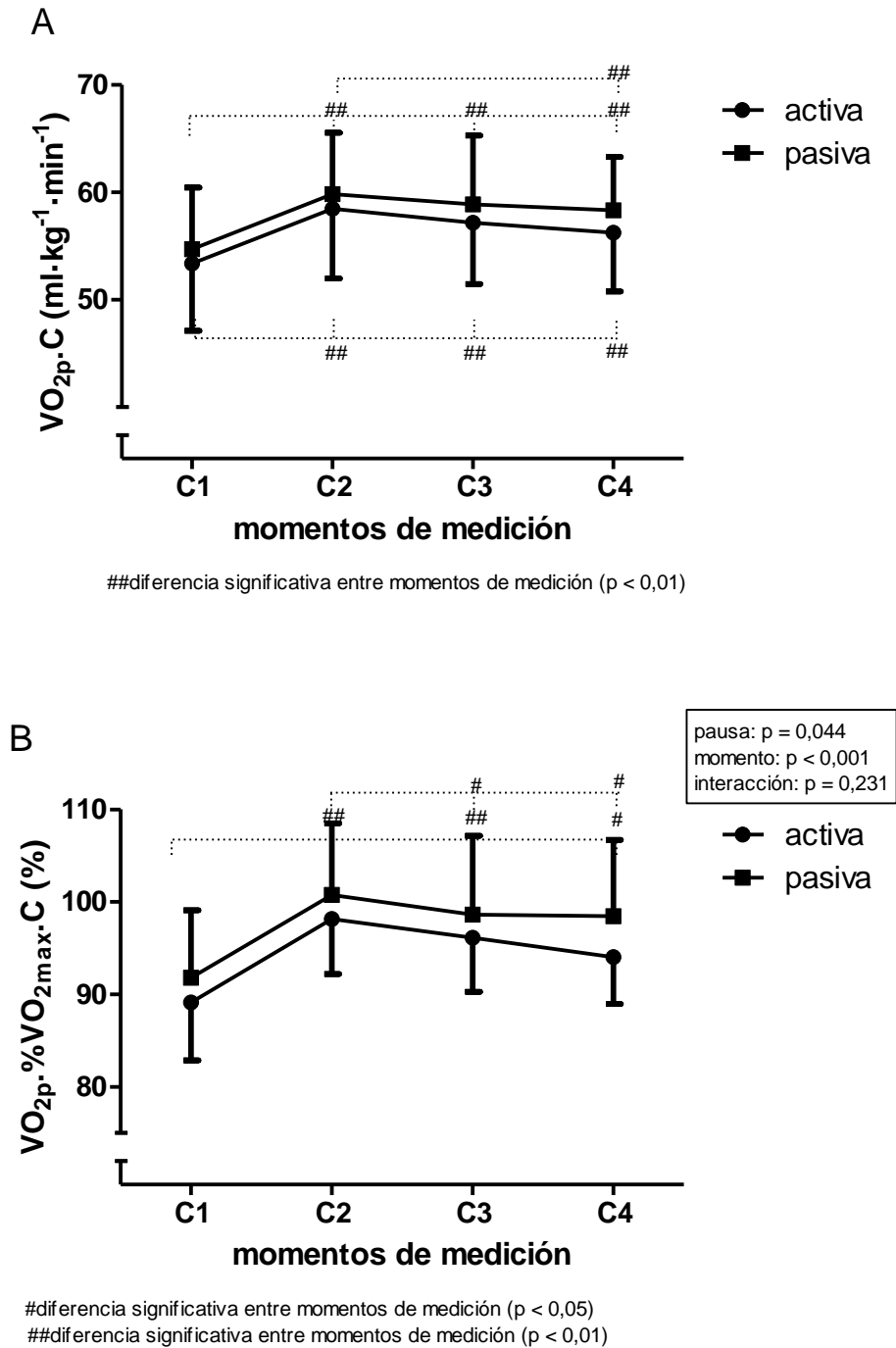
pausa:  $p = 0,037$   
momento:  $p < 0,001$   
interacción:  $p = 0,019$

#diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,05$ )  
## diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )  
\*diferencia significativa entre sesiones ( $p < 0,05$ )

**Figura 12.** Gráfico de los resultados del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas en las dos sesiones con CP en valores absolutos (A) y relativos (B). Para cada variable se representan las medias y DE.

En cuanto a los  $VO_{2p}\cdot C$ , el test de Friedman encontró diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes momentos de medición en la sesión con pausa activa. La prueba de Wilcoxon reveló que el  $VO_{2p}\cdot C$  alcanzado en la C1 fue significativamente inferior al alcanzado en la C2 ( $p = 0,003$ ), C3 ( $p = 0,003$ ) y en la C4 ( $p = 0,006$ ) y que el alcanzado en la C2 fue significativamente inferior al de la C4 ( $p = 0,008$ ). En el caso de la sesión pasiva, la prueba de Friedman indicó que existían diferencias estadísticamente significativas en el  $VO_{2p}\cdot C$  ( $p < 0,001$ ). En concreto, el test de Wilcoxon reveló que el  $VO_{2p}\cdot C$  alcanzado en la C1 fue significativamente inferior con respecto al de la C2 ( $p = 0,003$ ), C3 ( $p = 0,005$ ) y C4 ( $p = 0,003$ ). Sin embargo, la prueba de Wilcoxon no detectó diferencias estadísticamente significativas en el  $VO_{2p}\cdot C$  entre sesiones (figura 13A).

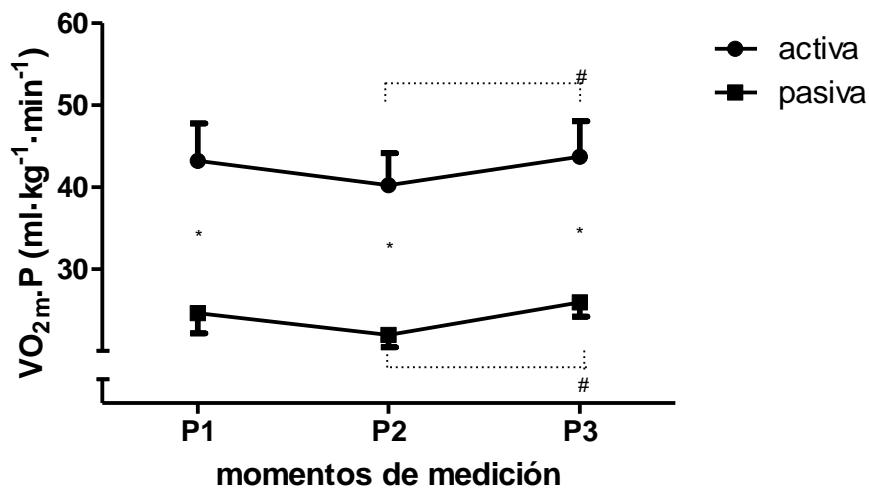
Analizando los  $VO_{2p}\cdot\%VO_{2max}\cdot C$ , el ANOVA indicó que fue superior en la sesión con pausa pasiva en comparación con la activa ( $p = 0,044$ ) y que hubo un efecto significativo para el momento de medición ( $p < 0,001$ ). Los resultados de la comparación por pares en función del momento de medición mostraron que el  $VO_{2p}\cdot\%VO_{2max}\cdot C$  fue significativamente inferior en la C1 que en C2 y C3 ( $p < 0,001$ ) y C4 ( $p = 0,002$ ). Por otro lado, se mostró significativamente superior el  $VO_{2p}\cdot\%VO_{2max}\cdot C$  en la C2 con respecto a la C3 y C4 ( $p = 0,024$ ) (figura 13B). No se halló interacción entre ambos factores ( $p = 0,231$ ).



**Figura 13.** Gráfico de los resultados sobre el consumo de oxígeno pico (A) y resultados del ANOVA para el valor relativo de los consumos de oxígeno pico relativo al VO<sub>2max</sub> del participante (B) en las sesiones con CP. Para cada variable se presentan las medias y DE.

El test de Friedman indicó que existían diferencias estadísticamente significativas en el VO<sub>2m.P</sub> en la sesión con pausa activa (p = 0,001). El test de Wilcoxon reveló que el

VO<sub>2m</sub>.P3 de la sesión con pausa activa fue superior al de la P2 (p = 0,003). En la sesión con pausa pasiva, el test de Friedman detectó diferencias estadísticamente significativas en el VO<sub>2m</sub>.P según el momento de medición (p < 0,001), y el test de Wilcoxon encontró que el VO<sub>2m</sub>.P3 fue superior al de la P2 (p = 0,003) (figura 14). El test de Wilcoxon mostró que el VO<sub>2m</sub>.P fue significativamente superior en la sesión con pausa pasiva en los tres momentos de medición (p = 0,003).



#diferencia significativa entre momentos de medición en una sesión (p < 0,05)  
 \*diferencia significativa entre sesiones (p < 0,05)

**Figura 14.** Gráfico de los resultados sobre el consumo de oxígeno medio alcanzado en las pausas de las sesiones con CP. Para cada variable se presentan las medias y DE.

En la tabla 9, se presentan las medias y DE de los tiempos de trabajo medio que han estado los participantes en VO<sub>2max</sub> o ≥90%VO<sub>2max</sub>, de los consumos de oxígeno medio y pico en las cargas de los entrenamientos con CP.

**Tabla 9.** Resultados generales de la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con CP

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>VO<sub>2m</sub>.C.sesión</b> <b>(ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</b>	47,84(1,92)	44,57- 50,01	47,43(3,57)	41,39- 53,24	p = 0,239
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión</b> <b>(%)</b>	88,35(5,90)**	78,93-91	84,27(6,93)	68,21- 92,45	p = 0,008
<b>VO<sub>2p</sub>.C.sesión</b> <b>(ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</b>	53,47(3,74)*	46,06- 57,17	56,56(3,15)	52,94- 62,01	p = 0,045
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión</b> <b>(%)</b>	94,25(5,53)*	85,26- 101,73	97,39(7,78)	83,13- 108,27	p = 0,047

DE: desviación estándar; \* : diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva (p < 0,05); \*\*: diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva (p < 0,01).

Se encontró que el VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión con pausa activa fue significativamente superior al de la pasiva (p = 0,008) (tabla 9). Sin embargo, fueron el VO<sub>2p</sub>.C.sesión y el VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión con pausa pasiva los que se mostraron estadísticamente superiores (p = 0,045 y p = 0,047 respectivamente).

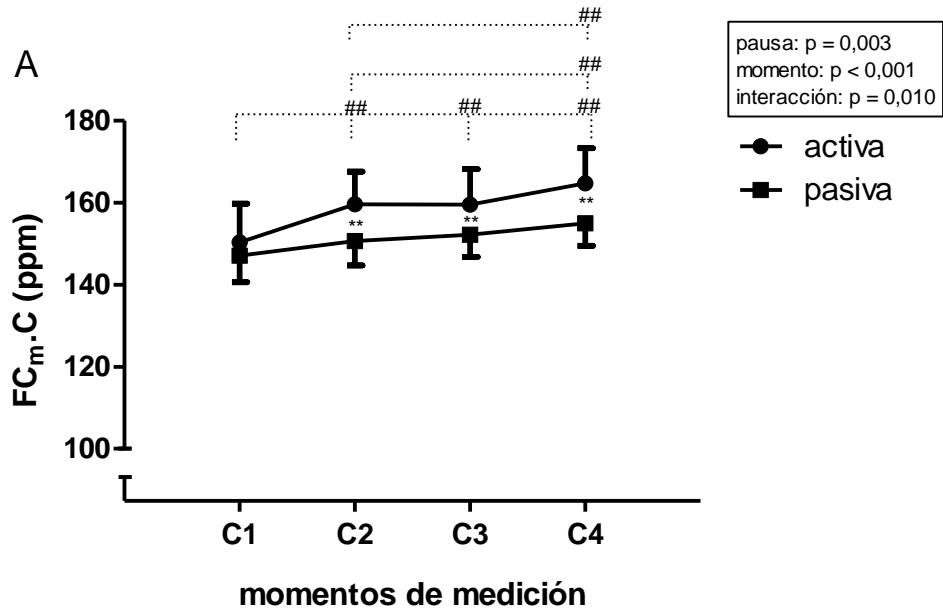
En la tabla 10 se muestran los valores de la respuesta cardíaca en las sesiones con CP tanto con pausa activa como pasiva.

**Tabla 10.** Resultados de la frecuencia cardíaca registrada en las sesiones con carga controlada

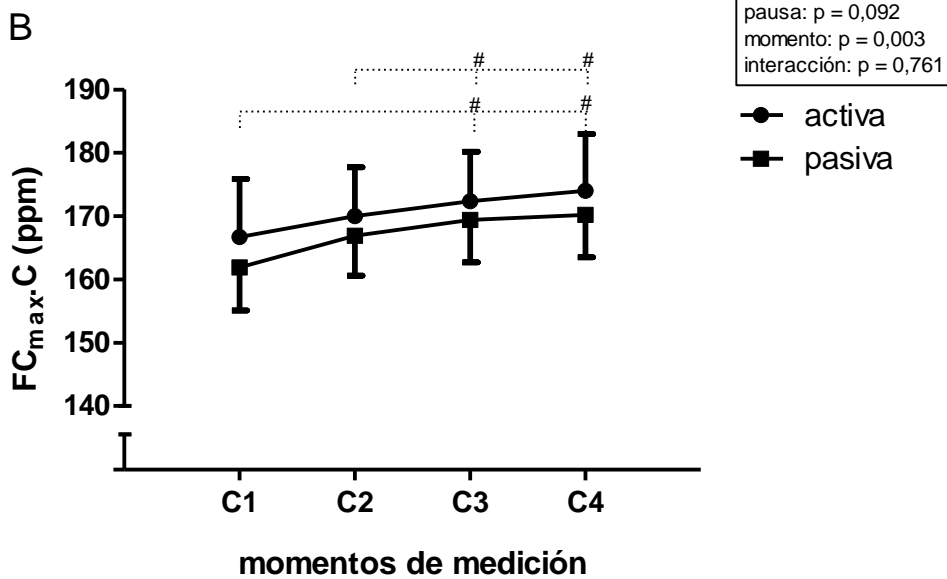
	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>FC<sub>rep</sub> (ppm)</b>	52,97(6,30)	45,12-61,98	55,71(7,23)	47,72-71,25
<b>FC<sub>m</sub>.C1 (ppm)</b>	150,36(9,39)	135,54-162,75	147,08(6,46)	138,5-155,83
<b>FC<sub>m</sub>.C2 (ppm)</b>	159,62(7,94) <sup>***</sup>	147,33-157,83	150,66(5,91) <sup>#</sup>	142,12-160,2
<b>FC<sub>m</sub>.C3 (ppm)</b>	159,54(8,66) <sup>++++</sup>	147,54-178,95	152,21(5,41) <sup>#</sup>	145,75-165,2
<b>FC<sub>m</sub>.C4 (ppm)</b>	164,73(8,56) <sup>+++++</sup>	153,04-183,33	155(5,49) <sup>##</sup>	147-67,16
<b>FC<sub>max</sub>.C1 (ppm)</b>	166,72(9,13)	153-181	161,90(6,8)	152-173
<b>FC<sub>max</sub>.C2 (ppm)</b>	170(7,72)	158-186	166,90(6,29)	157-179
<b>FC<sub>max</sub>.C3 (ppm)</b>	172,36(7,83)	160-190	169,40(6,7)	160-184
<b>FC<sub>max</sub>.C4 (ppm)</b>	174(8,97)	161-192	170,20(6,71)	160-185
<b>FC<sub>m</sub>.P1 (ppm)</b>	140,89(7,63)	128,34-154,13	111,56(8,54)	97,43-123,65
<b>FC<sub>m</sub>.P2 (ppm)</b>	139,56(8,7)	125,68-154,88	110,88(6,95)	98,56-126,13
<b>FC<sub>m</sub>.P3 (ppm)</b>	147,49(10,48)	129,25-164,75	121,51(8,86)	104,6-138,27

FC<sub>rep</sub>: frecuencia cardíaca en reposo; FC<sub>m</sub>.C: frecuencia cardíaca media alcanzada en las cargas; FC<sub>max</sub>.C: frecuencia cardíaca máxima alcanzada en las cargas; FC<sub>m</sub>.P: frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas; DE: desviación estándar; \* diferencia estadística con respecto a pasiva (p<0,05); \*\* diferencia estadística con respecto a pasiva (p<0,01); <sup>§</sup>: tendencia estadística con respecto a la pausa pasiva; #: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C1 (p<0,05); ##: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C1 (p<0,01); ++: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C2 (p<0,01); ††: diferencia estadísticamente significativa con respecto a C3 (p<0,01).

En la figura 15, se muestran los valores de la FC<sub>m</sub>.C (figura 15A) y FC<sub>max</sub>.C (figura 15B) en las sesiones con CP.



#diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,05$ )  
\*\*diferencia significativa entre sesiones ( $p < 0,01$ )



#diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,05$ )

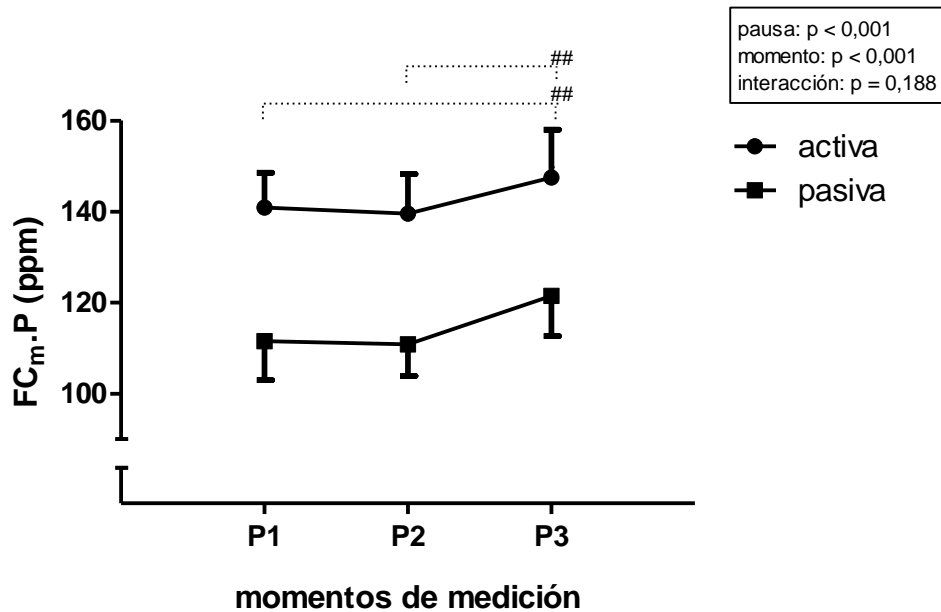
**Figura 15.** Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la frecuencia cardíaca media (A) y máxima (B) alcanzada en las cargas de las sesiones con CP. Para cada variable se representan las medias y DE.



En el análisis de la  $FC_{m,C}$ , el ANOVA encontró efecto significativo para el factor pausa siendo superior en la sesión con pausa activa en comparación con la pasiva (136,55 vs 132,13 p/m respectivamente;  $p = 0,003$ ). Del mismo modo, indicó un efecto significativo para el momento de medición ( $p < 0,001$ ). En el contraste por pares se observó que la  $FC_{m,C}$  de la C1 fue significativamente inferior a la C2 ( $p = 0,005$ ), C3 ( $p = 0,006$ ) y C4 ( $p = 0,003$ ), que la de la C2 fue significativamente inferior a la C4 ( $p = 0,006$ ) y que la de la C3 fue estadísticamente inferior a la de la C4 ( $p = 0,006$ ). La interacción fue asimismo significativa ( $p = 0,010$ ). En el contraste por pares se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las sesiones en función de los momentos de medición. Así, en la sesión con pausa activa, la  $FC_{m,C}$  de la C1 fue significativamente inferior a la de la C2 ( $p = 0,029$ ), C3 ( $p = 0,037$ ) y C4 ( $p = 0,009$ ) y las de la C2 y C3 también lo son con respecto a la C4 ( $p = 0,001$  y  $p = 0,005$  respectivamente). En la sesión con pausa pasiva, las diferencias estadísticamente significativas en la  $FC_{m,C}$  se encontraron entre la C1 y la C2 ( $p = 0,048$ ), C3 ( $p = 0,034$ ) y C4 ( $p = 0,002$ ). Igualmente, se encontraron diferencias significativas en los momentos de medición en función del tipo de pausa. El contraste por pares reveló que la  $FC_{m,C}$  en la sesión con pausa activa fue significativamente superior a la de la pausa pasiva en las C2 ( $p = 0,001$ ), C3 ( $p = 0,002$ ) y C4 ( $p < 0,001$ ) (figura 15A).

Para la  $FC_{max,C}$ , el ANOVA indicó que no resultó diferente en función del tipo de pausa empleado (169,85 y 167,10 p/m respectivamente;  $p = 0,092$ ) aunque sí se mostraron diferencias según el momento de medición ( $p = 0,003$ ). En la comparación por pares, la  $FC_{max,C}$  de la C1 fue significativamente inferior a la de la C3 ( $p = 0,012$ ) y C4 ( $p = 0,006$ ) y la de la C2 fue inferior a la de la C3 y C4 ( $p = 0,001$ ). No se halló interacción entre los dos factores ( $p = 0,761$ ) (figura 15B).

La  $FC_{m,P}$  fue superior en las sesiones con pausa activa en comparación con pasiva (142,65 vs 114,65 respectivamente;  $p < 0,001$ ) y se encontró efecto significativo del momento de medición ( $p < 0,001$ ). Así, en la comparación por pares se encontró que la  $FC_{m,P}$  de la C1 fue significativamente inferior a la de la C3 ( $p < 0,001$ ) y la  $FC_{m,P}$  de la C2 fue inferior a la de la C3 ( $p < 0,001$ ) (figura 16). No se encontró interacción significativa entre los factores ( $p = 0,188$ ).



##diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )

**Figura 16.** Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas en las sesiones con CP. Para cada variable se representan las medias y DE.

La prueba t-student para muestras relacionadas indicó que la  $FC_{m.C.sesión}$ ,  $FC_{max.C.sesión}$  y  $FC_{m.P.sesión}$  fueron superiores con pausa activa en comparación con la pasiva (Tabla 11).

No se detectaron diferencias en la frecuencia cardíaca media en los valores basales entre las dos sesiones.

**Tabla 11.** Valores promedio de la respuesta cardíaca en las sesiones con CP.

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>FC<sub>m</sub>.C.sesión (ppm)</b>	158,56(7,92)**	145,86- 175,21	151,81(5,48)	143,95- 161,78	p < 0,001
<b>FC<sub>max</sub>.C.sesión (ppm)</b>	169,28(3,63)	164,50- 176,50	166,34(4,59)	157,25-172	p = 0,050
<b>FC<sub>m</sub>.P.sesión (ppm)</b>	142,64(8,49)**	127,75- 157,92	114,64(7,53)	199,19- 129,35	p < 0,001

FC<sub>m</sub>.C.sesión: promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las cargas; FC<sub>m</sub>.P.sesión: promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas; \*\*: diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva (p < 0,01).

### 3.6.2.3. Resultados sobre la respuesta metabólica en las sesiones con carga preestablecida

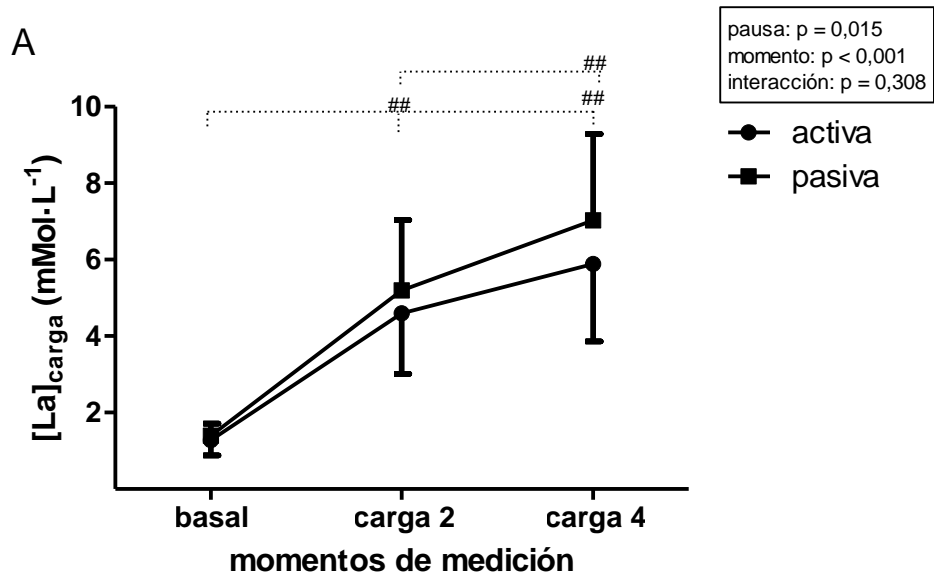
Se muestran los resultados sobre la [La]<sub>s</sub> registrados durante las sesiones con CP en la tabla 12.

**Tabla 12.** Resultados sobre la concentración de ácido láctico en sangre en las sesiones con CP

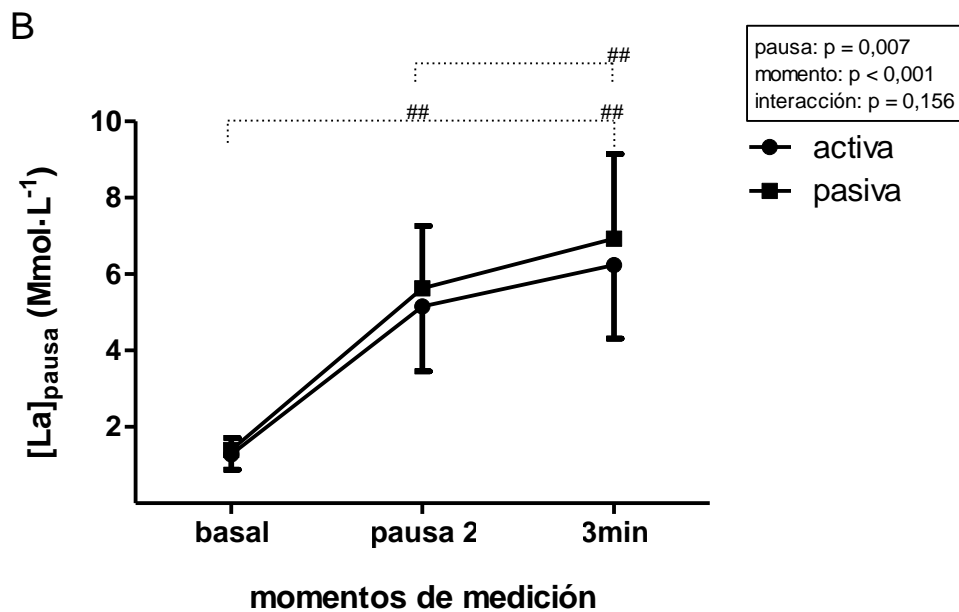
	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
[La] <sub>rep</sub> (mMol·L <sup>-1</sup> )	1,28(0,4)	0,8-1,9	1,4(0,31)	0,9-1,90
[La]C2 (mMol·L <sup>-1</sup> )	4,60(1,59)	2,7-8,9	5,2(1,84)	2,60-8,6
[La]C4 (mMol·L <sup>-1</sup> )	5,89(2,03)	3,7-10,8	7,03(2,26)	4-10,8
[La]P2 (mMol·L <sup>-1</sup> )	5,15(1,7)	2,5-9,1	5,63(1,63)	2,80-8,8
[La]3min (mMol·L <sup>-1</sup> )	6,24(1,93)*	3,3-9,3	6,93(2,22)	3,7-12,2

[La]<sub>rep</sub>: concentración de lactato sanguíneo en reposo; [La]C: concentración de lactato sanguíneo en las cargas; [La]P: concentración de lactato sanguíneo en las pausas; [La]3min: concentración de lactato sanguíneo a los 3 minutos de haber finalizado la sesión; \*: diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva (p < 0,05).

El ANOVA detectó un efecto significativo para el tipo de pausa observando que la [La]<sub>carga</sub> fue significativamente superior en la sesión con pausa pasiva en comparación con la activa (4,32 y 3,93 mMol·L<sup>-1</sup> respectivamente; p = 0,015) (figura 17A). En el análisis de comparación por pares se encontró que la [La]<sub>carga</sub> aumentó de forma significativa en la C2 y C4 con respecto a las mediciones basales (p < 0,001) y que la [La]<sub>s</sub> en la C4 fue superior a la de la C2 (p < 0,001). No se halló efecto en la interacción momento x pausa (p = 0,308).



## diferencia significativa entre momentos de medición (p < 0,01)



#diferencia significativa entre momentos de medición (p < 0,05)  
##diferencia significativa entre momentos de medición (p < 0,01)

**Figura 17.** Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la concentración de lactato sanguíneo alcanzada en las mediciones en reposo y en las cargas (A) y en las pausas (B) en las sesiones con CP. Para cada variable se representan las medias y DE.

En cuanto a la  $[La]_{\text{pausas}}$ , el ANOVA detectó efecto significativo del tipo de pausa, siendo superior en la sesión con pausa pasiva en comparación con la activa (4,66 y 4,22  $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente;  $p = 0,007$ ) y un efecto significativo del momento de medición ( $p < 0,001$ ). En la comparación por pares, se observó que  $[La]_{\text{P2}}$  y la  $[La]_{\text{3min}}$  fueron significativamente superiores a las mediciones en reposo ( $p < 0,001$ ) y que la  $[La]_{\text{3min}}$  fue significativamente superior a la alcanzada en la P2 ( $p = 0,002$ ). No se encontró interacción entre los dos factores ( $p = 0,156$ ) (figura 17B).

Por otro lado, tanto los valores promedio de la  $[La]_{\text{carga}}$  como los  $[La]_{\text{pausa}}$  fueron superiores con pausa activa ( $p = 0,010$  y  $p = 0,007$  respectivamente). No se encontró diferencia en la capacidad de remoción de lactato sanguíneo entre la pausa activa y la pasiva (-0,3650 y -0,4745  $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente;  $p = 0,657$ ) (tabla 13).

**Tabla 13.** Valores promedio de la concentración de lactato sanguíneo registradas durante las sesiones con CP

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
$[La]_{\text{carga}}\cdot\text{sesión}$ ( $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	5,33(1,72)**	3,20-9,45	5,91(1,7)	3,30-9,35	$p = 0,010$
$[La]_{\text{pausa}}\cdot\text{sesión}$ ( $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	5,72(1,88)**	2,90-9,20	6,39(2,01)	3,25-10,5	$p = 0,007$
Diff $[La]\cdot\text{sesión}$ ( $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	-0,38(0,62)	-1,20-0,30	-0,47(0,57)	-1,20-0,10	$p = 0,657$

$[La]_{\text{carga}}\cdot\text{sesión}$ : concentración de lactato sanguíneo promedio alcanzado en las cargas;  $[La]_{\text{pausa}}\cdot\text{sesión}$ : concentración de lactato sanguíneo promedio alcanzado en las pausas; Diff $[La]\cdot\text{sesión}$ : diferencia promedio en la concentración de lactato sanguíneo entre la carga y la pausa en la sesión; DE: desviación estándar; \*\*: diferencia estadísticamente significativa con respecto a pausa pasiva ( $p < 0,01$ ).

### 3.6.2.4. Resultados sobre la capacidad de salto vertical en las sesiones con carga preestablecida

En la tabla 14 se muestran los valores obtenidos de las diferentes variables de la respuesta neuromuscular analizadas durante las sesiones con CP.

**Tabla 14.** Resultados sobre la respuesta neuromuscular en las cargas de las sesiones con carga controlada

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>h<sub>max</sub>•pretest (cm)</b>	25,37(5,06)	18,2-36,1	25,71(3,3)	21,7-30,8
<b>h<sub>max</sub>•C1 (cm)</b>	26,95(4,66)	21,3-36,6	26,28(3,07)	22,4-30
<b>h<sub>max</sub>•C2 (cm)</b>	27,95(5,03)	19,5-35,8	26,03(3,67)	21,2-31,8
<b>h<sub>max</sub>•C3 (cm)</b>	25,69(3,44)	20,1-30,1	27,31(3,81)	21,7-35,7
<b>h<sub>max</sub>•C4 (cm)</b>	27,20(4,37)	21-36,6	27,42(3,27)	22,7-32,8
<b>h<sub>media</sub>•pretest (cm)</b>	23,32(3,99)	17,46-31,16	23,98(2,93)	19,82-28,34
<b>h<sub>media</sub>•C1 (cm)</b>	23,63(2,96)	19,66-27,58	24,35(2,62)	20,02-27,7
<b>h<sub>media</sub>•C2 (cm)</b>	24,67(3,39)	18,94-29,22	24,81(3,29)	18,88-29,58
<b>h<sub>media</sub>•C3 (cm)</b>	24,59(3,23)	19,56-29	24,79(2,76)	19,66-29,34
<b>h<sub>media</sub>•C4 (cm)</b>	25,06(3,24)	19,44-30,8	25,45(3,22)	20,78-31,2
<b>F<sub>pico</sub>•pretest (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,90(2,54)	19,17-26,14	21,60(2,18)	18,44-24,36
<b>F<sub>pico</sub>•C1 (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,81(2,03)	18,9-25,42	21,67(1,45)	19,03-23,57
<b>F<sub>pico</sub>•C2 (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	22,29(1,98)	20,23-25,1	21,82(1,64)	19,64-24,25
<b>F<sub>pico</sub>•C3 (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,94(1,9)	19,19-25,02	21,49(1,76)	18,82-24,53
<b>F<sub>pico</sub>•C4 (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	22,09(1,97)	19,4-25,08	21,76(1,57)	19,51-23,84
<b>P<sub>pico</sub>•pretest (W•kg<sup>-1</sup>)</b>	39,13(5,62)	31,93-51,75	39,63(5,21)	33,3-49,32

**Tabla 14.** Resultados sobre la respuesta neuromuscular en las cargas de las sesiones con carga controlada

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>P<sub>pico</sub>.C1</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	40,25(4,9)	32,73-51,46	40,29(3,61)	33,7-44,88
<b>P<sub>pico</sub>.C2</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	42,04(5,26)	33,91-53,12	40(6,44)	27-47,99
<b>P<sub>pico</sub>.C3</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	41,55(5,16)	34,14-52,79	40,83(3,78)	34,19-46,44
<b>P<sub>pico</sub>.C4</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	42,02(5,32)	34,57-54,05	40,83(4,73)	33,1-47,62
<b>Stiff.pretest</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	68,02(17,65)	44,92-104,53	71,73(22,79)	42,77-118,61
<b>Stiff.C1</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	73,71(14,82)	49,83-93,04	73,5(15,49)	52,54-106,09
<b>Stiff.C2</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	77,11(16,32)	53,89-105,57	73,82(17,15)	49,97-106,71
<b>Stiff.C3</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	73,01(11,74)	58,32-94,27	72,05(16,64)	54,6-107,82
<b>Stiff.C4</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	72,68(13,21)	56,52-97,75	71,46(14,8)	55,94-105,17

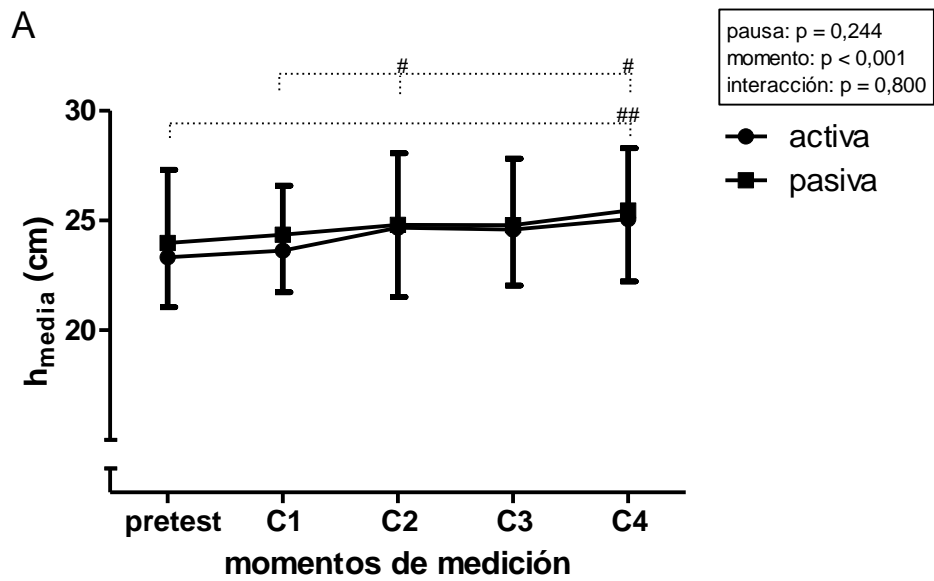
$h_{max}$ : altura máxima alcanzada en una serie de 5CMJ;  $h_{media}$ : altura media alcanzada en los 5CMJ;  $F_{pico}$ : fuerza pico media alcanzada en la fase concéntrica en una serie de 5CMJ;  $P_{pico}$ : potencia pico media alcanzada en la fase concéntrica en una serie de 5CMJ; Stiff: stiffness en una serie de 5CMJ.

El ANOVA detectó un efecto significativo del momento de medición ( $p < 0,001$ ) para la  $h_{media}$  aunque ésta no dependió del tipo de pausa ( $p = 0,244$ ) (figura 18A). En la comparación por pares, la  $h_{media}$  alcanzada en la C1 fue significativamente inferior a la alcanzada en la C2 ( $p = 0,038$ ) y C4 ( $p = 0,041$ ) y la de la C4 fue significativamente superior en comparación con la alcanzada en el pretest ( $p = 0,003$ ). Por último, se observó una tendencia a que la  $h_{media}$  C4 fuese también superior respecto a la de la C3 ( $p = 0,067$ ). No se halló efecto de la interacción entre los dos factores ( $p = 0,800$ ).

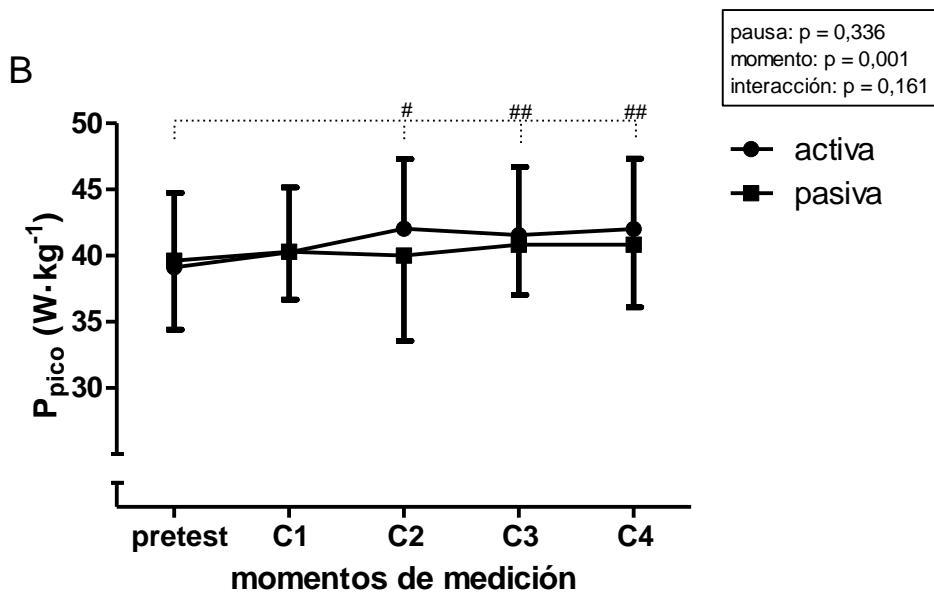


La  $P_{\text{pico}}$  generada en la fase concéntrica durante el test de saltos en las sesiones con CP fue independiente del tipo de pausa ( $p = 0,336$ ) pero variaba en función del momento de medición ( $p = 0,001$ ). De tal manera que la  $P_{\text{pico}}$  registrada en la C2 ( $p = 0,011$ ), C3 ( $p = 0,008$ ) y C4 ( $p = 0,001$ ) fueron significativamente superiores a la registrada en el pretest (figura 18B). No se halló efecto de la interacción entre los dos factores ( $p = 0,161$ ).

Respecto a la Stiff, sólo se halló un efecto significativo del factor momento ( $p = 0,031$ ). El contraste por pares encontró una tendencia estadística a que el Stiff de la C2 fuese superior a la de la C4 ( $p = 0,056$ ). Ni el efecto de la pausa ( $p = 0,928$ ) ni de la interacción momento x pausa ( $p = 0,807$ ) resultaron estadísticamente significativos.



#diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,05$ )  
##diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )



#diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,05$ )  
##diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )

**Figura 18.** Gráfico de los resultados del ANOVA del análisis de la altura media (A) y potencia pico (B) en 5CMJ en las sesiones con CP. Para cada variable se representan las medias y DE.

En la tabla 15 se resumen los valores promedios de toda la sesión de las variables empleadas para analizar la capacidad de salto vertical. El análisis de t-student para muestras relacionadas no encuentra diferencias estadísticamente significativas entre las distintas variables en función del tipo de pausa.

**Tabla 15.** Valores promedio de la capacidad de salto vertical en las sesiones con CP.

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b><math>h_{\text{max}}\cdot\text{sesión}</math> (cm)</b>	26,55(3,77)	21,27-31,15	25,50(3,61)	18,82-28,90	p = 0,169
<b><math>h_{\text{media}}\cdot\text{sesión}</math> (cm)</b>	24,04(3,02)	19,50-28,25	23,70(2,61)	19,83-27,55	p = 0,705
<b><math>F_{\text{pico}}\cdot\text{sesión}</math> (N·kg<sup>-1</sup>)</b>	21,94(1,63)	20,02-24,73	21,76(2,08)	19,96-23,83	p = 0,558
<b><math>P_{\text{pico}}\cdot\text{sesión}</math> (W·kg<sup>-1</sup>)</b>	40,73(3,70)	33,83-45,15	39,74(4,34)	33,38-45,10	p = 0,394
<b>Stiff.sesión (N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	75,20(14,48)	58,60-98,90	83,02(43,74)	59,16-196,44	p = 0,522

$h_{\text{max}}\cdot\text{sesión}$ : promedio de la altura máxima alcanzada en las series de 5CMJ en la sesión;  $h_{\text{media}}\cdot\text{sesión}$ : promedio de la altura media alcanzada en las series de 5CMJ en la sesión;  $F_{\text{pico}}\cdot\text{sesión}$ : promedio de la fuerza pico alcanzada en la fase concéntrica en los 5CMJ de la sesión;  $P_{\text{pico}}\cdot\text{sesión}$ : promedio de la potencia pico alcanzada en la fase concéntrica en los 5CMJ de la sesión; Stiff.sesión: promedio del stiffness registrado en las series de 5CMJ en la sesión; DE: desviación estándar.

### 3.6.3. Sesiones de entrenamiento interválico con carga hasta la extenuación

#### 3.6.3.1. Resultados sobre el rendimiento en las sesiones con carga hasta la extenuación

El test de Shapiro-Wilk permitió aceptar la hipótesis de normalidad para las variables de las sesiones con recuperación activa ( $p > 0,05$ ) excepto el  $TTVO_{2max}$  de las cargas asociadas al 40% y 80% del TTE y el  $TT90\%VO_{2max}$  de las cargas asociadas al 40%, 80% y 100% del TTE.

En la sesión con recuperación pasiva, las hipótesis de normalidad fue rechazada para el  $TTVO_{2max}$  en la carga asociada al 80% y 100% del TTE y para el  $TT90\%VO_{2max}$  de las cargas asociadas al 20%, 40% y 100% del TTE.

Los valores promedio de los tiempos de trabajo total al  $VO_{2max}$  o al  $90\%VO_{2max}$  se recogen en la tabla 16.

La prueba t-student no detecta diferencias estadísticamente significativas entre TTE ni entre los  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  entre las dos sesiones. Del mismo modo, las dos sesiones se muestran similares en cuestión de eficiencia en el estímulo cardiorrespiratorio en relación al porcentaje que supone el tiempo de trabajo en  $VO_{2max}$  ( $\geq 95\%VO_{2max}$ ) o en niveles próximos a él ( $90\%VO_{2max}$ ) con respecto al TTE. El  $TAVO_{2max}$  y  $TA90\%VO_{2max}$  no fueron diferentes estadísticamente ( $p = 0,186$  y  $p = 0,176$  respectivamente). Tampoco se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las  $Dlim$  de cada sesión.

**Tabla 16.** Resultados de la respuesta cardiorrespiratoria y rendimiento en las sesiones con CE

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>TTE (s)</b>	1429(406)	840-2040	1608(367)	1200-2280	p = 0,113
<b>Dlim (m)</b>	7302(2306)	4433-11333	8214(1920)	6000-11400	p = 0,093
<b>TTVO<sub>2max</sub> (s)</b>	456(350)	0-1105	356(343)	0-795	p = 0,907
<b>TT90%VO<sub>2max</sub> (s)</b>	763(409)	130-1230	666(414)	25-1205	p = 0,829
<b>TTVO<sub>2max</sub>/TTE (%)</b>	33(26)	0-65	22(21)	0-52	p = 0,565
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>/TTE (%)</b>	52(23)	9-74	40(24)	1-63	p = 0,393
<b>TAVO<sub>2max</sub> (s)</b>	53(11)	40-75	65(17)	32-82	p = 0,186
<b>TA90%VO<sub>2max</sub> (s)</b>	46(16)	47-93	58(19)	39-95	p = 0,176

TTE: tiempo total de trabajo; TTVO<sub>2max</sub>: tiempo total de trabajo al VO<sub>2max</sub>; TT90%VO<sub>2max</sub>: tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub>; TTVO<sub>2max</sub>/TTE: tiempo total de trabajo al VO<sub>2max</sub> relativo al tiempo total de trabajo; TT90%VO<sub>2max</sub>/TTE: tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub> en relación al tiempo total de trabajo; TAVO<sub>2max</sub>: tiempo en alcanzar el VO<sub>2max</sub>; TA90%VO<sub>2max</sub>: tiempo en alcanzar el 90%VO<sub>2max</sub>; DE: desviación estándar.

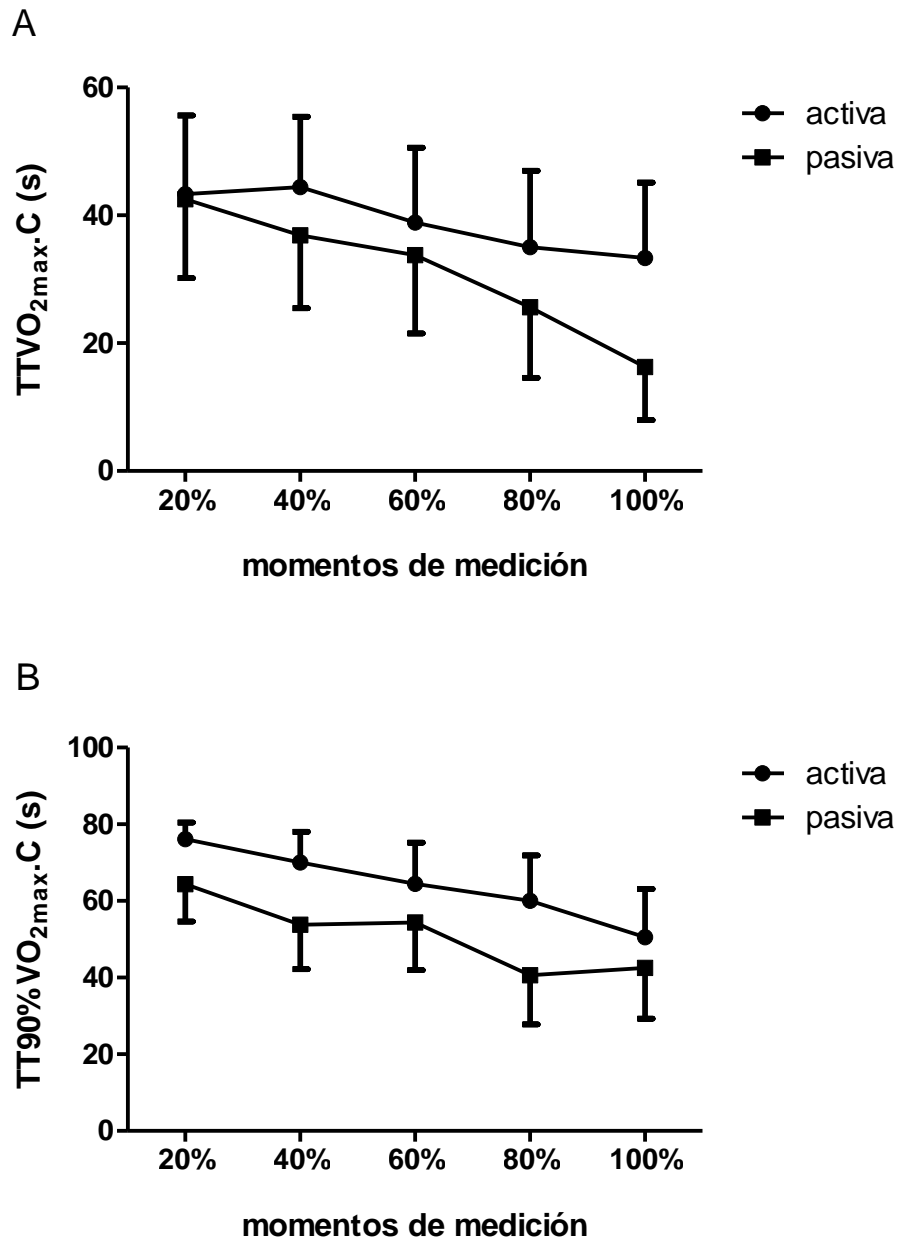
En la tabla 17 se presentan los valores de los tiempos de trabajo en VO<sub>2max</sub> y 90%VO<sub>2max</sub> en cada una de las cargas de cada sesión.

**Tabla 17.** Valores de la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con CE.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C20% (s)</b>	43(36)	0-90	42(34)	0-80
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C40% (s)</b>	44(33)	0-80	36(32)	0-75
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C60% (s)</b>	38(35)	0-85	33(34)	0-75
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C80% (s)</b>	35(35)	0-90	25(31)	0-80
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C100% (s)</b>	33(35)	0-85	16(23)	0-55
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C20% (s)</b>	76(12)	55-95	64(27)	0-85
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C40% (s)</b>	70(24)	15-85	53(32)	5-80
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C60% (s)</b>	64(32)	0-95	54(35)	0-85
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C80% (s)</b>	60(35)	0-95	40(36)	0-80
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C100% (s)</b>	50(37)	0-90	42(37)	0-80

TTVO<sub>2max</sub>.C: tiempo total de trabajo al VO<sub>2max</sub> en la carga; TT90%VO<sub>2max</sub>.C: tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub> en la carga; DE: desviación estándar.

El test de Friedman no halló diferencias significativas en los TTVO<sub>2max</sub>.C ni en los TT90%VO<sub>2max</sub>.C en la sesión con pausa activa ( $p = 0,326$  y  $p = 0,238$ , respectivamente) (figura 19A y 19B respectivamente). El test de Friedman detectó diferencias significativas en TTVO<sub>2max</sub>.C en la sesión con pausa pasiva ( $p = 0,008$ ) aunque la prueba de Wilcoxon no mostró diferencias estadísticas entre los diferentes momentos de medición. El test de Friedman no reveló diferencias en el TT90%VO<sub>2max</sub>.C en la sesión con pausa pasiva. Por último, el test de Wilcoxon no detectó diferencias estadísticamente significativas entre sesiones en TTVO<sub>2max</sub>.C ni TT90%VO<sub>2max</sub>.C.



**Figura 19.** Gráfico de los resultados sobre el tiempo total de trabajo al  $VO_{2max}$  (A) y  $90\%VO_{2max}$  (B) en cada carga en las sesiones con CE. Se muestran los valores de media y EEM para cada variable (permitió mejor representación gráfica de los datos)

La prueba t para muestras relacionadas no indicó diferencias estadísticamente significativas en el  $TTVO_{2max}\cdot C$ .sesión (32,37 vs 31 s;  $p = 0,927$ ) ni  $TT90\%VO_{2max}\cdot C$ .sesión (61,12 vs 50,317 s;  $p = 0,440$ ).

Por último, cabe destacar que un participante no alcanzó el  $VO_{2max}$  en la sesión con pausa activa y dos no lo hicieron con recuperación pasiva en los entrenamientos con CE. En este caso, fueron los mismos participantes que no lo lograron en las sesiones con CP.

### 3.6.3.2. Resultados sobre la respuesta cardiorrespiratoria en las sesiones con carga hasta la extenuación

Los valores promedio y pico de los consumos de oxígeno en las sesiones con CE se muestran en la tabla 18.

**Tabla 18.** Valores de la respuesta cardiorrespiratoria en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
$VO_{2m}\cdot C20\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	51,14(3,59)	44,92-56,87	48,19(2,14)	44,50 -51,74
$VO_{2m}\cdot C40\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	50,58(2,12)	47-53,06	47,83(2,25)	43,60 -50,15
$VO_{2m}\cdot C60\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	50(2,90)	45,92-54,47	47,25(2,25)	43,60-50,15
$VO_{2m}\cdot C80\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	48,16(5,15)	36,11-53,14	46,19(1,37)	44,08-48,69
$VO_{2m}\cdot C100\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	47,42(5,48)	34,50-53,36	46,83(2,2)	43,55-49,87
$VO_{2m}\cdot \%VO_{2max}\cdot C20\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	93,26(6,48)	83,66-104,37	87,63(5,76)	77,62-95,12
$VO_{2m}\cdot \%VO_{2max}\cdot C40\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	92,88(2,86)	86,79-95,29	86,63(4,61)	80,64-92,6
$VO_{2m}\cdot \%VO_{2max}\cdot C60\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	90,12(5,48)	79,29-95,43	85,69(6,75)	74,37-93,7
$VO_{2m}\cdot \%VO_{2max}\cdot C80\%$ ( $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ )	86,76(11,79)	59,51-96,27	82,94(5,89)	74,19-89,9



**Tabla 18.** Valores de la respuesta cardiorrespiratoria en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación.

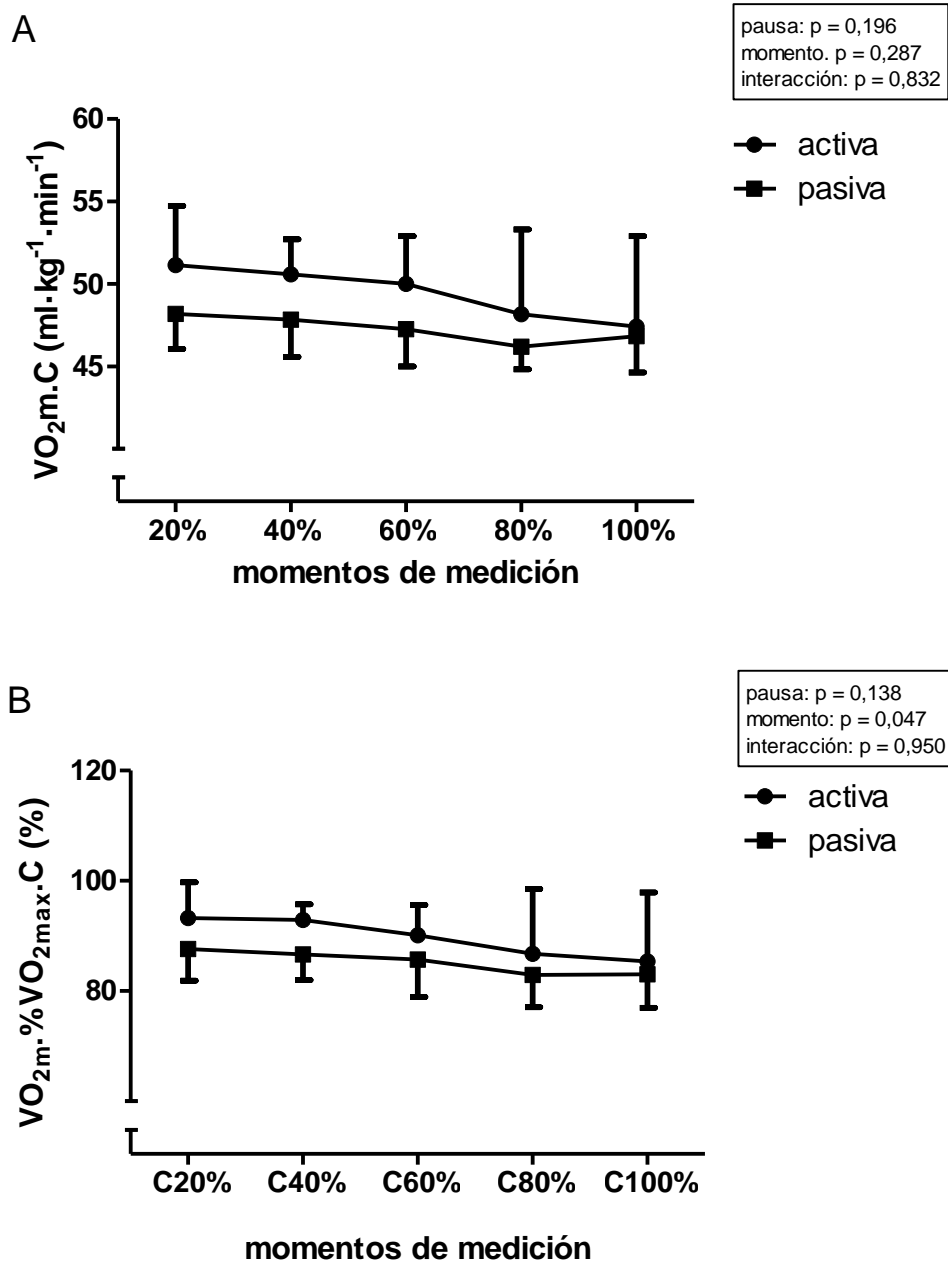
	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C100%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	85,39(12,5)	56,86-96,87	83,03(6,07)	70,6-89,35
<b>VO<sub>2p</sub>.C20%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	57,92(3,94)	53,05-64,53	57,29(2,71)	54,58-62,64
<b>VO<sub>2p</sub>.C40%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	56,63(2,29)	53,38-60,11	57,32(3,35)	51,56-62,32
<b>VO<sub>2p</sub>.C60%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	56,49(3,11)	51,15-60,88	55,96(3,06)	50,10-59,93
<b>VO<sub>2p</sub>.C80%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	54,06(5,15)	42,68 -59,38	54,9(2,53)	51,42-60,04
<b>VO<sub>2p</sub>.C100%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	53,48(6,05)	40,2-60,3	54,15(2,49)	50,79-57,95
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C20%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	99,81(5,14)	93,86-106,42	98,72(6,83)	87,62-109,38
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C40%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	97,55(3,03)	93,75-102,12	98,64(6,35)	90,65-109,32
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C60%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	97,12(4,28)	89,73-101,85	95,82(6,56)	84,83-105,13
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C80%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	92,88(11,57)	66,81-102,93	94,18(6,71)	85,6-105,32
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C100%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	91,69(12,81)	62,92-102,11	91,95(4,97)	82,42-98,51
<b>VO<sub>2m</sub>.P20%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	51,14(3,59)	44,92-56,87	23,32(2,35)	19,84-27,52
<b>VO<sub>2m</sub>.P40%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	50,58(2,12)	47-53,06	23,42(2,52)	20,27-26,92
<b>VO<sub>2m</sub>.P60%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	50(2,9)	45,92-54,47	23,01(2,36)	19-26,18
<b>VO<sub>2m</sub>.P80%</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	48,16(5,15)	36,11-53,14	23,77(2,68)	19,22-27,5

**Tabla 18.** Valores de la respuesta cardiorrespiratoria en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>VO<sub>2m</sub>.P100%</b> <b>(ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</b>	47,42(5,48)	34,5-53,36	24,43(2,3)	21,74-27,56

VO<sub>2m</sub>.C: consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas; VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C: valor del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas relativo al VO<sub>2max</sub> del participante; VO<sub>2p</sub>.C: consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas; VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C: valor del consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas relativo al VO<sub>2max</sub> del participante; VO<sub>2m</sub>.P: consumo de oxígeno medio alcanzado en las pausas; DE: desviación estándar.

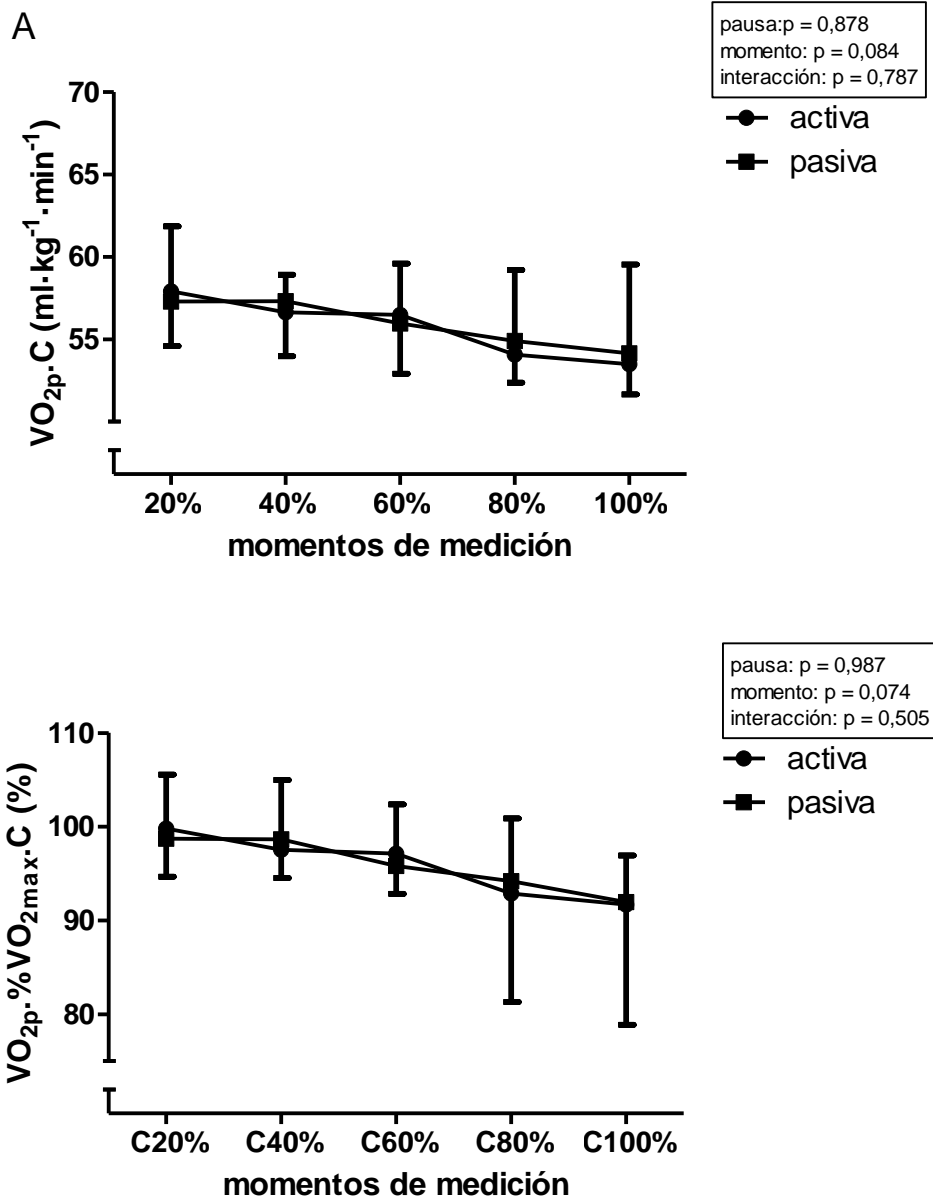
El ANOVA 2x5 no detectó efecto estadísticamente significativo de la pausa en el VO<sub>2m</sub>.C (p = 0,196), del momento de medición (p = 0,287) ni efecto de interacción entre ambos (figura 20A). En cuanto al VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C, se observaron diferencias significativas en función del momento de medición (p = 0,047) aunque en el contraste por pares no se encontraron diferencias estadísticas tal vez por lo conservador del ajuste de Bonferroni (figura 20B). No se hallaron efectos significativos del factor pausa ni interacción entre ellos (p = 0,138 y p = 0,950 respectivamente).



**Figura 20.** Gráfico del consumo de oxígeno medio alcanzado (A) y el porcentaje que supone con respecto al VO<sub>2max</sub> de cada participante (B) en las cargas en las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

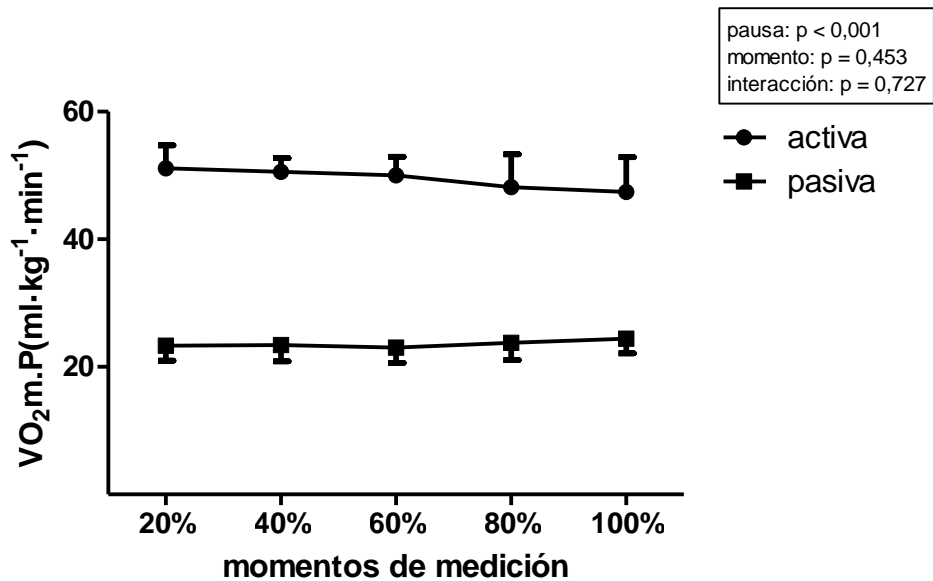
En cuanto al VO<sub>2p.C</sub> no se encontraron diferencias estadísticamente significativas debido al factor pausa (p = 0,878), al factor momento de medición (p = 0,084) ni interacción entre ambos (p = 0,787) (figura 21A). El VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub> no se mostró

significativamente diferente ni en función del tipo de pausa ( $p = 0,987$ ) ni por el momento de medición ( $p = 0,505$ ), tampoco encontrando ni interacción entre ambos factores ( $p = 0,506$ ) (figura 21B) .



**Figura 21.** Gráfico del consumo de oxígeno pico alcanzado (A) y el porcentaje que supone con respecto al VO<sub>2max</sub> de cada participante (B) en las cargas en las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

Por último, el  $VO_{2m.P}$  resultó significativamente superior en la sesión con pausa activa ( $p < 0,001$ ) sin variar en función del momento de medición ( $p = 0,453$ ) (figura 22).



**Figura 22.** Gráfico con los resultados ANOVA sobre el consumo de oxígeno medio alcanzado en las pausas en las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

En la tabla 19 se presentan los valores promedio del tiempo que han estado los participantes en  $VO_{2max}$  y al  $\geq 90\%VO_{2max}$  así como los valores promedio de los consumos de oxígeno medio y pico en la carga durante las sesiones realizadas con CE. Los resultados de la prueba t-student indicaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables.

**Tabla 19.** Resultados generales sobre la respuesta cardiorrespiratorio en las sesiones con carga hasta la extenuación

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>TTVO<sub>2max</sub>.C.sesión</b> (s)	32,37(28,77)	0-72	31(29,69)	0-71	p = 0,927
<b>TT90%VO<sub>2max</sub>.C.sesión</b> (s)	61,12(26,15)	19-84	50,37(30,44)	4-81	p = 0,440
<b>VO<sub>2m</sub>.C.sesión</b> (ml·min·kg <sup>-1</sup> )	49,26(2,94)	44,87- 53,43	46,97(2,16)	43,12- 49,24	p = 0,186
<b>VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión</b> (%)	89,34(7,04)	73,95- 96,43	85,13(5,42)	76,87- 90,72	p = 0,173
<b>VO<sub>2p</sub>.C.sesión</b> (ml·min·kg <sup>-1</sup> )	55,65(3,22)	51,46- 60,56	54,27(4,86)	45,86- 59,09	p = 0,583
<b>VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión</b> (%)	95,84(6,62)	82,25- 101,89	96,05(5,95)	87,62- 103,65	p = 0,944

TTVO<sub>2max</sub>.C.sesión: promedio del tiempo total de trabajo al VO<sub>2max</sub> en las cargas; TT90%VO<sub>2max</sub>.C.sesión: promedio del tiempo total de trabajo al 90%VO<sub>2max</sub> en las cargas; VO<sub>2m</sub>.C.sesión: promedio del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas; VO<sub>2m</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión: promedio del valor relativo del consumo de oxígeno medio alcanzado en las cargas con respecto al VO<sub>2max</sub> del participante; VO<sub>2p</sub>.C.sesión: promedio del consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas; VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión: promedio del valor relativo del consumo de oxígeno pico alcanzado en las cargas con respecto al VO<sub>2max</sub> del participante; DE: desviación estándar.

En la tabla 20 se muestran los resultados de la respuesta cardíaca en las sesiones con CE.

**Tabla 20.** Respuesta cardíaca en las sesiones con CE.

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>FC<sub>rep</sub> (ppm)</b>	53,34(6,94)	43,25-67,25	52,35(5,59)	46,75 -62
<b>FC<sub>m</sub>.C20% (ppm)</b>	156,63(6,32)	146,79-166,25	151,91(3,84)	147-159,16
<b>FC<sub>m</sub>.C40% (ppm)</b>	161,32(6,66)**	147,95-168,75	154,39(4,96)	146-161,08
<b>FC<sub>m</sub>.C60% (ppm)</b>	164,09(4,55)**	156-172,25	157,47(5,25)	147,04-164,41
<b>FC<sub>m</sub>.C80% (ppm)</b>	166,6(5,11)**	156,37-74,37	157,56(6,41)	145,08-167,91
<b>FC<sub>m</sub>.C100% (ppm)</b>	167,08(5,47)**	156,86-175,25	158,75(7,33)	144,56-169,58
<b>FC<sub>max</sub>.C20% (ppm)</b>	169,22(4,17)	164-176	167,62(5,04)	161-174
<b>FC<sub>max</sub>.C40% (ppm)</b>	173,33(6,18)	165-184	169,62(4,03)	164-175
<b>FC<sub>max</sub>.C60% (ppm)</b>	174,11(4,34)	168-183	171,12(3,68)	164-175
<b>FC<sub>max</sub>.C80% (ppm)</b>	176,33(4,5)	168-185	172,25(4,43)	163-177
<b>FC<sub>max</sub>.C100% (ppm)</b>	176,88(5,18)	166-185	171,87(6,44)	158-178
<b>FC<sub>m</sub>.P20% (ppm)</b>	141,74(10,28)	130-158,14	114,21(11,87)	104-136,64
<b>FC<sub>m</sub>.P40% (ppm)</b>	147,59(8,17)	136,35-161	118,66(10,18)	107,58-35,54
<b>FC<sub>m</sub>.P60% (ppm)</b>	152,76(9,04)	141,54-165,33	122,28(10,66)	112,5-142,9
<b>FC<sub>m</sub>.P80% (ppm)</b>	152,83(11,42)	132,42-166,36	126,11(13,15)	113,73-149,3
<b>FC<sub>m</sub>.P100% (ppm)</b>	152,73(12,3)	128,48-167,62	122,75(13,37)	98,53-137,95

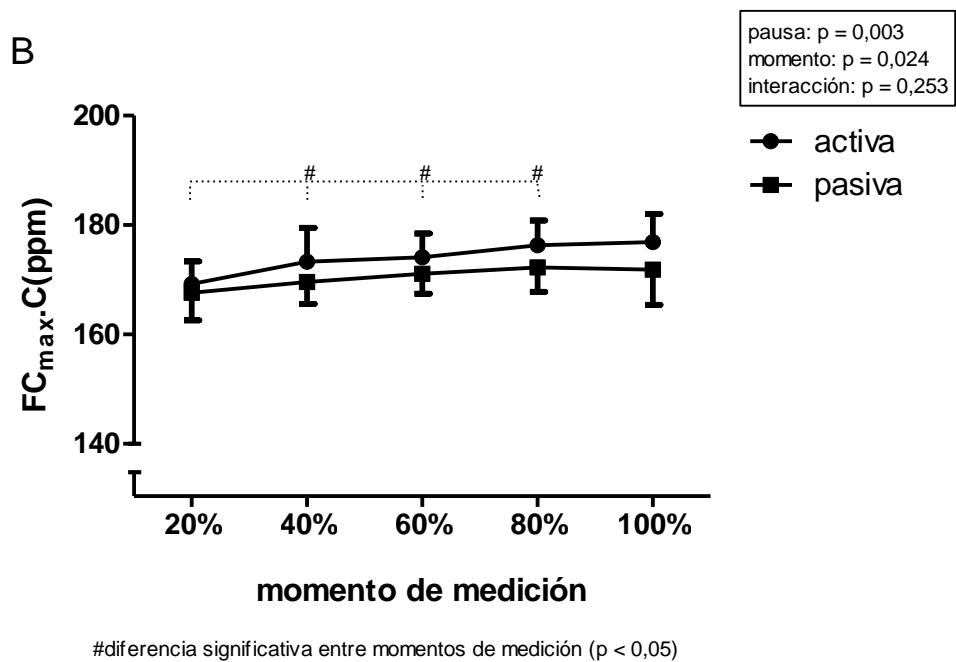
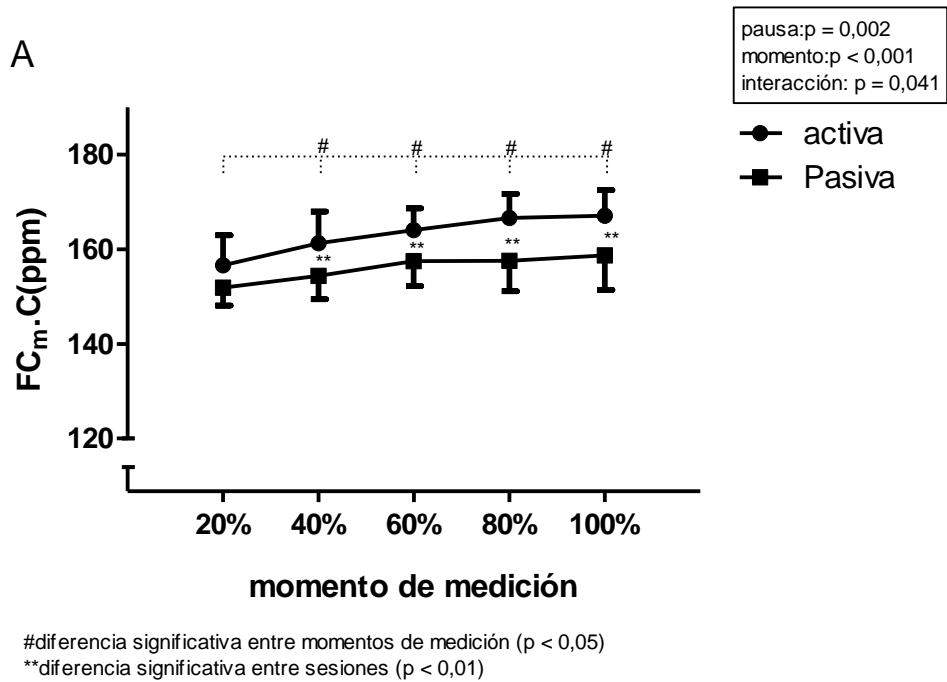
FC<sub>rep</sub>: frecuencia cardíaca en reposo; FC<sub>m</sub>.C: frecuencia cardíaca media alcanzada en las cargas; FC<sub>max</sub>.C: frecuencia cardíaca máxima alcanzada en las cargas; FC<sub>m</sub>.P: frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas; DE: desviación estándar; \*\* diferencia estadística con respecto a pasiva (p < 0,01).

El ANOVA 2x6 indicó que la FC<sub>m</sub>.C durante las sesiones con CE fue superior en las sesiones con pausa activa que con pasiva (144,05 vs 138,74 ppm respectivamente; p = 0,002). Igualmente resultaron significativos el efecto del momento de medición (p < 0,001) y la interacción entre ambos factores (p = 0,041). En la comparación por pares, la FC<sub>m</sub>.C20% resultó significativamente inferior a la de la C40% (p = 0,020), C60% (p = 0,044), C80% (p = 0,046) y C100% (p = 0,032). El análisis del efecto de la pausa en función de los momentos de medición indicó que, en la sesión con pausa activa, la FC<sub>m</sub>.C en la C20% fue significativamente inferior a la de la C100% (p = 0,044) con tendencia a serlo también con respecto al C80% (p = 0,066). En la sesión con pausa pasiva, no se observaron diferencias estadísticas. Tras el análisis del efecto del momento en función de la pausa, el ANOVA mostró que las FC<sub>m</sub>.C de la sesión con

pausa activa fueron significativamente superiores a las pasivas en la C40% ( $p = 0,009$ ), C60% ( $p = 0,008$ ), C80% ( $p < 0,001$ ) y al C100% ( $p = 0,003$ ) (figura 23A).

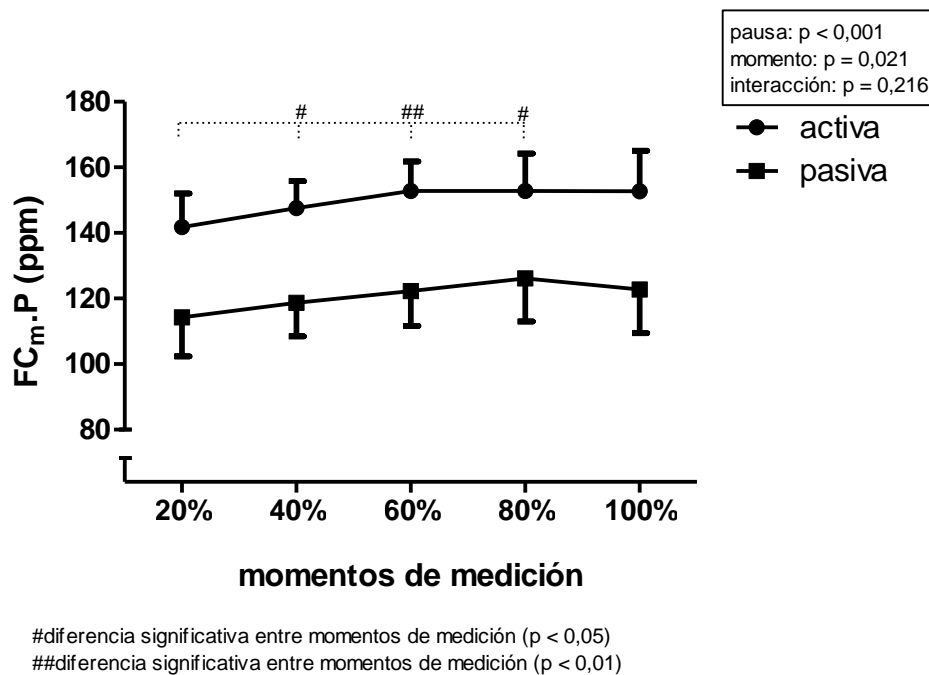
En relación a la  $FC_{max.C}$ , se encontró efecto significativo del factor pausa, siendo superior en la sesión activa con respecto a la pasiva (172,97 y 170,50 ppm respectivamente;  $p = 0,003$ ). También se detectó un efecto significativo del factor momento ( $p = 0,024$ ) sin interacción momento x pausa significativa ( $p = 0,253$ ). En el contraste por pares se reveló que la  $FC_{max.C}$  de la C20% fue significativamente inferior con respecto a la C40% ( $p = 0,013$ ), C60% ( $p = 0,05$ ) y C80% ( $p = 0,017$ ) (figura 23B).





**Figura 23.** Gráfico con los resultados del ANOVA sobre el análisis de la frecuencia cardíaca media (A) y la frecuencia cardíaca máxima (B) alcanzadas en las cargas de las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

El ANOVA 2x5 mostró que la FC<sub>m.P</sub> de las sesiones con CE con pausa activa fue significativamente superior a la pasiva (149,04 y 121,93 respectivamente;  $p < 0,001$ ) y que hubo un efecto significativo del factor momento ( $p = 0,021$ ). En el contraste por pares se observó que la FC<sub>m.P</sub> de la P20% fue significativamente inferior a la de la P40% ( $p = 0,024$ ), a la P60% ( $p = 0,006$ ) y P80% ( $p = 0,016$ ) (figura 24).



**Figura 24.** Gráfico con los resultados del ANOVA sobre la frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas de las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

La frecuencia cardíaca media registrada en reposo no fue significativamente diferente entre las dos sesiones.

Por último, se presentan en la tabla 21 los valores promedio de las respuestas de la frecuencia cardíaca medias en las cargas y las pausas durante las sesiones con CE.

**Tabla 21.** Valores promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las cargas y pausas de las sesiones con CE.

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>FC<sub>m</sub>.C.sesión (ppm)</b>	162,26(4,23)**	156,90-168,12	156,01(4,8)	146,79-163,1	p = 0,001
<b>FC<sub>max</sub>.C.sesión (ppm)</b>	173,35(2,98)*	167,60-176,80	170,32(4,46)	162-175,40	p = 0,007
<b>FC<sub>m</sub>.P.sesión (ppm)</b>	149,13(9,41)**	135,72-162,32	120,8(11,1)	109,25-140,42	p < 0,001

FC<sub>m</sub>.C.sesión: valor promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las cargas; FC<sub>m</sub>.P.sesión: valor promedio de la frecuencia cardíaca media alcanzada en las pausas; DE: desviación estándar; \*: diferencia estadísticamente significativa respecto a la pausa pasiva (p < 0,01); \*\* diferencia estadísticamente significativa respecto a la pausa pasiva (p < 0,001).

Analizando los promedios de la sesión, la FC<sub>m</sub>.C.sesión y la FC<sub>m</sub>.P.sesión fueron significativamente superiores con pausa activa (p = 0,001 y p < 0,001 respectivamente).

### 3.6.3.3. Resultados sobre la respuesta metabólica en las sesiones con carga hasta la extenuación

En la tabla 22 se muestran los valores de las variables analizadas en relación a la [La]<sub>s</sub> en las sesiones con CE.

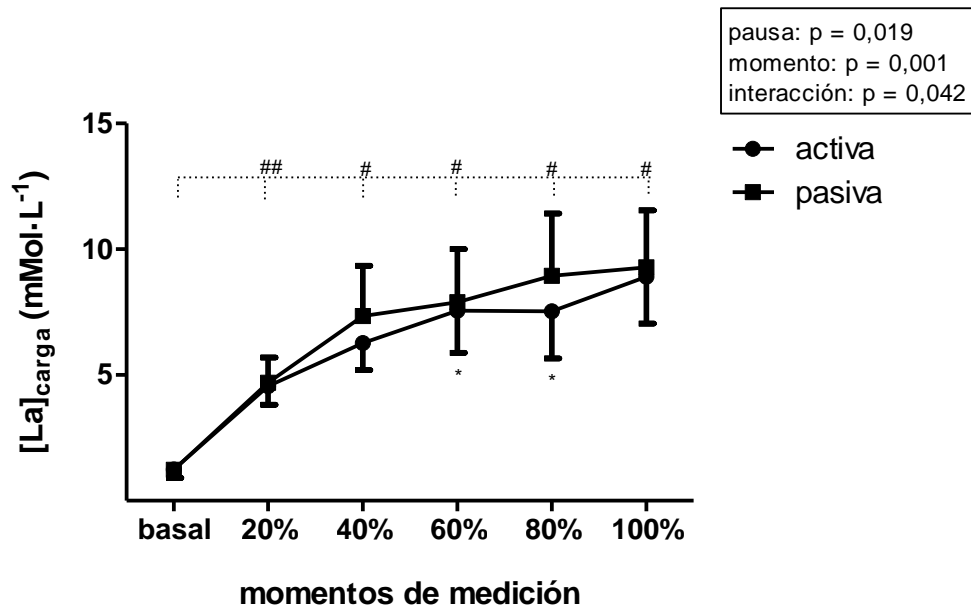
**Tabla 22.** Resultados sobre la concentración de ácido láctico en sangre en las sesiones con carga hasta la extenuación

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
[La] <sub>rep</sub> (mMol·L <sup>-1</sup> )	1,24(0,33)	0,7-1,8	1,23(0,22)	1-1,7
[La]C20% (mMol·L <sup>-1</sup> )	4,56(0,74)	3,9-5,6	4,69(1,01)	3-6
[La]C40% (mMol·L <sup>-1</sup> )	6,27(1,08)	5-7,8	7,35(1,99)	4,2-9,5
[La]C60% (mMol·L <sup>-1</sup> )	7,55(1,67)	5,1-9,0	7,89(2,12)	5,8-11,2
[La]C80% (mMol·L <sup>-1</sup> )	7,53(1,88)	5,1-10,7	8,94(2,48)	5,9-12,2
[La]C100% (mMol·L <sup>-1</sup> )	8,91(1,87)	5,9-11,4	9,28(2,26)	6,6-12,8
[La]P20% (mMol·L <sup>-1</sup> )	4,9(0,85)	3,5-5,9	6,02(1,59)	3-8,4
[La]P40% (mMol·L <sup>-1</sup> )	7,06(1,7)	4,6-10,1	7,21(1,85)	4,7-9,9
[La]P60% (mMol·L <sup>-1</sup> )	6,8(1,2)	4,6-8,4	7,64(2,12)	4,9-10,7
[La]P80% (mMol·L <sup>-1</sup> )	7,61(1,56)	5,8-10,4	8,3(2,62)	5,8-13,7
[La]P100% (mMol·L <sup>-1</sup> )	8,48(2,13)	6-12,3	9,3(2,58)	6,4-12,9

[La]<sub>rep</sub>: concentración de lactato sanguíneo en reposo; [La]C: concentración de lactato sanguíneo en las cargas; [La]P: concentración de lactato sanguíneo en las pausas; DE: desviación estándar; \*: diferencia estadísticamente significativa con respecto a pasiva ( $p < 0,05$ ).

En cuanto a la [La]<sub>carga</sub>, el ANOVA 2x6 encontró efecto significativo del factor pausa siendo superior en la sesión con pausa pasiva (7,20 y 6,30 mMol·L<sup>-1</sup> respectivamente;  $p = 0,019$ ), del factor momento ( $p = 0,001$ ) y de la interacción pausa x momento ( $p = 0,042$ ). En el contraste por pares, la [La]<sub>rep</sub> fue significativamente inferior a la [La]<sub>s</sub> en la C20% ( $p = 0,003$ ), C40% ( $p = 0,011$ ), C60% ( $p = 0,022$ ), 80% ( $p = 0,022$ ) y C100% ( $p = 0,023$ ). El p-valor estuvo próximo a la zona de rechazo de la hipótesis nula en la comparación entre la [La]<sub>s</sub> de la C60% y C100%, siendo inferior la primera ( $p = 0,060$ ). El análisis del efecto del momento de medición en función de la pausa reveló que, en la sesión con pausa activa, la [La]<sub>rep</sub> fue significativamente inferior a la [La]<sub>s</sub> de la C20% ( $p = 0,004$ ), C40% ( $p = 0,008$ ), C60% ( $p = 0,026$ ), C80% ( $p = 0,023$ ) y C100% ( $p = 0,020$ ) y que la [La]<sub>s</sub> de la C60% fue significativamente inferior a la de la C100% ( $p = 0,023$ ). En la sesión con pausa pasiva, la [La]<sub>rep</sub> fue significativamente inferior con respecto a la [La]<sub>s</sub> de la C20% ( $p = 0,010$ ), C40% ( $p = 0,016$ ), C60% ( $p = 0,022$ ), C80% ( $p = 0,023$ ) y

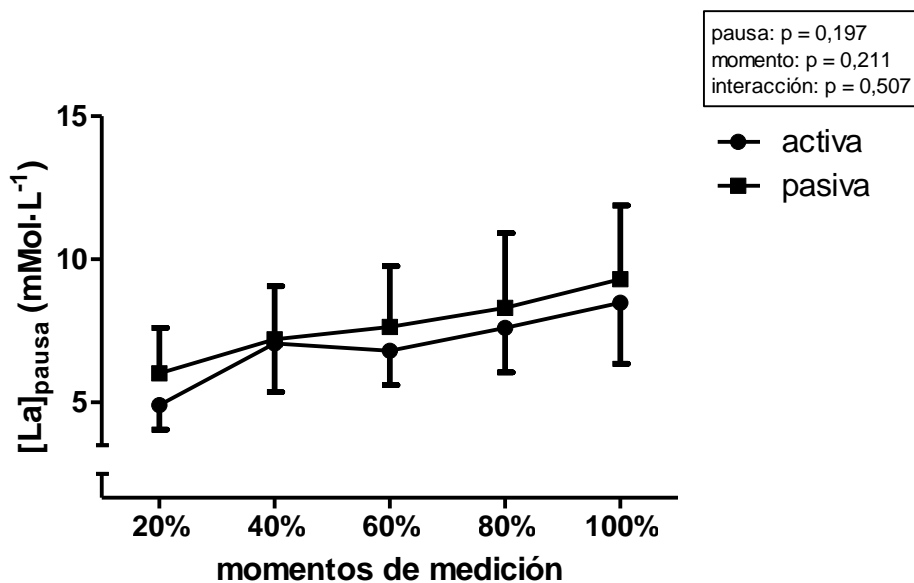
C100% ( $p = 0,031$ ). El análisis del efecto de la pausa en función del momento de medición reveló que existían diferencia significativas entre la  $[La]_s$  de la C60% ( $p = 0,014$ ) y de la C80% ( $p = 0,017$ ), siendo superior en ambas en la sesión pasiva (figura 25).



#diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,05$ )  
 ##diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )  
 \*diferencia significativa entre sesiones ( $p < 0,05$ )

**Figura 25.** Gráfico con los resultados del ANOVA en el análisis de la concentración de lactato sanguíneo alcanzada las cargas en las sesiones con CE y su comparación con las mediciones en reposo. Para cada variable se representan las medias y DE.

El ANOVA 2x5 no detectó efecto significativo del factor pausa ( $p = 0,189$ ), aunque sí lo hizo con respecto al momento de medición ( $p < 0,001$ ), sin haber interacción entre ambos factores ( $p = 0,366$ ) en las  $[La]_{\text{pausa}}$  (figura 26). Las  $[La]_{\text{pausa}}$  aumentaron significativamente con respecto a los valores basales a lo largo de la sesión.



**Figura 26.** Gráfico con los resultados del ANOVA sobre el análisis de la concentración de lactato sanguíneo alcanzada las pausas en las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

Analizando los valores promedios de la  $[La]_s$  en las sesiones con CE, la prueba t-student para muestras relacionadas, indica que la  $[La]_{pausa.sesión}$  tiende a ser significativamente superior cuando se emplea pausa pasiva ( $p = 0,068$ ) (tabla 23).

No se detectaron diferencias en la  $[La]_{rep}$  entre sesiones ( $p = 0,903$ ).

**Tabla 23.** Valores promedio de la concentración de lactato sanguíneo y su remoción en las cargas y pausas de las sesiones con CE.

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>[La]<sub>carga</sub>.sesión (mMol·L<sup>-1</sup>)</b>	6,66(1,29)	4,96-8,52	7,28(1,83)	4,90-9,94	p = 0,046
<b>[La]<sub>pausa</sub>.sesión (mMol·L<sup>-1</sup>)</b>	6,60(1,25)	5,02-8,92	7,53(2,01)	4,96-10,90	p = 0,068
<b>Diff[La].sesión (mMol·L<sup>-1</sup>)</b>	0,06(0,57)	-0,74-1,40	-0,25(0,64)	-1,60-0,42	p = 0,632

[La]<sub>carga</sub>.sesión: valor promedio de la concentración de lactato sanguíneo en las cargas de la sesión; [La]<sub>pausa</sub>.sesión: valor promedio de la concentración de lactato sanguíneo en las pausas de la sesión; Diff[La].sesión: valor promedio de la diferencia en la concentración de lactato sanguíneo entre las cargas y las pausas de la sesión; DE: desviación estándar.

#### **3.6.3.4. Resultados sobre la capacidad de salto vertical en las sesiones con carga hasta la extenuación**

Los valores de las variables analizadas para evaluar la respuesta neuromuscular se presentan en la tabla 24.

**Tabla 24.** Resultados sobre la respuesta neuromuscular en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>h<sub>max</sub>•pretest (cm)</b>	25,26(3,71)	20,80-30,2	26,53(4,06)	21,5-32,9
<b>h<sub>max</sub>•C20% (cm)</b>	25,75(3,02)	21,4-29,4	25,58(2,63)	21,2-28,8
<b>h<sub>max</sub>•C40% (cm)</b>	25,81(2,60)	21,4-29,7	26,08(3,22)	22,3-31,2
<b>h<sub>max</sub>•C60% (cm)</b>	26,07(3,09)	20,9-31	24,9(2,38)	21-27,6
<b>h<sub>max</sub>•C80% (cm)</b>	24,73(3,05)	19,9-28,4	26(2,7)	22-31,2
<b>h<sub>max</sub>•C100% (cm)</b>	27,63(2,98)	23,8-32	25,2(2,55)	22,5-29,5
<b>h<sub>media</sub>•pretest (cm)</b>	22,97(3,15)	19,02-27	23,25(2,51)	19,5-26,98
<b>h<sub>media</sub>•C20% (cm)</b>	24,28(3,19)	19,32-28,66	24,11(2,39)	20,18-26,6
<b>h<sub>media</sub>•C40% (cm)</b>	24,57(2,59)	20,07-28,16	24,37(2,6)	21,22-28,56
<b>h<sub>media</sub>•C60% (cm)</b>	23,83(2,05)	20,2-26,2	23,66(2,17)	20,16-26,6
<b>h<sub>media</sub>•C80% (cm)</b>	23,33(2,95)	18,7-26,94	23,39(1,71)	21-25,74
<b>h<sub>media</sub>•C100% (cm)</b>	24,82(2,48)	20,62-28,76	23,48(2,54)	20,32-27,1
<b>F<sub>pico</sub>•pretest (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,01(1,7)	18,42-24,15	20,81(1,7)	18,96-23,16
<b>F<sub>pico</sub>•C20% (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	22,17(1,84)	19,82-26,08	21,79(2,3)	19,85-26,81
<b>F<sub>pico</sub>•C40% (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,96(1,56)	20,18-24,68	22,86(4,92)	19-35,19
<b>F<sub>pico</sub>•C60% (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,66(1,35)	20,3-24,6	21,5(1,86)	19-24,43
<b>F<sub>pico</sub>•C80% (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,34(1,49)	19,25-24,29	21,7(1,70)	19,42-24,82
<b>F<sub>pico</sub>•C100% (N•kg<sup>-1</sup>)</b>	21,52(1,75)	19,57-25,01	21,13(1,58)	19,15-23,93
<b>P<sub>pico</sub>•pretest (W•kg<sup>-1</sup>)</b>	37,81(4,37)	30,71-43,16	37,73(3,93)	30,58-42,88
<b>P<sub>pico</sub>•C20% (W•kg<sup>-1</sup>)</b>	41,17(4,36)	32,30 -47,09	40,88(5,1)	31,63-50,31
<b>P<sub>pico</sub>•C40% (W•kg<sup>-1</sup>)</b>	41,31(4,04)	33,34-45,92	42,72(9,27)	32,18-65



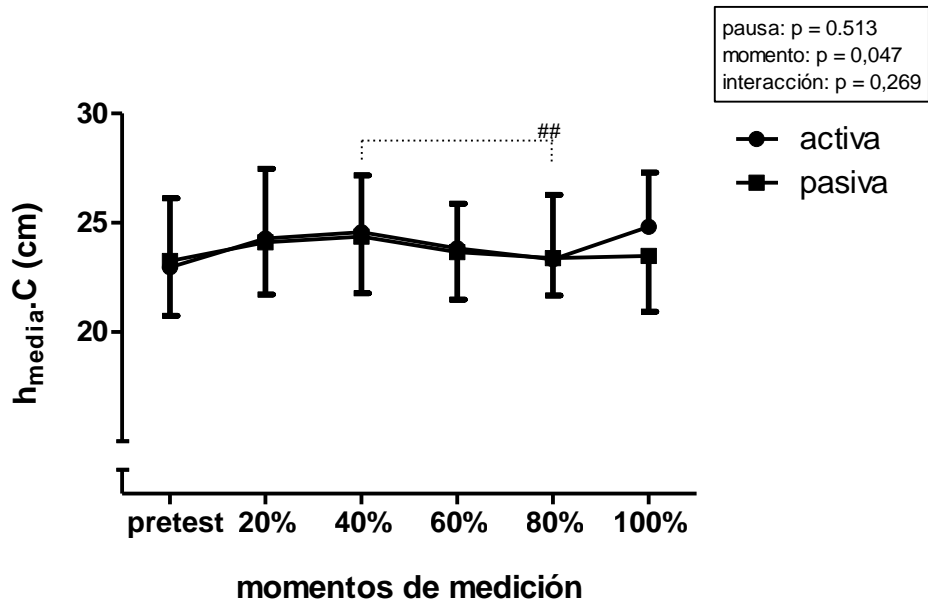
**Tabla 24.** Resultados sobre la respuesta neuromuscular en las cargas de las sesiones con carga hasta la extenuación

	ACTIVA		PASIVA	
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango
<b>P<sub>pico</sub>·C60%</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	40,47(3,56)	32,73-44,86	41,93(7,74)	33,45-60,46
<b>P<sub>pico</sub>·C80%</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	40,52(4,16)	32,85-45,3	40,4(3,93)	33,28-45,54
<b>P<sub>pico</sub>·C100%</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	41,36(3,78)	36,41-46,77	39,88(4,36)	32,46-45,01
<b>Stiff.pretest</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	64,31(14,25)	49,41-94,86	66,3(12,8)	53,36-87,2
<b>Stiff.C20%</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	76,97(17,44)	53,46-103,43	72,39(17,52)	56,04-103,78
<b>Stiff.C40%</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	73,26(14,72)	58,21-95,62	73,38(16,14)	52,66-95,71
<b>Stiff.C60%</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	72,65(12,56)	58,91-94,22	68,814(16,14)	52,66-95,71
<b>Stiff.C80%</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	68,49(12,61)	53,68-93,22	72,49(17,46)	47,57-105,07
<b>Stiff.C100%</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	68,16(14,5)	53,01-94,65	67,2(14,19)	46,56-91,43

*h<sub>max</sub>*: máxima altura alcanzada en una serie de 5CMJ; *h<sub>media</sub>*: altura media alcanzada en los 5CMJ; *F<sub>pico</sub>*: fuerza pico media alcanzada en la fase concéntrica en una serie de 5CMJ; *P<sub>pico</sub>*: potencia pico media alcanzada en la fase concéntrica en una serie de 5CMJ; *Stiff*: stiffness en una serie de 5CMJ; *DE*: desviación estándar.

El ANOVA 2x6 indicó para la *h<sub>media</sub>*-C que no existía un efecto significativo del factor pausa ( $p = 0,244$ ) pero sí un efecto del momento de medición ( $p = 0,047$ ) sin hallarse interacción entre ambos factores ( $p = 0,269$ ). No se encontraron diferencias en *h<sub>media</sub>* en los 5CMJ a lo largo de la sesión con respecto a la *h<sub>media</sub>* pretest. El contraste por pares reveló que la *h<sub>media</sub>* de la C40% fue superior a la de la C80% ( $p = 0,004$ ). Cabe destacar que en dos variables el p-valor resultante estuvo próximo a la zona de rechazo de la hipótesis de igualdad de medias. Una de ellas mostró que la *h<sub>media</sub>* de la C20% tendía a ser significativamente superior a la de la C80% ( $p = 0,067$ ) y que la de la

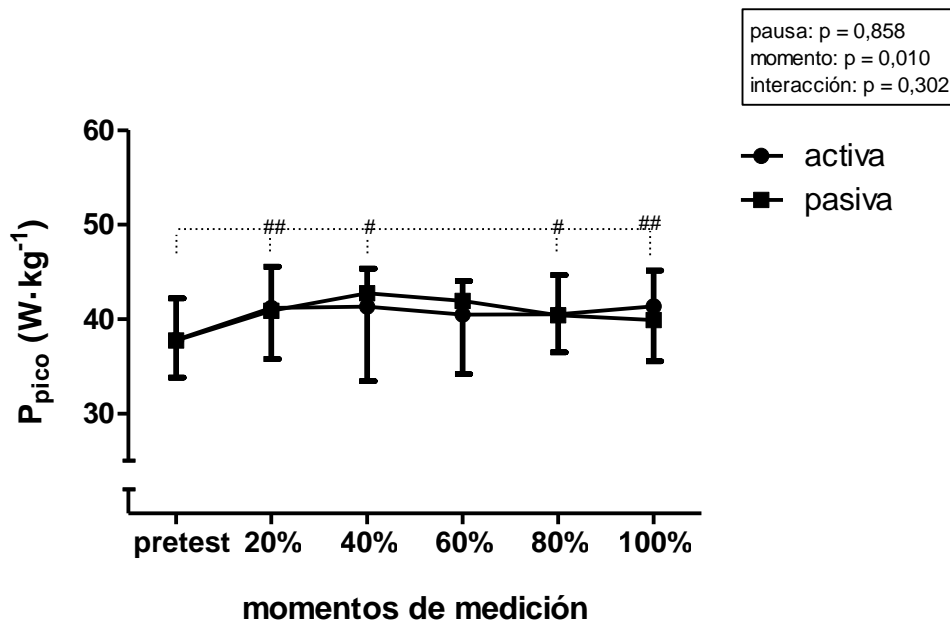
C80% tendía a ser significativamente inferior respecto a la de la C100% ( $p = 0,076$ ) (figura 27).



##diferencia significativa entre momentos de medición ( $p < 0,01$ )

**Figura 27.** Gráfico con los resultados del ANOVA sobre la altura promedio alcanzada en 5CMJ en las sesiones con CE. Para cada variable se representan las medias y DE.

Por otro lado se encontró que la  $P_{pico·C}$  en las sesiones con CE no fue diferente en función del tipo de pausa ( $p = 0,858$ ) pero sí del momento de medición ( $p = 0,010$ ) sin haber interacción entre ambos factores ( $p = 0,302$ ). Así, la  $P_{pico}$  del pretest fue significativamente inferior a la de la C20% ( $p = 0,001$ ), 40% ( $p = 0,042$ ), C80% ( $p = 0,014$ ) y C100% ( $p = 0,001$ ) (figura 28).



#diferencia significativa entre cargas ( $p < 0,05$ )  
 ##diferencia significativa entre cargas ( $p < 0,05$ )

**Figura 28.** Gráfico con los resultados del ANOVA sobre la potencia pico alcanzada en 5CMJ en las sesiones con carga hasta la extenuación. Para cada variable se representan las medias y DE.

Finalmente, el ANOVA 2x6 no encontró diferencias estadísticas en las sesiones con CE en función del tipo de pausa ni del momento de medición en la  $h_{max}$  en los 5CMJ, en la  $F_{pico}$  ni en el Stiff.

La tabla 25 recoge los valores promedios alcanzados en la sesión respecto a las diferentes variables neuromusculares analizadas de los test de 5CMJ. La prueba t-student para muestras relacionadas no detectó diferencias estadísticamente significativas entre las distintas variables en función del tipo de pausa.

No hay diferencias en las mediciones en reposo en ninguna de las variables neuromusculares analizadas.

**Tabla 25.** Valores promedio de las variables neuromusculares registradas en los test de 5CMJ de las sesiones con CE.

	ACTIVA		PASIVA		p-valor
	Media(DE)	Rango	Media(DE)	Rango	
<b>h<sub>max</sub>.sesión</b> <b>(cm)</b>	26(2,61)	21,62-28,9	26,59(3,06)	22,56-30,9	p = 0,435
<b>h<sub>media</sub>.sesión</b> <b>(cm)</b>	24,16(2,58)	19,96-27,74	22,77(2,62)	18,82-26,46	p = 0,211
<b>F<sub>pico</sub>.sesión</b> <b>(N·kg<sup>-1</sup>)</b>	21,29(1,82)	18,49-24,93	21,37(1,55)	19,28-24,02	p = 0,907
<b>P<sub>pico</sub>.sesión</b> <b>(W·kg<sup>-1</sup>)</b>	40,96(3,87)	33,52-45,98	41,16(5,41)	32,6-49,62	p = 0,843
<b>Stiff.sesión</b> <b>(N·m<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	71,89(13,86)	55,45-96,22	71,04(16,38)	52,32-94,34	p = 0,850

h<sub>max</sub>.sesión: promedio de la altura máxima alcanzada en las series de 5CMJ en la sesión; h<sub>media</sub>.sesión: promedio de la altura media alcanzada en las series de 5CMJ en la sesión; F<sub>pico</sub>.sesión: promedio de la fuerza pico alcanzada en la fase concéntrica en los 5CMJ de la sesión; P<sub>pico</sub>.sesión: promedio de la potencia pico alcanzada en la fase concéntrica en los 5CMJ de la sesión; Stiff.sesión: promedio del stiffness registrado en las series de 5CMJ en la sesión; DE: desviación estándar.

### 3.6.4. Asociaciones entre variables

Se observaron correlaciones significativas entre el TTE en la sesión con pausa activa y la Dlim con pausa activa ( $r = 0,989$ ;  $p < 0,001$ ) y con la Dlim de la sesión con pausa pasiva ( $r = 0,689$ ;  $p = 0,028$ ), entre el TTE con pausa pasiva y la Dlim con pasiva ( $r = 0,976$ ;  $p < 0,001$ ) y entre la Dlim con pausa activa y la Dlim con pausa pasiva ( $r = 0,685$ ;  $p = 0,029$ ). No se encuentra correlación estadísticamente significativa entre los TTE de las dos pausas ( $r = 0,573$ ;  $p = 0,084$ ). Finalmente, se encontró una asociación directa y fuerte entre el TTE y la Dlim con pausa activa y el  $TT90\%VO_{2max}$  conseguido ( $r = 0,720$ ;  $p = 0,029$  y  $r = 0,738$ ;  $p = 0,023$  respectivamente) en la sesión con CE.

Se ha encontrado una asociación directa y fuerte entre la P<sub>pico</sub> y la h<sub>media</sub> registradas en los pretest en las sesiones con CP y pausa activa ( $r = 0,916$ ;  $p < 0,001$ ) y pausa

pasiva ( $r = 0,860$ ;  $p = 0,001$ ) y en las sesiones con CE tanto con pausa activa ( $p = 0,002$ ;  $r = 0,871$ ) como pausa pasiva ( $p = 0,002$ ;  $r = 0,883$ ).

Se han buscado asociaciones entre las variables neuromusculares analizadas en los 5CMJ del pretest de cada sujeto con las variables analizadas del rendimiento en HIT en las sesiones con CP (p. ej.  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ). Se encontró una asociación directa y moderada entre la  $P_{pico}$  registrado en el pretest y el  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,603$ ;  $p = 0,049$ ) y el  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,674$ ;  $p = 0,023$ ) conseguidas en la sesión con pausa activa y con el  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,607$ ;  $p = 0,043$ ) con pausa pasiva. En las sesiones con CE y pausa pasiva, se encontraron asociaciones positivas y fuertes entre la  $h_{max}$  y  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,929$ ;  $p = 0,003$ ) y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,794$ ;  $p = 0,033$ ), entre la  $h_{media}$  y  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,883$ ;  $p = 0,008$ ) y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,970$ ;  $p < 0,001$ ) y entre la  $P_{pico}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,931$ ;  $p = 0,002$ ). Se detectó también una tendencia de asociación significativa entre la  $P_{pico}$  y el  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,738$ ;  $p = 0,058$ ). Analizando los resultados de la sesión con CE y con pausa activa, se ha encontrado una asociación inversa y fuerte entre la  $F_{pico}$  del pretest y el  $TTVO_{2max}$  ( $r = -0,793$ ;  $p = 0,033$ ) y con  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = -0,784$ ;  $p = 0,037$ ).

Analizando los valores promedios de las variables neuromusculares registradas durante las sesiones con CP, se encontró una asociación directa entre la  $P_{pico}$  y  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,626$ ;  $p = 0,039$ ) y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,718$ ;  $p = 0,013$ ) al emplear la pausa pasiva. En las sesiones con CE, se observó una asociación directa y fuerte entre  $h_{media}$  y  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,884$ ;  $p = 0,008$ ) y entre  $P_{pico}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,858$ ;  $p = 0,014$ ) al emplear la pausa pasiva. En el resto de condiciones no se encontraron asociaciones significativas.

No se observaron asociaciones significativas entre las diferentes variables neuromusculares analizadas y el TTE ni Dlim en ninguna de las sesiones con CE.

Tampoco se encontraron asociaciones entre las variables de la  $[La]_s$  y el rendimiento en HIT en las sesiones con CP. En las sesiones con CE, se encontró una asociación directa y moderada entre la  $Diff[La]_{sesión}$  y el TTE con pausa pasiva ( $p = 0,047$ ;  $r =$

0,638). No se encontraron asociaciones significativas entre la  $[La]_s$  obtenida en las sesiones con CP y los valores de las diferentes variables neuromusculares analizadas en el pretest ni durante la sesión. Sin embargo, en la sesión con CE y pausa pasiva mostró una asociación inversa y fuerte entre la  $[La]_{carga.sesión}$  con la  $P_{pico}$  en el pretest ( $r = -0,733$ ;  $p = 0,025$ ), entre  $[La]_{pausa.sesión}$  con la  $P_{pico}$  en el pretest ( $r = -0,764$ ;  $p = 0,017$ ) y moderada entre  $[La]_{pausa.sesión}$  y  $h_{media.sesión}$  ( $r = -0,700$ ;  $p = 0,036$ ). El p-valor estuvo próximo al rechazo de la hipótesis nula entre  $[La]_{carga.sesión}$  y  $P_{pico.sesión}$  ( $r = -0,650$ ;  $p = 0,056$ ) y  $[La]_{pausa.sesión}$  y  $P_{pico.sesión}$  ( $r = -0,643$ ;  $p = 0,061$ ), ambas asociaciones inversas y moderadas. No se han encontrado asociaciones entre las variables de la  $[La]_s$  y neuromusculares ni con los valores pretest ni con los registrados durante la sesión con carga hasta la extenuación y pausa activa.

El resumen de las asociaciones aquí descritas se recoge en la tabla 26.

**Tabla 26.** Resumen de las asociaciones encontradas entre las diferentes variables tanto en sesiones con CP como CE.

<b>Correlaciones en las sesiones CP - pausa activa</b>		
<b>Variab</b> les	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
P <sub>pico</sub> y h <sub>media</sub> (pretest)	0,916	p < 0,001
P <sub>pico</sub> (pretest) y TTVO <sub>2max</sub>	0,603	p = 0,049
P <sub>pico</sub> (pretest) y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,674	p = 0,023
<b>Correlaciones en las sesiones CP - pausa pasiva</b>		
<b>Variab</b> les	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
P <sub>pico</sub> y h <sub>media</sub> (pretest)	0,860	p = 0,001
P <sub>pico</sub> (pretest) y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,607	p = 0,043
P <sub>pico</sub> (sesión) y TTVO <sub>2max</sub>	0,626	p = 0,039
P <sub>pico</sub> (sesión) y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,718	p = 0,013
<b>Correlaciones en las sesiones CE - pausa activa</b>		
<b>Variab</b> les	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
TTE y Dlim	0,989	p < 0,001
TTE y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,720	p = 0,029
<b>Correlaciones en las sesiones CE - pausa pasiva</b>		
<b>Variab</b> les	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
Dlim y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,738	p = 0,023
P <sub>pico</sub> y h <sub>media</sub> (pretest)	0,871	p = 0,002
F <sub>pico</sub> (pretest) y TTVO <sub>2max</sub>	-0,793	p = 0,033
F <sub>pico</sub> (pretest) y TT90%VO <sub>2max</sub>	-0,784	p = 0,037
<b>Correlaciones en las sesiones CE - pausa pasiva</b>		
<b>Variab</b> les	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
TTE y Dlim	0,976	p < 0,001
P <sub>pico</sub> y h <sub>media</sub> (pretest)	0,883	p = 0,002
h <sub>max</sub> (pretest) y TTVO <sub>2max</sub>	0,929	p = 0,003
h <sub>max</sub> (pretest) y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,794	p = 0,033
h <sub>media</sub> (pretest) y TTVO <sub>2max</sub>	0,833	p = 0,008
h <sub>media</sub> (pretest) y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,970	p < 0,001
P <sub>pico</sub> (pretest) y TT90%VO <sub>2max</sub>	0,931	p = 0,002
h <sub>media</sub> (sesión) y TTVO <sub>2max</sub>	0,884	p = 0,008

**Tabla 26.** Resumen de las asociaciones encontradas entre las diferentes variables tanto en sesiones con CP como CE.

$P_{\text{pico}}$ (sesión) y $TT90\%VO_{2\text{max}}$	0,858	$p = 0,014$
Diff[La].sesión y TTE	0,638	$p = 0,047$
[La] <sub>carga</sub> .sesión y $P_{\text{pico}}$ (pretest)	-0,733	$p = 0,025$
[La] <sub>pausa</sub> .sesión y $P_{\text{pico}}$ (pretest)	-0,764	$p = 0,017$
[La] <sub>pausa</sub> .sesión y $h_{\text{media}}$ (sesión)	-0,700	$p = 0,036$
<b>Correlaciones entre variables de ambas sesiones</b>		
<b>Variables</b>	<b>r</b>	<b>p-valor</b>
Dlim (activa) y Dlim (pasiva)	0,685	$p = 0,029$
Dlim (pasiva) y TTE (activa)	0,689	$p = 0,028$



### **3.7. Discusión**

#### **3.7.1. Efectos del tipo de pausa sobre los criterios de efectividad de HIT**

Diferentes diseños de HIT han logrado solicitar el  $VO_{2max}$  o al menos un elevado porcentaje del mismo (5,150). Sin embargo, se debe tener en cuenta que, aunque la mejora del  $VO_{2max}$  está determinada por la magnitud y duración de la sollicitación durante la sesión de entrenamiento, debe haber un volumen de trabajo mínimo requerido para solicitar las respuestas adaptativas incluso aunque la demanda del sistema de transporte de oxígeno sea máxima (345). En consecuencia, conocer el  $TTVO_{2max}$  o  $TT90\%VO_{2max}$  es de vital importancia para determinar el volumen mínimo de trabajo intermitente de elevada intensidad que permita alcanzar un estímulo cardiorrespiratorio óptimo para lograr las adaptaciones pertinentes. Ya que el tiempo de esfuerzo a altos porcentajes del  $VO_{2max}$  puede ser un importante parámetro cuando el objetivo es mejorar el  $VO_{2max}$ , diversos autores han propuesto caracterizar los ejercicios de entrenamiento de acuerdo con este criterio (235). Los criterios que se suelen emplear para caracterizar el estímulo que supone una sesión de entrenamiento de HIT es el tiempo en  $VO_{2max}$  o próximos a él ( $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ), el tiempo total de trabajo (TTE) y la eficiencia del entrenamiento ( $TTVO_{2max}/TTE$ ) entre otros (150). En la presente tesis se analizó el impacto del tipo de pausa (activa y pasiva) sobre estos criterios de efectividad de HIT cuyos resultados se discuten a continuación.

##### **3.7.1.1. Efectos del tipo de pausa en el tiempo total de trabajo en $VO_{2max}$ y próximos al $VO_{2max}$ .**

Los resultados de este trabajo muestran que los dos tipos de pausa produjeron unos  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  similares tanto en las sesiones con CP como con CE, con lo que confirmamos la primera hipótesis planteada.

En las sesiones con CP, los participantes completaron 4 intervalos de carga de 2 min a la VAM con 2 min de recuperación con pausa activa (al 80% de la  $V.UV_2$ ) o pasiva. El diseño de HIT empleado permitió un  $TTVO_{2max}$  aproximadamente entre 2 y 3 min y un

TT90%VO<sub>2max</sub> aproximadamente de 4 min con ambos tipos de pausa, valores que están por debajo de los registrados en otros estudios (223,240,308,346). Por ejemplo, en 11 min de trabajo a elevada intensidad (100% de la VAM) con un diseño de HIT largo de 60:30 s los participantes estuvieron alrededor de 3 min en VO<sub>2max</sub> y 9 min en 90%VO<sub>2max</sub> (223). En el mismo estudio, con un volumen de trabajo similar a alta intensidad (12 min) pero con un diseño de 50%:50% del Tlim ( $\approx$  2:2 min), obtuvieron aproximadamente 5 min de TTVO<sub>2max</sub> y 8 min de TT90%VO<sub>2max</sub>. En el trabajo de Rozenek et al. (346), se completaron 8 intervalos de 60:15 s a la VAM y con recuperación activa (50% de la VAM), consiguiendo un TT90%VO<sub>2max</sub> de 323,7 s ( $\approx$  5 min). En otro trabajo, tras 15 min de trabajo a elevada intensidad (5 x 3 min) se registraron alrededor de 9 min de TT90%VO<sub>2max</sub> (240). En las sesiones con CE del presente estudio, la respuesta cardiorrespiratoria generada por los dos tipos de pausa fue similar tanto en TTVO<sub>2max</sub> ( $\approx$  8 y 6 min para pausa activa y pasiva respectivamente) como en TT90%VO<sub>2max</sub> ( $\approx$  13 y 11 min para pausa activa y pasiva respectivamente). En sesiones de HIT llevadas hasta la extenuación se han reportado TTVO<sub>2max</sub> alrededor de los 3 min (230,234,235) y entre 4 y 10 min (161,231,239,253). Por otro lado, los TT90%VO<sub>2max</sub> que han encontrado otras investigaciones presentan valores aproximadamente de 3 a 6 min (227,230,234,235) y de 8 a 12 min (161,227,231,236).

Los resultados descritos en este estudio concuerdan con otros donde no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el TTVO<sub>2max</sub> ni TT90%VO<sub>2max</sub> con ambos tipos de recuperación (161,231,235). Los resultados obtenidos en el estudio de Thevenet et al. (161) indicaron que la pausa activa (50% de la VAM) y la pasiva en una sesión de HIT con diseño 30:30 s al 105% de la VAM lograron un rendimiento en TTVO<sub>2max</sub> (459 vs 316 s, respectivamente) y TT90%VO<sub>2max</sub> (746 vs 548 s, respectivamente) similar ( $p > 0,2$ ). El mismo resultado se encontró en otro estudio (235) donde los dos tipos de pausa (activa o pasiva) en un protocolo de HIT de 15:15 s al 120% de la VAM lograron similares TTVO<sub>2max</sub> (180 s vs 191 s, respectivamente) y TT90%VO<sub>2max</sub> (282 s vs 317 s, respectivamente), alcanzando mayor TTE con pausa pasiva en comparación con la activa (745 s vs 445 s, respectivamente). Asimismo, se ha comprobado que estas similitudes se mantienen tras programas de entrenamiento de 7 semanas diferenciados respecto al tipo de pausa (231). Estos autores reportan que

los participantes (estudiantes de Educación Física) completaron en el pretest y posttest dos sesiones de 30:30 s al 105% de la VAM con recuperación activa (50% de la VAM) o pasiva. Tanto en el momento del pretest como del posttest, los dos tipos de pausa lograron un  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  similares ( $p > 0,05$ ) aunque la pausa pasiva logró mayor TTE en ambos momentos de medición. Estos autores registraron un  $TTVO_{2max}$  de  $\approx 5$  y 8 min en el pretest y pos test empleando la recuperación activa y de  $\approx 2,5$  min y 4 min cuando emplearon la recuperación pasiva. En el  $TT90\%VO_{2max}$  registraron entre  $\approx 9$  y 11 min en el pretest y posttest respectivamente con la recuperación activa y entre  $\approx 5$  y 8 min empleando la recuperación pasiva.

Globalmente, los valores de  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  tanto con pausa activa como pasiva obtenidos en el presente estudio fueron similares (231), inferiores (223,239,240,346) o superiores (230,234,235) a los reportados en otros trabajos. Estos datos deben ser comparados con cautela debido a las diferencias metodológicas tanto en el diseño del HIT como en los protocolos de medición seguidos, resultando muy complicada la comparación entre estudios (150). En el presente trabajo, se empleó un diseño de HIT con intervalos de carga:pausa largos. Actualmente, existen una mayoría de investigaciones que encontraron un mejor resultado empleando sesiones de HIT con diseño largo (90,149,153,219,223,226,242,252) mientras que otros lo obtuvieron con HIT de diseño corto (227,254), por lo que los intervalos de duración larga son recomendados cuando el objetivo es estrés máximo del sistema cardiorrespiratorio (150,253,254). Tras un programa de 7 semanas de HIT con diseño corto, los participantes consiguieron en el posttest (30:30 s al 105% de la VAM hasta la extenuación) un  $TTVO_{2max}$  de 497 s con la pausa activa (50% de la VAM) y 231 s con la pausa pasiva (231), cifras ligeramente inferiores a las nuestras. Igualmente, los valores de los  $TT90\%VO_{2max}$  fueron ligeramente inferiores a los nuestros tanto para la pausa activa (635 s) como para la pasiva (477 s). Los valores del rendimiento cardiorrespiratorio presentados en esta tesis también son superiores a los alcanzados en la investigación de Dupont y Berthoin (235), en la que se empleó un diseño corto de HIT (15:15 s), registrándose valores de  $TTVO_{2max}$  de 180 s y 191 s y  $TT90\%VO_{2max}$  de 282 s y 317 s para la pausa activa y pasiva respectivamente. Sin embargo, en otro trabajo que empleó sesiones de HIT con diseño corto (30:30) realizado hasta la

extenuación (161), la pausa activa permitió un  $TTVO_{2max}$  de 459 s y la pasiva de 316 s, valores muy similares a los nuestros. En cuanto a los  $TT90\%VO_{2max}$ , los valores vuelven a ser similares tanto para la pausa activa (746 s) como para la pasiva (548 s).

Independientemente de las comparaciones con otras investigaciones, en las sesiones con CE se consiguen más de 10 min de trabajo con consumos superiores o iguales al 90% del  $VO_{2max}$  ( $TT90\%VO_{2max}$ ) recomendados por la literatura científica (150), por lo que el diseño de HIT 2:2 min a la VAM podría ser adecuado para la consecución de un estímulo cardiorrespiratorio óptimo .

### **3.7.1.2. Efectos del tipo de pausa en el tiempo en alcanzar el $VO_{2max}$ y el 90% del $VO_{2max}$**

El aumento del  $VO_{2max}$  con el entrenamiento se atribuye al empleo de ejercicios que permiten solicitar y mantener un elevado porcentaje del mismo (12,345). La pausa activa podría aumentar la sollicitación del metabolismo aeróbico presumiblemente influyendo sobre la cinética del  $VO_2$  (161). La hipótesis que se mantiene es que una reducción del tiempo necesario para alcanzar el  $VO_{2max}$  o el 90% del  $VO_{2max}$  llevaría a aumentar el  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  respectivamente en una sesión de HIT (236).

Aunque el  $VO_{2max}$  no se suele alcanzar en el primer intervalo de carga de una sesión de HIT, se puede conseguir en los intervalos sucesivos gracias al efecto de la carga precedente (aceleración de la cinética del  $VO_2$ ) y al desarrollo del componente lento (150). Debido a esto, el tipo de recuperación en una sesión de HIT podría afectar a la cinética del  $VO_2$  y la evolución del componente lento con el consiguiente impacto en el rendimiento (158,161,236). Una de las razones por las que la recuperación activa es recomendada es precisamente la mayor capacidad que se le atribuye para mantener un  $VO_2$  y FC más elevados que ayuden a alcanzar antes el  $VO_{2max}$  en el siguiente intervalo de carga (acelerar la cinética de  $VO_2$ ) y por lo tanto aumentar el  $TTVO_{2max}$  (5,146,150,227). La mejora de la cinética del  $VO_2$  atribuida a la pausa activa se relaciona con la mayor capacidad de aporte de flujo sanguíneo y, por lo tanto aporte de  $O_2$ , y por mantener en un mayor nivel la actividad de las enzimas del metabolismo

aeróbico reduciendo el tiempo que necesitan para alcanzar el máximo rendimiento en el siguiente intervalo de carga (146,245,304).

Aunque en el presente estudio no se ha realizado el modelado de la cinética del  $\text{VO}_2$ , se han empleado las variables  $\text{TAVO}_{2\text{max}}$  y  $\text{TA90\%VO}_{2\text{max}}$  como indicadores de la aceleración de la cinética del  $\text{VO}_2$  (161,230). Los resultados obtenidos no indican una aceleración del  $\text{VO}_2$  con la pausa activa ya que no hubo diferencia estadísticamente significativa en los  $\text{TAVO}_{2\text{max}}$  (61,14 vs 47,50 s para pausa activa y pasiva respectivamente;  $p = 0,906$ ) ni en los  $\text{TA90\%VO}_{2\text{max}}$  (45,87 vs 45,13 s para pausa activa y pasiva respectivamente;  $p = 0,735$ ) de las sesiones con CP. Del mismo modo, no hubo diferencias significativas en los  $\text{TAVO}_{2\text{max}}$  (53,13 vs 65,22 s para pausa activa y pasiva respectivamente,  $p = 0,176$ ) y los  $\text{TA90\%VO}_{2\text{max}}$  (46,67 vs 58,61 s para pausa activa y pasiva respectivamente;  $p = 0,093$ ) con CE. Estos resultados concuerdan con los de otros estudios donde tampoco encontraron diferencias en la cinética del  $\text{VO}_2$  en función de la intensidad de la pausa en sesiones de HIT (161,236). En contraposición, se encontró que la pausa activa (20% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) produjo una mayor contribución del metabolismo aeróbico en esfuerzos máximos repetidos en comparación con pasiva y estiramientos atribuido a mayores valores de  $\text{VO}_{2p}$ ,  $\text{VO}_{2m}$  y a una aceleración de la cinética de oxígeno ( $\tau$ ), aunque no se llegó a alcanzar el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (146). Los autores explican que esta mayor contribución de metabolismo aeróbico se debió también en parte al mayor tiempo total de trabajo que permitió la recuperación activa en cada intervalo de carga en comparación con la pasiva y los estiramientos. En el estudio de Vuorima et al. (90) encontraron un déficit acumulado de oxígeno mayor en el primer minuto en intervalos largos (2:2 min a la VAM) que en cortos (1:1 min a la VAM) con una recuperación pasiva. Atribuyen esta peor cinética en los intervalos largos a que el  $\text{VO}_2$  al final de la recuperación de los 2 min fue significativamente inferior a los de 1 min y especulan con que una recuperación activa habría atenuado este descenso del  $\text{VO}_2$ . En línea con este argumento, en otro trabajo se observó una aceleración de la cinética del  $\text{VO}_2$  en sesiones de HIT atribuida al efecto de un esfuerzo previo durante la recuperación entre dos series (160). Así, los autores encontraron que el  $\text{TA90\%VO}_{2\text{max}}$  en la primera serie fue de 165 s y en la segunda serie, tras 4 min de recuperación mixta entre los dos bloques de series, se redujo a 82,5 s. Sin embargo, en dos de los estudios

no se determinó el  $TTVO_{2max}$  ni el  $TT90\%VO_{2max}$  (90,146) y en el restante la aceleración de la cinética del  $VO_2$  no se tradujo en una mejora significativa del  $TT90\%VO_{2max}$  (160). Debido a diferencias metodológicas la comparación de nuestros resultados con los de estos estudios resulta complicada. Mientras que los valores de  $TAVO_{2max}$  y  $TA90\%VO_{2max}$  hallados en nuestro trabajo corresponden al tiempo transcurrido al comenzar cada intervalo de carga hasta alcanzar el  $VO_{2max}$ , en los estudios que han analizado estas variables con HIT de diseño corto los valores corresponden al tiempo transcurrido desde el inicio del ejercicio hasta el primer momento en que se alcanzaba el  $VO_{2max}$ , incluyendo intervalos de carga y de pausa (160,161,236).

La inexistencia de diferencias entre los dos tipos de pausas sobre el  $TAVO_{2max}$  o  $TA90\%VO_{2max}$  podría deberse a una incorrecta elección de la intensidad y duración en el intervalo de recuperación. En general, parece que esfuerzos previos realizados a alta intensidad (por encima del U. láctico) aumentan el tiempo límite y el consumo de oxígeno en los siguientes (303,347). Es posible que la intensidad de la recuperación activa escogida para este estudio (80% de  $V.UV_2$ ) no fuese lo suficientemente elevada como para provocar una aceleración de la cinética del  $VO_2$ , ya que se ha observado que esfuerzos previos realizados a una intensidad superior a la asociada al U.Láctico lograban la aceleración de la cinética mientras que no se detectaba el mismo efecto cuando la intensidad era inferior (238). Sin embargo, en otros casos con intensidades de la recuperación todavía inferiores a las de este trabajo sí se consiguió una aceleración de la cinética del  $VO_2$  (146).

Se debe tener en cuenta que los estudios que reportaron un efecto beneficioso de la carga previa en el rendimiento de un intervalo de carga posterior, emplearon intervalos de recuperación entre 5 o 6 min (146,238,348), 10 min (301,349) y 15 min (350). En el presente trabajo, los intervalos de recuperación fueron de 2 min. Otros estudios que no encontraron diferencias en el  $TAVO_{2max}$  ni  $TA90\%VO_{2max}$  en sesiones de HIT en función del tipo de pausa también utilizaron duraciones de los intervalos de recuperación inferiores a los reportados por los estudios que sí observaron diferencias (161). Una posible explicación es que con intervalos de recuperación muy cortos, el  $VO_2$  permanece elevado independientemente de si se hace una recuperación activa o

pasiva con lo que sería menos probable observar una aceleración de la cinética del  $VO_2$  (161).

Por otro lado, el efecto beneficioso de la carga previa sobre el rendimiento de la posterior a través de la cinética del  $VO_2$  parece ser más evidente cuando la intensidad de esfuerzo en el intervalo de carga precedente se encuentra en el dominio severo o máximo (238). En el presente estudio, la intensidad escogida para realizar el intervalo de carga fue el 100% de la VAM, intensidad clasificada en el dominio severo (29). La VAM se define como la mínima velocidad que alcanza el  $VO_{2max}$  en un test incremental (54) y, por lo tanto, se postula como una intensidad de entrenamiento óptima cuando el objetivo es correr el mayor tiempo posible en  $VO_{2max}$  (53). La VAM ha mostrado una relación significativa con el rendimiento en pruebas de resistencia debido, principalmente, a que es un parámetro que refleja el nivel de EC además de las adaptaciones cardiorrespiratorias (36,37,44,56,57). Por eso, el 100% de la VAM es una intensidad útil y empleada para el diseño de sesiones de HIT (5,53,150,199,205,351). Diferentes estudios comprobaron como un aumento de la intensidad (100% vs 105% de la VAM) (127, 223) en el intervalo de carga consiguió  $TT_{90\%VO_{2max}}$  superiores en la sesión, estando relacionadas la constante de tiempo de la cinética del  $VO_2$  ( $\tau$ ) con la diferencia del  $TT_{90\%VO_{2max}}$  conseguido con las dos intensidades de entrenamiento ( $r = 0,91$ ;  $p < 0,01$ ) (300). Los mecanismos que subyacen a esta aceleración de la cinética del  $VO_2$  con la intensidad están todavía por esclarecer pero parece estar influida por una mayor vasodilatación relacionada con el aumento de acidosis que permite un mayor aporte de  $O_2$  a la musculatura (238,300,303). Sin embargo, en otros trabajos el 100% de la VAM fue la intensidad más adecuada para provocar mayor  $TTVO_{2max}$  (232) o similar (230) y TTE más largos en comparación con intensidades superiores (230,232). Los distintos resultados encontrados podrían deberse a diferencias en la cinética del  $VO_2$  de los participantes. Así, los sujetos con una cinética del  $VO_2$  más lenta serían los que más aprovecharían el efecto del aumento de la intensidad debido al efecto ergogénico del intervalo de carga previo sobre el siguiente (300). Sin embargo, ya que el aumento de la intensidad tiene ciertas consecuencias, como la mayor contribución anaeróbica o aumento de la carga neuromuscular, dichas decisiones deben tomarse en función de la relación costes/beneficios (150).

Según estas evidencias, un diseño cuidadoso del protocolo de ejercicio en términos de intensidad del ejercicio previo, la duración de la recuperación y la intensidad de la siguiente carga pueden resultar en cambios predecibles en la tolerancia a un ejercicio (29). En este trabajo se mantuvo una relación carga:pausa de 1:1. Es posible que una reducción en la duración del intervalo de recuperación, aumentando la densidad del entrenamiento (ej. 2:1), ayudaría a favorecer los efectos ergogénicos de la carga previa en el intervalo siguiente y lograr mantener un  $TTVO_{2max}$  o  $TT90\%VO_{2max}$  superior en la siguiente carga (150,227,239,240,346) en especial en los participantes con una cinética del  $VO_2$  más lenta (300). Debido a la interacción de tantos factores, la probable aceleración de la cinética y su relación con los criterios de efectividad de una sesión de HIT (TTE y/o  $TTVO_{2max}$ ) no está clara. En el trabajo de Thevenet et al. (236), las pausas realizadas al 50 y 67% de la VAM lograron mejores tiempos hasta la extenuación y  $TT90\%VO_{2max}$  en comparación con intensidades más elevadas (84% de la VAM) posiblemente debido a que la recuperación más intensa provocó menor TTE sin detectarse diferencias en el  $TA90\%VO_{2max}$ . Un resultado similar se encontró en otro estudio (352), donde el TTE realizado en una sesión de HIT en cicloergómetro fue mayor cuanto menor era la intensidad escogida para la recuperación. En una sesión de HIT (30:30 s), ambos tipos de pausa lograron un rendimiento cardiorrespiratorio similar mientras que la pasiva produjo mayores TTE y la activa mayor eficiencia (ratio superior de  $TTVO_{2max}/TTE$ ) sin alcanzarse diferencia estadísticamente significativa entre el  $TAVO_{2max}$  y  $TA90\%VO_{2max}$  (161).

Al igual que en otras investigaciones (153,158,161,230), en este estudio no todos los participantes alcanzaron durante las sesiones de HIT el  $VO_{2max}$ . En concreto, dos de los 11 participantes no alcanzaron el  $VO_{2max}$  ni el 90% del  $VO_{2max}$  durante las sesiones CP y, asimismo, no alcanzaron el  $VO_{2max}$  empleando pausa pasiva en las sesiones con CE. Además, uno de ellos tampoco alcanzó el  $VO_{2max}$  empleando la pausa activa en la sesión de CE. En consecuencia, los dos modelos de HIT no permitieron alcanzar en todos los participantes el 90 o 95% del  $VO_{2max}$ . Las explicaciones aportadas desde la literatura científica para entender este fenómeno son diversas. Como se dijo previamente, el efecto del intervalo anterior en la aceleración de la cinética del  $VO_2$  y



la interacción con el componente lento determina si se alcanza o no el  $VO_{2max}$  en los sucesivos intervalos de carga (150,158). En relación al primer término, se ha planteado que sujetos con una cinética del  $VO_2$  lenta tienen más difícil alcanzar el  $VO_{2max}$  en un intervalo de carga de una sesión de HIT ya que el tiempo de trabajo en  $VO_{2max}$  o próximo a él depende en parte de una rápida adaptación del metabolismo aeróbico que se refleja en la capacidad de alcanzar antes el  $VO_{2max}$  (300). Así, se ha visto como en una sesión de HIT de diseño corto, siete corredores bien entrenados alcanzaron el 93% del  $VO_{2max}$  durante 11 min de trabajo (30:30 s) a una intensidad de esfuerzo del 100% de la VAM, mientras que incrementando la intensidad al 105% de la VAM lograron alcanzar el 100% del  $VO_{2max}$  y aumentar el  $TT_{90\%VO_{2max}}$  (300). Otros resultados apoyan el hecho de que la aceleración de la cinética es dependiente de la intensidad del esfuerzo previo (238), por lo que un aumento de la intensidad podría haber ayudado a los corredores con una cinética más lenta a alcanzar antes el  $VO_{2max}$ . Por otro lado, la manifestación del componente lento se considera clave para poder conseguir alcanzar el  $VO_{2max}$  en esfuerzos intermitentes sucesivos (158). Por ejemplo, se observó que en esfuerzos intermitentes supramáximos (intensidad superior a la VAM) donde no se desarrolla el componente lento del  $VO_2$ , la recuperación activa logró acelerar la cinética del  $VO_2$  y aumentar la contribución del metabolismo aeróbico pero no permitió alcanzar el  $VO_{2max}$  (146). Uno de los factores que afectan a la manifestación del componente lento es el nivel de condición física del sujeto (150,237). Corredores altamente entrenados, con un elevado  $VO_{2max}$ , no desarrollaron componente lento el  $VO_2$  en un esfuerzo continuo hasta la extenuación al  $90\%VO_{2max}$ , manteniendo un estado estable de consumo de oxígeno al 93% del  $VO_{2max}$  (237). Otra de las explicaciones más plausibles para que dos de los participantes en este estudio no alcanzasen el  $VO_{2max}$  en las sesiones de HIT podría estar relacionada con la intensidad del esfuerzo y su efecto sobre la manifestación del componente lento (29). En este estudio, los intervalos de carga de 2 min se desarrollaron a la VAM la cual fue determinada con el UMTT. En este test de campo, la velocidad registrada al finalizar el último estadio completado es una aproximación a la VAM real. Aunque ambas velocidades están altamente relacionadas ( $r > 0,90$ ) (61,323) se suele observar una sobreestimación de la VAM en el test de pista en torno a un 2% (61) o incluso entre un 5 y 10% (150). Esta diferencia es especialmente importante en sujetos con una elevada

capacidad para soportar esfuerzos supramáximos (353) donde los individuos con mayor reserva anaeróbica muestran las mayores diferencias entre ambos valores de VAM (150). Si la VAM fue sobreestimada en algún participante, la intensidad empleada durante las sesiones de entrenamiento de HIT serían realmente intensidades supramáximas. Así, la intensidad de esfuerzo durante los intervalos de carga pasarían de categorizarse en el dominio *severo*, donde la cinética del  $VO_2$  evoluciona hasta alcanzar el  $VO_{2max}$ , al dominio *extremo*, donde la elevada dependencia de la vía glucolítica genera inhibiciones de la vía aeróbica imposibilitando el alcance del  $VO_{2max}$  (29). De los argumentos aportados hasta ahora, es más probable que este último explique que dos de nuestros participantes no alcanzasen el  $VO_{2max}$  en las sesiones de HIT. De todos modos, en general, debido a la alta correlación con la velocidad determinada en laboratorio, la simplicidad que ofrece y la alta correlación con el rendimiento en esfuerzos de resistencia (61), la determinación de la VAM con un test incremental en pista se considera un procedimiento práctico y recomendado en especial para el diseño de sesiones de HIT con intervalos de trabajo largos (2 a 6 min) (150).

En definitiva, parece que una recuperación activa puede modificar la cinética del  $VO_2$  en la siguiente carga de trabajo, pero su relación con el rendimiento en HIT (TTE,  $TTVO_{2max}$ ) todavía está por dilucidar (146,150). En la presente Tesis, no se detectó una influencia del tipo de pausa en el tiempo necesario para alcanzar consumos de oxígeno máximos o próximos al máximo. Para generar el máximo estrés del metabolismo aeróbico debe encontrarse una correcta interacción entre la duración e intensidad del intervalo de carga y el de pausa de manera que se logre un equilibrio adecuado entre la capacidad de influir en la aceleración de la cinética y también en el desarrollo del componente lento.

### 3.7.1.3. Efectos del tipo de pausa en el tiempo total de trabajo

En estudios que han empleado un diseño de HIT largo contemplaban un volumen de entrenamiento a intensidades elevadas ( $\geq 90\%$  velocidad o potencia asociada al  $VO_{2max}$ ) desde  $\approx 10$  min (181,223,346,354,355),  $\approx 15$  min (187,226,240,356),  $\approx 20$  min (186,195,225,239,241,252-254,345) o igual o mayor a los 30 min (171,201,202). En nuestro caso, sólo hemos incluido el tiempo total de trabajo realizado a alta intensidad, es decir, el número de intervalos de carga completados. El TTT a elevada intensidad en las sesiones con CP fue de 8 min mientras que el TTE en las sesiones con CE y empleando la pausa activa fue de 1429,09 s ( $\approx 24$  min) y con la pausa pasiva de 1608 s ( $\approx 27$  min), sin detectarse diferencia estadísticamente significativa. Estos resultados nos conducen al rechazo de la segunda hipótesis del presente trabajo, en la que esperábamos que la pausa pasiva permitiría un mayor TTE en comparación con la activa.

Aunque hay algún estudio que evidenció un aumento del TTE en una sesión de HIT con recuperación activa (146,259,260), la mayor parte de los resultados apuntan a que es la recuperación pasiva la que logra el mayor TTE con similar rendimiento en  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  (161,231,235,268). La pausa activa permitió TTE en diferentes tipos de diseños de sesiones de HIT entre 2 min y 12 min (227,234-236,268) y aproximadamente de 20 min (161,227,230,231,236,239,345). Con la pausa pasiva, se registraron TTE de aproximadamente 15 min (245,268) y superiores a los 30 min (161,231). Por ejemplo, realizando hasta la extenuación intervalos de carga:pausa de 15:15 s en cicloergómetro, la pausa pasiva permitió un TTE significativamente superior en comparación con la recuperación activa (961 vs 426 s,  $p < 0,001$ ) (268). Con el mismo diseño, en otro estudio se volvió a encontrar el mismo efecto del tipo de pausa sobre el TTE (745 s vs 445 s, pausa pasiva y activa respectivamente,  $p < 0,001$ ) (235). Los resultados de otro trabajo (161), también indicaron un mejor TTE empleando la pausa pasiva en comparación con la activa (2145 s vs 1072 s,  $p < 0,001$ ) en esfuerzos repetidos de 30:30 s a una intensidad equivalente al 105% de la VAM. Igualmente, la pausa pasiva permitió mayor TTE en sesiones de HIT con diseño 30:30 s al 105% de la VAM en comparación con la activa tanto en el momento del pretest (1883 s vs 923 s,  $p$

< 0,05) como tras 7 semanas de entrenamiento diferenciados según el tipo de pausa empleado (3015 s vs 1883 s,  $p < 0,001$ ) (231).

En general, los valores de TTE del presente trabajo son ligeramente superiores a los de otros estudios que también analizaron el papel que juega el tipo de pausa en una sesión de HIT (227,239,268,345) aunque en otros la pausa pasiva logró TTE superiores al nuestro (161,231). La discrepancia de estos resultados con los nuestros podría estar relacionada con el empleo de diferentes diseños de HIT y criterios de determinación del TTE. En los trabajos que emplearon HIT de diseño corto, se calcula generalmente contando el tiempo desde que el participante comienza la actividad hasta que finaliza, incluyendo los intervalos de recuperación. En nuestro caso, los TTE que se reportan sólo incluyen los intervalos de carga. Por ejemplo, en un estudio donde repitieron hasta la extenuación intervalos largos de carga con recuperación activa lograron un TTE de  $\approx 19$  min (239), valor más próximo al conseguido con recuperación activa en el presente trabajo ( $\approx 24$  min). Sin embargo, otros diseños de sesión de HIT que consistían en la repetición de intervalos de 30:30 s a la VAM empleando una recuperación activa, encontraron que ésta permitía TTE próximos a los 20 min, lo que implicó un trabajo a alta intensidad de  $\approx 10$  min (158,345), valor muy inferior al encontrado en nuestro trabajo. El  $TTVO_{2max}$  en los HIT de diseño corto está relacionado con el TTE (150). A pesar de que en los HIT con diseño largo el  $VO_2$  desciende durante la pausa y, aunque podría dificultar el control de la lactacidemia y aumentar el tiempo en alcanzar el  $VO_{2max}$  en el siguiente intervalo de carga (5), podría favorecer la restauración de PCr y alargar el TTE lo que apoyaría los mayores valores obtenidos en nuestro estudio.

La variable TTE pone de manifiesto los factores que influyen en el desarrollo de la fatiga y momento de la extenuación en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad. La fatiga se suele describir como un descenso en la producción de fuerza o una incapacidad en la regeneración de la fuerza original en la presencia de una percepción de esfuerzo aumentada (52). Aunque muchos estudios han intentado encontrar el único mecanismo que explica la fatiga, hoy en día no queda duda de que es causada por un conjunto de efectos que reducen el rendimiento y no por un mecanismo que,

en cualquier condición, produzca el declive en el rendimiento. De ahí, la noción de dependencia de la tarea (107). El Tlim en esfuerzos continuos realizados a la VAM ha mostrado mantener una relación inversa con la VAM y el  $VO_{2max}$  y directa con la capacidad anaeróbica (64). Con lo cual, valores de Tlim altos tienden a ir asociados una alta capacidad anaeróbica y una baja diferencia entre la VAM y la velocidad asociada al U.Láctico. En un estudio posterior, se evaluaron los determinantes que afectaban al TTE en una sesión de HIT que consistía en repetir hasta la extenuación intervalos de carga:pausa de 30:30 s a la VAM con recuperación activa (70% de la VAM) (345). Se encontró que el 49% de la varianza del TTE en HIT pudo explicarse de igual modo por la diferencia de la velocidad asociada al U.Láctico y la VAM. Un 20% de la varianza del TTE en HIT también lo explicó la diferencia entre la velocidad de la recuperación y la velocidad del U.Láctico, variable que se emplea como indicador de depleción de la capacidad anaeróbica. De tal manera que los deportistas que tenían una velocidad asociada al U.Láctico más alejada de la VAM y una velocidad durante el intervalo de recuperación (70% de la VAM) más próxima a la velocidad asociada al U.Láctico fueron los que menor TTE consiguieron en la sesión de HIT. La mayor diferencia entre la intensidad de la recuperación y la velocidad asociada al U.Láctico permitiría replecionar mejor los depósitos de energía y retrasar la fatiga. Se debe tener en cuenta que el componente lento de la cinética del  $VO_2$  se manifiesta a intensidades de esfuerzo superiores a las asociadas al U.Láctico, de ahí que el punto en el que se encuentre en relación al  $VO_{2max}$  y/o la VAM es clave para entender la fatiga en esfuerzos de resistencia (303). Por lo tanto, definir la intensidad de un esfuerzo como un porcentaje del  $VO_{2max}$  no sería del todo preciso, ya que los atletas pueden tener un similar  $VO_{2max}$  pero su U.Láctico estar a diferente porcentaje del mismo, con lo que algunos trabajarían por debajo del umbral y otros por encima. Así, el componente lento estará presente en algunos sujetos y no en otros (29). Se sugiere por lo tanto, determinar la intensidad del entrenamiento como un porcentaje del U.Láctico en lugar del  $VO_{2max}$  ya que así el estrés metabólico y cardíaco son similares en sujetos de diferente nivel de condición física (194,345). Este argumento podría explicar la falta de diferencia en el rendimiento (TTE y Dlim) entre ambos tipos de pausa en el presente trabajo. Mientras que la intensidad para el intervalo de carga se determinó en función del  $VO_{2max}$  (VAM), la velocidad para el intervalo de pausa se realizó en función del  $UV_2$

(80% V.UV<sub>2</sub>). En cuanto a la elección de la intensidad del intervalo de pausa, muchos estudios que han analizado el papel que juega el tipo de pausa en una sesión de HIT emplearon un porcentaje determinado del VO<sub>2max</sub> (146), de la velocidad/potencia asociada al VO<sub>2max</sub> (235,268,355,357), de la FC<sub>max</sub> (269) o de la mejor marca personal en una prueba específica (269,271) . Sin embargo, en el presente estudio, tal y como se comentó unas líneas más arriba, la intensidad de la pausa se determinó en función del UV<sub>2</sub>. Este hecho pudo llevar a reducir la variabilidad en la respuesta al ejercicio intermitente y equiparar el efecto del tipo de pausa.

La principal razón por la que la pausa activa se recomendaba era por su mayor capacidad de remoción de ácido láctico en sangre esperando con ello retrasar el desarrollo de la fatiga (268). Se ha observado que la intensidad de la recuperación activa que produce mayores reducciones de la [La]<sub>s</sub> se sitúa entre el 30 y el 70% del VO<sub>2max</sub> (273). Más concretamente, se ha sugerido que una mejor opción es escoger la intensidad de recuperación en relación a la velocidad del U.Láctico, ya que asegura una intensidad de esfuerzo donde se genera eliminación sin producir acumulación (255,272,273). Por otro lado, existe una alta variabilidad en los umbrales lácticos con lo que la prescripción con respecto a la velocidad máxima implicaría diferentes cargas entre los deportistas (255). Se ha observado que una intensidad de la recuperación asociada al 50% de la VAM y al 67% de la VAM (intensidad intermedia entre el 50% de la VAM y la velocidad asociada al U.Láctico) fueron las que mayor TTE permitieron en una sesión de HIT en comparación con el 84% de la VAM (236). La intensidad empleada en este trabajo (80% de la V.UV<sub>2</sub>) se hizo con el objetivo de retrasar el desarrollo de la fatiga a través del equilibrio entre la remoción de ácido láctico y el mantenimiento de un VO<sub>2</sub> y FC adecuado para facilitar la consecución del VO<sub>2max</sub> en la siguiente carga. Sin embargo, no se alcanzaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de pausa en la capacidad de remoción de la [La]<sub>s</sub> (CP: p = 0,657; CE: p = 0,632) ni en el TTE. También se ha indicado que uno de los factores clave sobre el efecto que tiene la pausa activa sobre el rendimiento en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad es la duración de la misma. Así, se ha observado que si la duración es superior a ≈100 s, la pausa activa a baja intensidad tiene el mismo efecto que la pasiva en este tipo de esfuerzos (152,266). Es posible por lo tanto, que la duración e

intensidad escogidas en el presente trabajo permitieran un equilibrio adecuado para minimizar los efectos negativos asociados a la recuperación activa.

Otro de los argumentos a favor de la pausa activa para retrasar la fatiga y aumentar el TTE, se basa en su posible efecto sobre la cinética del  $\text{VO}_2$ , importante determinante de la tolerancia al ejercicio ya que un sujeto con cinética de  $\text{VO}_2$  más acelerada incurrirá en un menor déficit de  $\text{O}_2$  y posiblemente en menor caída de contenido de PCr muscular, menor aumento de lactato y producción de  $\text{H}^+$ , lo que reduce la degradación del glucógeno muscular en comparación con una cinética de  $\text{VO}_2$  más lenta (301). En el estudio de Dorado et al. (146), una recuperación activa durante 5 min entre intervalos de carga supramáximos llevados hasta la extenuación ( $\approx 2$ min) generó una aceleración de la cinética, una contribución mayor del metabolismo aeróbico y mayores tiempos hasta la extenuación en los intervalos de carga. Para los autores, la clave de la recuperación activa para atenuar el descenso del rendimiento en comparación con la pasiva y los estiramientos es que permitió una cinética del  $\text{VO}_2$  más acelerada en la siguiente carga debido principalmente a dos mecanismos: aumento del flujo sanguíneo y el reparto de  $\text{O}_2$  al músculo y mantenimiento de un estado de actividad mayor de las enzimas aeróbicas, con lo que conseguirían antes el rendimiento completo (mayor tiempo hasta la extenuación) en la siguiente carga. La derivación de más volumen sanguíneo a la musculatura activa facilitaría el aporte de oxígeno para la resíntesis de PCr que llevaría a depender menos de la vía glucolítica y retrasar la fatiga, aumentando dos de los principales criterios evaluados para determinar la efectividad del estímulo de una sesión de HIT: TTE y  $\text{TTVO}_{2\text{max}}$  (150,246,263). Por ejemplo, en el estudio de Belfry et al. (246) se comparó la respuesta del  $\text{VO}_2$  y el nivel de desoxigenación de la hemoglobina entre un entrenamiento continuo y dos tipos de entrenamiento interválico con intervalos de carga:recuperación de 10:5 s bien manteniendo una recuperación activa de intensidad ligera (INT1) o una de intensidad moderada (INT2). La mayor desoxigenación se observó en el entrenamiento continuo, sin diferencias en los interválicos aunque sólo en INT1 se reflejaron oscilaciones de  $\text{VO}_2$ . Es decir, la recuperación activa con una intensidad entre ligera y moderada permitió un mayor aporte de  $\text{O}_2$  a la musculatura en comparación con el entrenamiento continuo. Los autores sugieren que existe una

intensidad óptima en la contracción muscular para asegurar un aporte de flujo sanguíneo, y por tanto de O<sub>2</sub>, a la musculatura activa. Sin embargo, existen otras evidencias que indican que es la pausa pasiva la que permite mayores TTE en sesiones de HIT realizadas hasta la extenuación (161,231,235,268,268). Hace años, la evaluación de la respuesta metabólica de sesiones de HIT con diseño de intervalos de carga:pausa cortos (30:30 s), indicó que el oxígeno unido a la mioglobina era un factor clave para el rendimiento en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad (233,358). Durante los esfuerzos intermitentes, los niveles de oxígeno de la mioglobina y hemoglobina descienden durante el intervalo de carga y presentan valores superiores al finalizar el intervalo de pausa aunque sin llegar a alcanzar los niveles de reposo (233,358,359). Los menores valores de TTE conseguidos con pausa activa se atribuyeron a una posible reducción en la disponibilidad de oxígeno para sintetizar ATP mitocondrial, limitando la resíntesis de PCr en la fase inicial del intervalo de pausa y afectando al rendimiento del siguiente intervalo de carga (144,152,263). Así, la pausa pasiva logró mantener un nivel constante de oxigenación a la musculatura y frenar en mayor medida la pérdida de rendimiento en una sesión de sprints repetidos en comparación con la pausa activa (144). Hay más evidencias que apuntan a que la recuperación pasiva fue una mejor estrategia para mantener la potencia en una sesión de sprints repetidos (152). El ejercicio intermitente empleando recuperación pasiva también se caracterizó por una desoxigenación más lenta en comparación con la activa y, con los dos tipos de pausa, se correlacionó con el TTE alcanzado tanto con pausa pasiva ( $r = 0,67$ ;  $p < 0,05$ ) como con activa ( $r = 0,81$ ;  $p < 0,05$ ) (268). La capacidad de resíntesis de PCr durante el intervalo de pausa, la cual está relacionada directamente con la disponibilidad de oxígeno (311,360), se asocia directamente con el rendimiento en el siguiente intervalo de carga (196,359). Se observó que la recuperación activa provocó peor rendimiento en esfuerzos intermitentes repetidos en comparación con la pasiva y una fuerte tendencia a empeorar la resíntesis de PCr (196). La resíntesis de PCr se correlacionó con el rendimiento en la sesión, por lo que los autores alertan sobre un posible efecto subóptimo de la recuperación activa en este tipo de esfuerzos. En un estudio posterior (262), se comprobó que tanto una recuperación activa de intensidad baja (20% del VO<sub>2max</sub>) como moderada (35% del VO<sub>2max</sub>) provocaron un peor rendimiento en una sesión de sprints repetidos (6x 4:25 s) en comparación con la pasiva, por lo que los



autores también recomiendan en intervalos de pausa de corta duración emplear la recuperación pasiva. Se esperaba que un grupo de nadadores bien entrenados mantuviesen un mejor rendimiento en sprints repetidos empleando la pausa activa entre repeticiones, atribuyendo este efecto al mayor aporte de sangre y mejor recuperación de los depósitos de PCr, eliminación de ácido láctico y restauración del equilibrio ácido-base (266,267). Sin embargo, fue la pausa pasiva la que mantuvo mejor el rendimiento. Los autores atribuyen la peor recuperación entre repeticiones con pausa activa a una inhibición de la resíntesis de los depósitos de PCr debido a una menor disponibilidad de O<sub>2</sub>. Debido a estos resultados, los autores recomiendan realizar la pausa pasiva entre repeticiones con duraciones del intervalo de carga cortas (<2 min) y pasiva o activa de intensidad ligera (264) o incluso una estrategia mixta para intervalos de recuperación más largos (265). Se observó que en esfuerzos de sprint repetidos, el O<sub>2</sub> de la Mb desciende rápido respondiendo a un descenso de la presión parcial intracelular de O<sub>2</sub> (361). Igualmente, se ha observado que 30 s de recuperación son suficientes como para que el PCr contribuya de forma significativa a la repleción de los depósitos de ATP (362). Nuestro diseño de la sesión de HIT se basó en intervalos de carga:pausa largos, por lo que es probable que la depleción de los depósitos de O<sub>2</sub> de la Mb y la resíntesis de ATP a través de la PCr no fuesen factores decisivos para el desarrollo de la fatiga (363) aunque no se pudo evaluar la contribución de los dos mecanismos al rendimiento en la sesión de HIT. Además, en HIT de diseño largo como es nuestro caso, el O<sub>2</sub> unido a la Mb no es suficiente y se necesita O<sub>2</sub> aportado por el sistema cardiorrespiratorio y el metabolismo glucolítico anaeróbico (150,233,250) habiendo más factores que pudieron contribuir al desarrollo de la fatiga durante nuestras sesiones de HIT. De todos modos, se ha observado que ≈ 4 min después de un ejercicio previo fatigante, los depósitos de PCr se recuperaron hasta alcanzar el 76% de los valores en reposo (360), con lo que no queda descartada la posible influencia del tipo de pausa sobre el pool de fosfágenos. Por lo tanto, se podría esperar un posible efecto beneficioso de la recuperación activa en intervalos de pausa largos (> 3 min) (146,259,260,265), ya que es el momento donde los beneficios de la limpieza de los productos metabólicos superan a los beneficios de la resíntesis de la PCr (150). Por todo esto, se recomienda que si el objetivo del entrenamiento es la mejora de los factores cardiorrespiratorios (ej. VO<sub>2max</sub>), la pausa activa supondría una estrategia

adecuada mientras que la pasiva lo sería para incidir de una manera especial sobre las adaptaciones neuromusculares (161). En nuestro trabajo, ambos tipos de pausa lograron un TTE similar, por lo que sería posible que la elección de la intensidad de la pausa activa y su duración haya logrado una recuperación de los depósitos de PCr similares a los de la pasiva.

Cabe destacar que la pausa pasiva realizada en la presente tesis, consistió en recorrer caminando la distancia más corta hasta el punto de salida y, una vez llegado a él, estaban de pie el tiempo restante hasta completar los 2 min. Este sistema fue necesario para poder garantizar que los participantes finalizaran el intervalo de carga próximos a la zona de testaje, donde se evaluaron la  $[La]_s$  y el rendimiento de la capacidad de salto vertical. Hay algunos autores que emplean la acción de caminar como estrategia de recuperación activa (262). Es posible, que la caminata, aunque fuese a muy baja velocidad, afectase a la cinética del  $VO_2$ , la respuesta de la FC, la capacidad de remoción de  $[La]_s$  y, por tanto, a la capacidad de repetición de intervalos. Sin embargo, muchos estudios han empleado la caminata como estrategia de recuperación de naturaleza pasiva (231,240,364). Además, tanto el  $VO_{2m}$  como la  $FC_m$  de las pausas durante la recuperación activa fue significativamente superior a las de la pasiva, con lo que creemos que es poco probable que la caminata lenta hasta el punto de salida fuese de la magnitud suficiente como para inhibir los efectos beneficiosos de la recuperación pasiva.

Algunos de los mecanismos fisiológicos periféricos específicos propuestos como responsables de la fatiga son la acumulación de metabolitos (ácido láctico,  $H^+$ ,  $P_i$  y amonio), depleción de los sustratos energéticos (ATP, PCr y glucógeno) y/o alteración en la regulación de los cationes musculares ( $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Ca^{2+}$ ) (316). Tras contracciones musculares repetidas a alta intensidad, el  $K^+$  y el  $Na^+$  se acumulan fuera y dentro del sarcolema respectivamente, reduciendo la excitabilidad muscular y alterando la propagación del potencial de acción (289,290). Este desequilibrio iónico en el sarcolema sería un factor muy importante en la recuperación de la potencia muscular en los primeros momentos de la pausa siéndolo, posteriormente, los factores bioquímicos como el  $P_i$  o el pH (291). La acumulación progresiva de  $K^+$  en el espacio

extracelular fue un mecanismo más plausible para explicar la fatiga experimentada en un esfuerzo intermitente de alta intensidad en comparación con el pH o la acidosis (365). Varios estudios han detectado adaptaciones en la cinética y acumulación de  $K^+$  fuera del sarcolema, un incremento en la actividad de la bomba  $Na^+ -K^+ -ATPasa$  y su influencia sobre el desarrollo de la fatiga tras programas de entrenamiento de HIT (290,292,293). Una reducción en la liberación de  $K^+$  fuera de las células musculares y/o un aumento de su remoción podría retrasar el desarrollo de la fatiga (290). Las contracciones moderadas que se llevan a cabo durante la recuperación activa podría acelerar el funcionamiento de la bomba  $Na^+ -K^+ -ATPasa$  favoreciendo una recuperación más rápida del equilibrio hidroelectrolítico a lo largo del sarcolema (146,294). Sin embargo, en el presente trabajo no hubo diferencia en el rendimiento muscular entre el tipo de pausas. Parece que para recuperar el equilibrio iónico de  $K^+$  se necesitan pausas más largas que las empleadas en este estudio. Por ejemplo, a los 10 min de finalizar una sesión de HIT se recuperó un 50% aproximadamente del  $K^+$  liberado al espacio extracelular (290). Según estos autores esta lenta recuperación del  $K^+$  intracelular explicaría por qué el rendimiento en esfuerzos intermitentes se ve reducido a pesar de un tiempo prolongado de recuperación. Con lo que los 2 min empleados en el presente estudio no serían suficientes para recuperar el equilibrio iónico y los dos tipos de pausas tendrían el mismo efecto sobre este factor. Por otro lado, los datos obtenidos sobre los ajustes neurales y musculares tras ejercicios de elevada intensidad sugieren que la fatiga inducida por HIT de diseño muy corto ( $< 20$  s) y corto ( $< 1$  min) y/o esfuerzos máximos (120%VAM) tiende a ser predominantemente periférico (p. ej. alteraciones de la excitabilidad muscular y acople de excitación-contracción, alteraciones de la concentración del  $K^+$  intracelular y acumulación de productos como el Pi,  $H^+$ ). Sin embargo, la fatiga asociada a HIT con diseño largo ( $> 30$  s) y de máxima intensidad (all-out) estaría relacionada más con factores centrales (150). El diseño empleado en este estudio corresponde al último caso por lo que es probable que otros mecanismos, además de los posibles desequilibrios iónicos, hayan actuado para regular el TTE lo que explicaría que con ambos tipos de pausa se lograron valores similares de TTE.

Tal y como resume en su artículo Hargreaves (366), hay evidencias empíricas de que condiciones como la hipoglucemia, hipoxia e hipertermia pueden modificar el flujo nervioso central a la musculatura esquelética. Esta fatiga del SNC podría estar relacionada con el sistema dopaminérgico y sus neurotransmisores y, principalmente, con señales inhibitorias del hipotálamo que derivaría secundariamente de un aumento de la temperatura del cerebro (127). Existen evidencias de que un aumento excesivo de la temperatura central alteraba el rendimiento en actividades intermitentes de elevada intensidad (128,129). Los mecanismos son varios, pero parece que la hipertermia afecta al control del SNC que altera la función cardiovascular reduciendo el aporte de O<sub>2</sub> a la musculatura esquelética. En esfuerzos de elevada intensidad, el VS se reduce debido a un menor retorno venoso (producido por una vasodilatación de los capilares de la piel con el objetivo de regular la temperatura corporal) y por un menor llenado diastólico debido a altas FC que acortan el ciclo cardíaco (130). En estos casos, la reducción del GC y flujo sanguíneo a la musculatura activa no puede ser compensado por un aumento de la capacidad extracción de ésta (127). El tipo de recuperación seguida en una sesión de HIT podría afectar tanto a la generación como disipación del calor y con ello el rendimiento en la sesión. La pausa activa mantiene la contracción muscular por lo que se espera de ella que siga aumentando la temperatura aunque también mantiene en movimiento el flujo de sangre hacia la musculatura activa y de ahí al corazón, facilitando por otro lado la disipación de calor (129). Sin embargo, la pausa activa se asoció a mayor temperatura muscular, rectal, corporal y de piel, así como mayores frecuencias cardíacas en una sesión de sprints repetidos en condiciones de elevada temperatura (35 °C y 44% de humedad relativa) (129). No obstante, hubo una mayor diferencia en la temperatura muscular que en la rectal con respecto a la pausa pasiva por lo que los autores interpretan que la pausa activa favoreció en mayor medida una pérdida de calor al mover la sangre hacia zonas que disipen calor (p. ej. piel), en vez de acumularse en las venas como ocurre al emplear la pausa pasiva. De todos modos a pesar el mayor estrés térmico alcanzado con pausa activa, no se observaron diferencias en el rendimiento posiblemente, según los autores, a que no se alcanzó una temperatura crítica. En el presente estudio, el TTE a alta intensidad se acercó a los 30 min. Aunque no se ha evaluado la temperatura central ni muscular es probable que los participantes hayan experimentado

hipertermia. De todos modos, no podemos conocer en qué medida la hipertermia pudo afectar al rendimiento aunque la falta de diferencia estadística en el TTE y  $D_{lim}$  entre los dos tipos de pausa podría explicarse con que no se alcanzó una temperatura crítica o que la duración/intensidad de la pausa permitió en ambos casos controlar la acumulación/disipación de temperatura.

La fatiga producida durante el ejercicio intenso y prolongado en un ambiente termoneutral parece estar asociada también a la depleción de glucógeno de la musculatura activa o por hipoglucemia (115,119,120). Se ha observado que el ejercicio intermitente de alta intensidad depende en gran medida de la glucólisis anaeróbica (120,362) y que induce a una depleción de glucógeno muscular (243,251). Aunque los depósitos de CH corporales son limitados, la dieta los puede aumentar y el entrenamiento de resistencia retrasar su utilización (115-117). Es por eso que se han hecho populares las bebidas con CH y electrolitos que además de reponer este sustrato para ser utilizado por la musculatura activa, repone el líquido perdido por la sudoración minimizando el impacto de la hipertermia y estrés cardiovascular buscando retrasar la fatiga (116). El tipo de pausa podría afectar al ratio de uso de glucógeno muscular así como su depleción y, por tanto, a la aparición del punto de fatiga. De hecho, en nuestro trabajo se observaron valores de  $[La]_s$  superiores empleando la pausa pasiva en comparación con la activa. Sin embargo, no hubo diferencia en el rendimiento y la pasiva fue igual de efectiva en la remoción de lactato sanguíneo en comparación con la activa. En otro trabajo (367), la pausa pasiva permitió una mayor capacidad regenerativa de los depósitos de glucógeno muscular 60 min después de una sesión de HIT en comparación con una estrategia mixta (30 min activa y 30 min pasiva). Los autores indican que con ambos tipos de recuperación, la remoción de lactato fue similar y rápidamente se alcanzaron los niveles preejercicio. Por lo tanto, la mayor capacidad de resíntesis de glucógeno con pausa pasiva podría indicar que el lactato pudo haberse aprovechado más para ese fin mientras que en la activa se empleó también para mantener la propia actividad de la recuperación. Aunque en el presente estudio no se valoraron los depósitos de glucógeno muscular, es probable que se produjera una reducción de su contenido durante las sesiones con CE. La mayor capacidad de repleción de los depósitos con la pausa pasiva observada en otros

estudios se consiguió con intervalos de pausa más largos (60 min) (367). Así, el acortamiento de la duración del intervalo de pausa a 20 min no produjo diferencias en la resíntesis del glucógeno muscular entre la pausa activa y pasiva (284). Es posible que en las sesiones con CE se produjese una reducción de los depósitos de glucógeno muscular, pero la corta duración del intervalo de pausa es probable que no permitiese un efecto claro del tipo de pausa.

La deshidratación causada por el sudor induce a la pérdida de agua corporal que reducirá el volumen de plasma y aumentará la presión osmótica de forma proporcional a la pérdida de agua. El argumento es que la hipovolemia podría reducir la precarga cardíaca y alterar la actividad de los baroreceptores que envían aferencias al hipotálamo. Por lo tanto, una presión atrial de llenado disminuida podría alterar la información nerviosa de los centros termorreguladores del hipotálamo que controlan la sangre derivada a la piel y la sudoración (24). Se ha observado que existe un umbral de deshidratación inducida por el ejercicio a partir del cual el rendimiento aeróbico y anaeróbico se ve afectado, siendo más bajo para el rendimiento aeróbico (110). En el presente estudio, los participantes realizaron el entrenamiento con la máscara del analizador de gases respiratorios, por lo que no pudieron ingerir agua para reponer líquidos y reducir el estrés cardiovascular y deshidratación producidos por el ejercicio prolongado de elevada intensidad. Tampoco ingirieron bebidas con CH que ayudasen a retrasar la depleción de los depósitos de glucógeno muscular y mantener la glucemia (116). Al no detectarse diferencia estadísticamente significativa entre los dos tipos de pausa, se interpreta que ambas podrían haber tenido un efecto similar tanto sobre la hipertermia y estrés cardiovascular como el control de los depósitos de glucógeno muscular y glucosa sanguínea.

Que no se haya encontrado correlación entre los TTE de las sesiones con pausa activa y pasiva indica que los sujetos que mantuvieron mayor TTE empleando pausa activa no fueron los mismos que lo hicieron con pausa pasiva (235). Con lo que, analizando el rendimiento comparando medias de grupo, no se alcanzó diferencias estadísticamente significativas, pero esta falta de correlación podría indicar que la capacidad de

rendimiento en una sesión es individual y el tipo de pausa juega un papel clave a la hora de individualizar y optimizar el estímulo de la sesión.

Por último, es importante destacar que los factores centrales relacionados con el consumo de oxígeno no son el único factor limitante de la carrera de larga distancia. A mayores del proceso aeróbico, las características neuromusculares y anaeróbicas están también involucradas (232). Los beneficios del entrenamiento también dependen de la distancia cubierta a altas velocidades determinando la adaptación muscular, maximizando el número de contracciones musculares potentes (56). La determinación de la Dlim recorrida a alta velocidad y la distancia total recorrida (incluyendo los intervalos de recuperación) es necesaria porque supone un potente estímulo neuromuscular y podría aumentar las probabilidades de ocurrencia de lesiones músculoesqueléticas durante una sesión de HIT (298). En el estudio de Billat et al. (232), se registraron Dlim de 1320 m, 2330 m y 2530 m en una sesión con intervalos de carga:pausa de 30:30 s repetidos hasta la extenuación utilizando diferentes amplitudes de trabajo (110%-60%, 100%-70% y 90%-80% de la VAM respectivamente). La pausa pasiva permitió recorrer una mayor Dlim que la activa (2077 m y 1219 m respectivamente,  $p < 0,001$ ) en una sesión de HIT de intervalos de 15:15 s repetidos hasta la extenuación (245). En el presente estudio, los participantes recorrieron una media de 7302,98 m con pausa activa y 8214,96 m con pausa pasiva repitiendo intervalos de 2:2 min a la VAM hasta la extenuación no alcanzándose significación estadística aunque el p-valor se situó en niveles de tendencia ( $p=0,093$ ).

Un dato curioso es que, aunque los TTE conseguidos empleando la pausa activa y pasiva no correlacionaron, sí lo hicieron las Dlim ( $r = 0,685$ ;  $p = 0,029$ ). La Dlim refleja la interacción de la velocidad y la capacidad de resistencia a dicha velocidad, con lo que es una variable que incluye la influencia de los factores neuromusculares en el rendimiento. Por lo tanto, los beneficios del entrenamiento también dependen de la distancia cubierta a alta intensidad ya que determina el la adaptación muscular al maximizar el número de contracciones musculares de elevada potencia (5).

#### 3.7.1.4. Efectos sobre la eficiencia de la sesión

En sesiones con CP los participantes de este estudio estuvieron el 24,42 y 34,37% del TTT en  $VO_{2max}$  siguiendo pausa activa y pasiva respectivamente ( $p = 0,062$ ). Igualmente, se logró que en un 46,30 y 46,39% del TTT con pausa activa y pasiva los atletas estuviesen en consumos de oxígeno  $\geq 90\%VO_{2max}$  ( $p = 0,978$ ). En la sesión con CE, la eficiencia volvió a ser similar con los dos tipos de pausa tanto para el  $TTVO_{2max}$  (33,04 y 22,29% para la pausa activa y pasiva respectivamente;  $p = 0,829$ ) como para el  $TT90\%VO_{2max}$  (52,52 vs 40,68% para la pausa activa y pasiva respectivamente;  $p = 0,393$ ). En ninguno de los casos, el tipo de pausa afectó a la eficiencia de la sesión, por lo que se rechaza la tercera hipótesis planteada en la que esperábamos encontrar una mayor eficiencia con la pausa activa.

Estos valores fueron similares a los conseguidos en otros estudios que emplearon el HIT con diseño largo (223,346). En el estudio de Millet et al. (223) en 11 min de trabajo a elevada intensidad con un diseño de HIT largo de 60:30 s se alcanzó una eficiencia del 27,2% y 80,4% para el  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  respectivamente. Aumentando la duración de los intervalos de carga:pausa (50%:50%  $T_{lim}$ ), obtuvieron una eficiencia del 33% y 67% con respecto al TTT para el  $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$  respectivamente. En el estudio de Rozenek et al. (346), se completaron 8 intervalos de 60:15 s a la VAM y con recuperación activa al 50% de la VAM consiguiendo una eficiencia del  $TT90\%VO_{2max}$  del 67% con respecto al TTT a alta intensidad. Tras 15 min de trabajo a elevada intensidad (5 x 3 min) (240) se registraron alrededor de 9 min de  $TT90\%VO_{2max}$ , lo que supuso una eficiencia del 60%. En otros trabajos con HIT de diseño corto, la pausa activa logró ratios de eficiencia significativamente superiores en comparación con la pasiva (161,235). Por ejemplo, intervalos de 30:30 s al 105% de la VAM permitieron unos ratios de eficiencia  $TTVO_{2max}/TTE$  (42,1% vs 13,8%;  $p < 0,05$ ) y  $TT90\%VO_{2max}/TTE$  (67,7% vs 24,2%;  $p < 0,001$ ) superiores con pausa activa (161). En el estudio de Dupont y Berthoin (235), se vuelven a encontrar valores de eficiencia superiores con pausa activa en comparación a la pasiva tanto para  $TTVO_{2max}/TTE$  (41,2% vs 25,4%;  $p < 0,001$ ) como para  $TT90\%VO_{2max}/TTE$  (64,3% vs 43,2%;  $p < 0,05$ ).



El número de intervalos que se deben prescribir para el entrenamiento (duración de la serie) debe decidirse en función del objetivo de la sesión: carga total o  $TTVO_{2max}$  esperado. Siempre que el objetivo sea obtener un máximo rendimiento de  $TTVO_{2max}$ , se debe tener en cuenta el  $TAVO_{2max}$  y el  $TTVO_{2max}/TTE$  (150). Por lo tanto, según los resultados de este estudio, para poder mantener el diseño 2:2 min a la VAM se debería extender el trabajo a elevada intensidad a los 30 min para asegurar los 10 min de  $TTVO_{2max}$  recomendados independientemente del tipo de pausa empleado. Se plantea entonces la opción de agrupar los intervalos de carga:recuperación en bloques y establecer un número determinados de series. En este caso, se necesitan criterios que ayuden a establecer el mejor diseño para la duración de la serie, el número de series y la recuperación entre series que sea más adecuado para mantener los criterios de efectividad. En nuestro estudio, 30 min para muchos de los participantes sería un volumen de entrenamiento imposible de llevar a cabo ya que la media del TTE en las sesiones con CE fue inferior. En los HIT con diseño corto, se ha observado que la agrupación de las series en bloques no produjo mejoras en el rendimiento en  $TT90\%VO_{2max}$  aunque sí permitió mayor TTE, por lo que la eficiencia de la sesión de HIT descendió (160). Analizando la respuesta en sesiones de HIT con agrupación en series con diseño corto y largo, se encontró un menor  $TT90\%VO_{2max}$  con HIT corto y, aunque fue superior con HIT largo, la pausa entre bloques de series no mejoró la solicitación cardiorrespiratoria en la segunda serie (223). La agrupación en series se relaciona con el descenso acusado del  $VO_2$  y FC en los intervalos de recuperación que dificulta la consecución del  $VO_{2max}$  o  $VO_2$  próximos a él en los primeros intervalos de la siguiente serie. Por lo tanto, para poder acumular un  $TTVO_{2max}$  óptimo, se debe prestar especial atención al número de series que se diseña para una sesión de HIT que empleen intensidades supramáximas (150). Sin embargo, en los HIT con diseño largo es una práctica menos habitual la agrupación en bloques.

### **3.7.2. Efectos del tipo de pausa sobre la respuesta cardiorrespiratoria**

El  $VO_{2max}$  es uno de los principales factores evaluados para determinar las adaptaciones aeróbicas de un programa de entrenamiento. El aumento del  $VO_{2max}$  en deportistas se asocia al hecho de que, durante los entrenamientos, los ejercicios

propuestos logran solicitar un elevado porcentaje del  $VO_{2max}$ . Por lo tanto, el porcentaje del  $VO_{2max}$  alcanzado y el tiempo que se mantiene con un método de entrenamiento se consideran unos criterios adecuados para analizar la efectividad del estímulo de un método de entrenamiento (161) incluso llegando a considerarse indicadores más robustos sobre la efectividad del entrenamiento en comparación con el  $VO_{2pico}$  alcanzado (239).

Los datos observados en esta Tesis Doctoral permiten confirmar la cuarta hipótesis ya que la pausa activa provocó una respuesta cardiorrespiratoria superior en comparación con la pausa pasiva en las sesiones con CP y CE, coincidiendo con hallazgos previos (144,152) si bien no con otros (245,268). Cabe destacar que la pausa pasiva produjo  $VO_{2p}.\%VO_{2max}.C$  significativamente superiores ( $p = 0,044$ ) aunque sólo en las sesiones con CP.

Se ha propuesto que la recuperación activa podría posibilitar una mayor disponibilidad de la vía aeróbica en el siguiente intervalo de carga gracias a una cinética del oxígeno más rápida (146) que permitiría acumular más tiempo en niveles próximos al  $VO_{2max}$  e incrementar la tolerancia del ejercicio (29,300-302). Actualmente, se ha constatado que la pausa activa, a pesar de mantener  $VO_2$  superiores, provoca una desoxigenación de la Hb mayor en comparación con la pausa pasiva además de mantener peor el rendimiento en sprints repetidos (144,152). En nuestro trabajo, tanto en las sesiones con CP como CE, el  $VO_{2m}$  alcanzado en los intervalos de recuperación fueron superiores empleando la pausa activa en comparación con la pasiva ( $p= 0,001$  y  $p < 0,001$ , respectivamente). Así, se ha interpretado que, en sesiones de HIT con diseño corto, la pausa activa convierte el entrenamiento en una forma particular de actividad continua que consiste en aceleraciones y desaceleraciones similares a un *fartlek* mientras que la pausa pasiva se podría considerar el tipo de recuperación correspondiente a un ejercicio intermitente, donde periodos de ejercicios repetidos se intercalan con periodos de recuperación incompleta (245). Debido a esto, se ha argumentado que la energía requerida para mantener la actividad durante el intervalo de pausa con recuperación activa podría resultar en una menor disponibilidad de oxígeno para recargar la Mb y Hb (245) afectando al rendimiento en los intervalos de

carga siguientes (144,152). De hecho, aunque algunas de las variables de la respuesta cardiorrespiratoria fueron superiores con pausa activa en comparación con la pasiva, no se tradujo en un mejor rendimiento durante las sesiones de HIT.

En las sesiones con CP la pausa activa logró mantener un  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  superior en comparación con la pausa pasiva ( $p = 0,037$ ), en concreto entre las C2 ( $p = 0,021$ ), C3 ( $p = 0,039$ ) y C4 ( $p = 0,001$ ). La superioridad de la pausa activa para lograr un  $VO_{2m}$  en las cargas en comparación con la pasiva se mantiene en el análisis de los valores promedio de la sesión con  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  sesión de 88,35% y 84,27% del  $VO_{2max}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente ( $p = 0,008$ ). Las diferencias en la sollicitación de la respuesta cardiorrespiratoria entre los dos tipos de pausa se pierden en las sesiones con CE, por lo que no hay diferencias en los  $VO_{2m}$  alcanzados en las cargas tanto analizándolos en cada momento de medición como el promedio de la sesión. En concreto, los  $VO_{2m}.\%VO_{2max}.C$  sesión en las CE, representaron el 89,34% y 85,13% del  $VO_{2max}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente ( $p = 0,173$ ).

Una sesión de HIT con diseño corto realizado hasta la extenuación, permitió  $VO_{2m}$  promedios en la sesión de 85,4% y 84,1% para la pausa activa y pasiva respectivamente, valores ligeramente inferiores al nuestro en relación a la pausa activa y similar a la pasiva (268). En otro trabajo, un diseño de HIT 15:15 s permitió alcanzar un  $VO_{2m}$  de 71,6% del  $VO_{2max}$ , que fue significativamente inferior a sesiones con diseño 30:15 s y 60:15 s (todos con recuperación activa) en los cuales se alcanzaron valores del 84,6% y 87,9% de su  $VO_{2max}$  respectivamente (346). También se compararon sesiones de HIT con diseño 10:20 s a diferentes intensidades (93,4%, 101,9% y 111% de la VAM) con el objetivo de analizar la respuesta fisiológica en cuanto a la sollicitación aeróbica y glucolítica (244). Se observó que los atletas lograban alcanzar al final de las sesiones el 54%, 58,5% y 64% del  $VO_{2max}$  respectivamente, valores inferiores a los nuestros. Expresados en valores absolutos, los  $VO_{2m}.C$  sesión en las sesiones con CE fueron  $49,26 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y  $46,97 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente ( $p = 0,186$ ). Son valores similares a los generados en una sesión de 30:30 s realizada hasta la extenuación donde la pausa activa logró  $VO_{2m}$  significativamente superiores en comparación con la pasiva ( $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y 40

ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> respectivamente; p < 0,05) (231). De nuevo, los valores presentados en nuestro estudio son similares a otros trabajos (235, 248), donde se repitieron hasta la extenuación intervalos de 15:15 s bien con pausa activa o con pasiva (51,6 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> y 49,4 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) e igualmente sin alcanzar diferencia significativa.

Por otro lado, la pausa pasiva consiguió valores de VO<sub>2p</sub>.C.sesión superiores a la activa en valor absoluto (56,56 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> vs 53,47 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, p = 0,045) y también expresados en relación al VO<sub>2max</sub> de cada participante (97,39% vs 94,25%, p = 0,047) en las sesiones con CP. Sin embargo, estas diferencias desaparecen en las sesiones con CE, encontrando VO<sub>2p</sub>.C.sesión de 55,65 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> para la pausa activa y 54,27 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> para la pasiva (p = 0,583) y VO<sub>2p</sub>.%VO<sub>2max</sub>.C.sesión del 95,84% para la pausa activa y 96,05% para la pasiva (p = 0,944). Otros estudios han reportado el valor del VO<sub>2pico</sub> en sesiones de HIT (235,239,244,268,346). Con diseños de sesiones de HIT sin realizarse hasta la extenuación, se han reportado VO<sub>2p</sub> en relación al VO<sub>2max</sub> de 78,3% con un diseño 15:15 s, los cuales fueron significativamente inferiores a los conseguidos con 30:15 s (96,4%) y 60:15 s (100,9%) (346). Igualmente, intervalos 10:20 s permitieron conseguir VO<sub>2p</sub> en relación al VO<sub>2max</sub> de 71%, 80,4% y 85,6% corriendo al 93,4%, 101,9% y 111% de la VAM respectivamente (244). Los valores conseguidos en nuestro estudio son superiores a muchos de estos resultados, posiblemente por haber empleado un diseño de intervalos carga:pausa largo que han mostrado mayor sollicitación del sistema cardiorrespiratorio en sesiones de HIT en comparación con diseños cortos (90,223,252). Así, empleando un diseño más largo (50%:25% del Tlim) realizándolo hasta la extenuación, el VO<sub>2p</sub> conseguido fue de 63,6 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, que representaba el 112% del VO<sub>2max</sub> (239) y con intervalos de 4 min se llegó a alcanzar el 94-95% del VO<sub>2max</sub> (241). Una sesión de HIT empleando intervalos de carga:pausa de 2 min, 4 min y 6 min consiguieron un promedio de VO<sub>2p</sub> de 92% del VO<sub>2max</sub>, mientras que intervalos más cortos (1 min) alcanzaron una media de 82% del VO<sub>2max</sub> (252). Sin embargo, nuestros valores fueron ligeramente inferiores a los reportados en otros trabajos que emplearon sesiones de HIT con diseño corto. Por ejemplo, intervalos de 15:15 s consiguieron valores de VO<sub>2p</sub> similares entre ambos tipos de pausa expresados tanto en valores absolutos (57,1 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> vs 55,5 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> para la pausa activa y pasiva respectivamente) como relativos al VO<sub>2max</sub> (103,9% vs 100,7% para la pausa

activa y pasiva respectivamente) (268). Igualmente, los  $VO_{2p}$  alcanzados en nuestro trabajo fueron inferiores a los reportados en otro (61,6  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  y 60,8  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente) donde se empleó un diseño de HIT corto (15:15 s) (235).

En resumen, otros estudios, al igual que el nuestro en las sesiones con CP, han encontrado un aumento de la potencia media ( $VO_{2m}$ ) en la sesión cuando se empleaba la recuperación activa (146,152,231,259,355) aunque otros, al igual que en las sesiones con CE de nuestro estudio, no encontraron diferencia entre ambos tipos de pausa (245,268).

En cuanto a la respuesta cardíaca, analizando los valores promedio, la pausa activa logró  $FC_m \cdot C$ .sesión superiores a la pasiva tanto en las sesiones con CP (158,56 vs 151,81 ppm;  $p < 0,001$ ) como con CE (162,26 vs 156,01 ppm;  $p = 0,001$ ). La  $FC_{max} \cdot C$ .sesión fue superior con la pausa activa en comparación con la pasiva en las sesiones con CP (169,28 vs 166,34;  $p = 0,050$ ) y con CE (173,35 vs 170,32;  $p = 0,007$ ). Por último, la  $FC_m \cdot P$ .sesión fue superior con recuperación activa que con pasiva tanto en sesiones con CP (142,64 vs 114,64 ppm;  $p < 0,001$ ) como con CE (149,13 vs 120,8 ppm;  $p < 0,001$ ). El efecto acumulativo entre los intervalos puede ser especialmente importante diseños cortos ( $< 30''$ ) y medio-largos (1-2') ya que no siempre permiten alcanzar la  $FC_{max}$  debido al retraso de la FC al comienzo del ejercicio (150). Se ha observado que la pausa activa logró mantener FC superiores en comparación con la pasiva en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad (144,357) mientras que otros estudios encontraron una respuesta cardíaca similar (245,268). Repitiendo intervalos de 15:15 s hasta la extenuación, se alcanzó una  $FC_{max}$  con pausa activa y pasiva (183,3 vs 182,5; 99,7% vs 99,2% de la  $FC_{max}$ ) y una  $FC_m$  (166,6 vs 165,6 ppm; 90,7% vs 90,1% de la  $FC_{max}$ ) similar con ambos tipos de recuperación (268). De nuevo, con una sesión de HIT con diseño corto (15:15 s) realizado hasta la extenuación, la  $FC_{max}$  (184,9 vs 185 ppm; 97,1% vs 97% de la  $FC_{max}$ ) y la  $FC_m$  (174,2 vs 175,5 ppm; 91,3% vs 92% de la  $FC_{max}$ ) alcanzadas fueron similares con ambos tipos de pausa. Los valores de la  $FC_m \cdot C$ .sesión y  $FC_{max} \cdot C$ .sesión de nuestro estudio son ligeramente inferiores a los reportados por estos trabajos. La FC aumenta de manera lineal con el  $VO_{2max}$  (excepto en los valores

próximos al máximo) aunque su pendiente de crecimiento depende de la edad, estado de entrenamiento, posición corporal, tipo de ejercicio y posibles problemas de salud (31). Por lo tanto, diferencias en el diseño de la sesión podrían explicar las discrepancias, ya que intervalos muy cortos mantienen una respuesta de  $VO_2$  y FC elevada incluso en el intervalo de pausa lo que podría facilitar la consecución del  $VO_{2max}$  y  $FC_{max}$  en el siguiente intervalo de carga (5). Además de las diferencias metodológicas comentadas anteriormente, otros factores pueden afectar a la  $FC_{max}$  como el nivel de condición física. Los participantes en nuestro trabajo realizaban un entrenamiento sistemático de resistencia (6 d/semana), participaban en competiciones de forma regular y mostraron una elevada condición aeróbica ( $VO_{2max} = 59 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Se ha observado que la  $FC_{max}$  desciende como adaptación al entrenamiento de resistencia (20). En el estudio de Seiler y Hetlelid (241), 12 sujetos entrenados en resistencia completaron 6 intervalos de 4 min con intervalos de recuperación de diferente duración (1 min, 2 min y 4min), alcanzando un promedio de  $FC_{max}$  de 179 ppm para intervalos de 1 y 2 min y 178 ppm para 4 min. Estos valores son más similares a los alcanzados en nuestro trabajo posiblemente por mayor similitud en la muestra y por el tipo de sesión de HIT desarrollado.

Por otro lado, se observó un incremento significativo de la FC a lo largo de la sesión para la  $FC_m.C$ ,  $FC_{max}.C$  y  $FC_m.P$  tanto en las sesiones con CP como con CE, resultados que coinciden con otros estudios (241,243,252,368). Este fenómeno debe ser tenido en cuenta a la hora de prescribir la intensidad de una sesión de HIT cuando se hace sólo a través de la FC (243). Un dato interesante es que, en las sesiones con CE, la  $FC_m.C20\%$  fue significativamente inferior al resto de los momentos de medición hasta el final de la sesión, mientras que la  $FC_{max}.C20\%$  y  $FC_m.P20\%$  fueron inferiores hasta los valores de la C80% respectivas a cada variable, descendiendo de nuevo en el momento final de la sesión cuando los participantes llegaban a la extenuación. Se ha observado que, en esfuerzos prolongados de intensidad moderada tras, aproximadamente 10 min de trabajo, se produce un fenómeno denominado deriva cardiovascular caracterizada por un descenso del VS y de la presión arterial media y pulmonar a la vez que aumenta la FC para mantener un GC constante (369). Por lo tanto, el aumento de la FC observado en nuestro estudio podría corresponder a un ajuste realizado por el

organismo para mantener el GC a pesar de la disminución del VS, el cual se asocia a incrementos de la temperatura central y a la deshidratación (369).

Igualmente, el  $VO_{2m}$  y  $VO_{2p}$  (expresado como valor absoluto o relativo al  $VO_{2max}$  de cada participante) aumentaron desde la C1 hasta la C4 en las sesiones con CP. En el caso de las sesiones con CE, el  $VO_{2m} \cdot \%VO_{2max} \cdot C$  también alcanzó valores diferentes en función del momento de medición y los  $VO_{2p}$  (expresados en valor absoluto y relativo al  $VO_{2max}$  de cada participante) mostraron un p valor próximo a la zona de rechazo de la hipótesis nula. Al visualizar los gráficos, se observa una caída de los valores de  $VO_{2m}$  y  $VO_{2p}$  hacia el final de la sesión con CE con ambos tipos de pausa. Esta tendencia al descenso del  $VO_2$  durante las sesiones con CE coincide con el aumento de la  $FC_m$ . La trayectoria del  $VO_2$  durante un ejercicio refleja el desarrollo de la fatiga muscular y es un factor determinante de la tolerancia al ejercicio intermitente (231). Los corredores de resistencia necesitan, sobre todo, resistencia cardiovascular o habilidad para mantener un gran volumen de sangre a los músculos activos a medida que la precarga del corazón se va reduciendo debido a la sudoración (deshidratación) y a un descenso de la resistencia periférica por un aumento de la temperatura central (15). Se ha observado un descenso del  $VO_2$  en un esfuerzo continuo hasta la extenuación en cicloergómetro a pesar de un aumento en la capacidad de extracción de  $O_2$  en la musculatura activa (112). El descenso del  $VO_2$  se correspondió con un menor  $VO_2$  de la musculatura de la pierna. Los autores atribuyen este descenso del  $VO_2$  previo a la fatiga a una incapacidad de mantener el GC y aporte de  $O_2$  a la musculatura a pesar de que la FC aumentó hasta el final. El descenso del  $VO_2$  previo a la fatiga también fue observado en una sesión de HIT realizada hasta la extenuación (161). Los autores atribuyen el menor  $VO_2$  a una disminución de la ventilación debido a una caída del volumen corriente aproximadamente a partir del 70% del TTE. Comprobaron que la frecuencia respiratoria aumentó ante esta situación pero no fue suficiente para compensar la menor ventilación. En sujetos altamente entrenados que son capaces de mantener altas ventilaciones en esfuerzos intensos, los músculos respiratorios requieren entre 10-15% del flujo sanguíneo de todo el organismo (370). Éste es disputado entre los músculos respiratorios y el resto de tejidos, en especial la piel (para la regulación de la temperatura) y los músculos esqueléticos activos (371). Las

principales consecuencias de la fatiga del diafragma es que, por un lado, disminuirá su contribución a la ventilación total y, por otro, aumentará la frecuencia respiratoria llevando a una situación de menor eficiencia respiratoria en el ejercicio de alta intensidad (370,372,373). La magnitud de la fatiga de la musculatura respiratoria y la probabilidad de su aparición aumenta a intensidades superiores del 85%  $VO_{2max}$  (373), con lo que es probable que fuese un mecanismo que se relacionó con el desarrollo de la fatiga en las sesiones con CE. El trabajo respiratorio afectaría a la respuesta cardiovascular a través de dos mecanismos: 1) una parte del GC (14-16%) se dirige a los músculos respiratorios para mantener sus requerimientos metabólicos y 2) el flujo de sangre hacia el músculo activo se reduce a causa de una vasoconstricción generalizada mediada por el sistema simpático (374). De hecho, diferentes estudios observaron que el trabajo de la musculatura respiratoria afectó al rendimiento muscular en esfuerzos de intensidad elevada ( $\geq 90\%VO_{2max}$ ) (371,374-377). La fatiga de los músculos respiratorios inducida previamente a un esfuerzo realizado hasta la extenuación en cicloergómetro al 90% de la máxima capacidad, indujo un menor  $Tlim$  y, en el último minuto, descensos significativos del  $VO_2$  y FC en comparación con el mismo test sin fatiga previa (375). Este proceso se observó en la respuesta de la  $FC_{max}$  de nuestro trabajo, la cual aumentó desde la C20% hasta la C80% para luego recuperar valores similares a los del principio en los momentos previos a la extenuación. Sin embargo, existen estudios que no han encontrado una relación entre fatiga respiratoria y periférica con el rendimiento en un esfuerzo dinámico de resistencia (378,379). Parece que hay un umbral de activación del metaborrelejo causado por la fatiga respiratoria (373,380) ya que no se encontró esta respuesta en ejercicios submáximos o en esfuerzos que no causaron fatiga de los músculos inspiratorios (381).

En definitiva, la respuesta del  $VO_2$  y FC en esfuerzos de intensidad elevada indican que fenómenos complejos y de diferente origen interaccionan para determinar la finalización del esfuerzo cuando el sujeto llega a la extenuación. La deshidratación e hipertermia así como la fatiga de la musculatura respiratoria interaccionan entre sí para determinar la respuesta cardiovascular y el aporte de  $O_2$  a la musculatura activa, la cual se vería reducida significativamente en los momentos previos a la fatiga llevando al sujeto a la finalización del esfuerzo.



### 3.7.3. Efectos del tipo de pausa sobre la respuesta metabólica

Uno de los objetivos de este trabajo era el de evaluar el efecto del tipo de pausa empleado en los intervalos de recuperación sobre la respuesta metabólica durante las sesiones de HIT. Nuestros datos revelan que la pausa activa permitió a los participantes realizar las sesiones de HIT con menor  $[La]_s$ , pero su capacidad de remoción durante las pausas fue la misma que la de la pasiva. Estos datos nos llevan a aceptar nuestra quinta hipótesis.

Se alcanzaron valores de  $[La]_{carga,sesión}$  de 5,33 y 5,91  $mMol \cdot L^{-1}$  en las sesiones con CP ( $p = 0,010$ ) y de 6,66 y 7,28  $mMol \cdot L^{-1}$  en las sesiones con CE ( $p = 0,046$ ) para la pausa activa y pasiva respectivamente. En las sesiones con CE, las  $[La]_{C100\%}$  fueron de 8,91 y 9,28  $mMol \cdot L^{-1}$  para la pausa activa y pasiva. Estos datos son inferiores a los reportados por otros estudios de HIT. Por ejemplo, la ejecución de 6 repeticiones de 15 s a sprint con recuperaciones de 3 min consiguieron valores similares de  $[La]_s$  con ambos tipos de pausa (9,09 vs 10,05  $mMol \cdot L^{-1}$  para pausa activa y pasiva;  $p = 0,37$ ) (260). La repetición de intervalos hasta la extenuación de 30:30 s al 110% de la VAM con recuperación activa (50% de la VAM), ya fuese de forma continuada o agrupados en series, lograron  $[La]_s$  de 10,7 y 11,5  $mMol \cdot L^{-1}$  respectivamente sin diferencia estadísticamente significativa (160). Se registraron valores de  $[La]_s$  de 13,5  $mMol \cdot L^{-1}$ , 11,4  $mMol \cdot L^{-1}$  y 11,8  $mMol \cdot L^{-1}$  ( $p < 0,05$ ) en la repetición de sprints (8 x 25 m) con recuperación pasiva, activa de baja y elevada intensidad respectivamente (264). Con intervalos de 15:15 s realizados hasta la extenuación, se observaron  $[La]_s$  de 12,6 y 13,1  $mMol \cdot L^{-1}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente (268). Las intensidades supramáximas escogidas en estos trabajos podrían explicar que nuestros valores sean inferiores a estos. Por ejemplo, repetir intervalos de 30:30 s hasta la extenuación a una intensidad del 110% de la VAM generó mayores  $[La]_s$  en comparación con el 100% de la VAM (230). Otros trabajos con duraciones del intervalo de carga superiores ( $\geq 4$  min) y realizados a elevadas intensidades (85 y 95% de la velocidad/potencia aeróbica máxima) consiguieron  $[La]_s$  de entre 6 y 7  $mMol \cdot L^{-1}$  (125,239,241,271,364), valores más próximos a los nuestros. Cuando la intensidad era la VAM, 7 repeticiones de 2:2 min a la VAM con pausa pasiva generaron una  $[La]_s$

pico de  $8,8 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $\pm 3,6$ ) (90), valores próximos a los nuestros ya que en la última carga en las sesiones con CE se alcanzaron  $9,28 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Por el contrario, cuando la velocidad es la misma, los HIT de diseño largo generan una  $[\text{La}]_s$  superior a los cortos (158,253). Igualmente, en nuestro diseño se mantuvo una relación 1:1. Reducir el intervalo de recuperación con respecto al de carga provocó un aumento de la  $[\text{La}]_s$  (152,346) especulándose que, especialmente con intervalos de recuperación muy cortos, podría generar una resíntesis de PCr insuficiente y aumentar la dependencia de la glucólisis (152). Diferencias en las muestras empleadas entre estudios podrían también explicar parte de las menores  $[\text{La}]_s$  encontrados en nuestro trabajo. Se ha observado que una de las adaptaciones del entrenamiento de resistencia es la menor liberación de lactato a sangre (19) así como una mayor remoción (382) por una mayor capacidad de gluconeogénesis no sólo después de un esfuerzo sino también durante el mismo (118) o bien para utilizar el lactato como sustrato durante el esfuerzo de resistencia (383). Los participantes de nuestro estudio eran sujetos entrenados en esfuerzos de resistencia, lo que podría explicar los bajos valores de  $[\text{La}]_s$ .

Existe un gran cuerpo de evidencia que indica que la recuperación activa es una estrategia adecuada para disminuir la  $[\text{La}]_s$  (272-278,278-281). El lactato se oxida en los músculos cuando se contraen a baja intensidad y como la redistribución del lactato a zonas especializadas en su consumo (corazón, fibras ST o hígado para el ciclo de Cori) depende del flujo sanguíneo (135), la recuperación activa se postula como un método útil para eliminarlo tras el ejercicio intenso (274). Con lo cual, ante las altas concentraciones de lactato alcanzadas durante esfuerzos de elevada intensidad, se espera que la recuperación activa facilite la remoción y permita tolerar mayor carga de trabajo (5,268). Al igual que los datos del presente trabajo, analizando el efecto del tipo de pausa sobre la  $[\text{La}]_s$  se observaron mayores valores con pausa pasiva (265-267,270,281,367) aunque en otros estudios fue la pausa activa la que generó más  $[\text{La}]_s$  o (144,196) o hubo una respuesta similar entre ambos tipos de pausa (146,245,260,268,271,287).

Por otro lado, las  $[La]_{\text{pausa}}$ -sesión fue superior con la pausa pasiva en las sesiones con CP ( $p = 0,007$ ) y mostró una tendencia a serlo en las sesiones con CE ( $p = 0,068$ ), sin detectarse efecto en la capacidad de remoción. Resulta complicado saber si las  $[La]_s$  más altas registradas con la pausa pasiva se deben atribuir a una mayor producción (necesidades energéticas adicionales) o por una peor capacidad de oxidación (144). Los mayores niveles de lactato sanguíneo observados en las cargas y, en general, en las pausas, nos hace pensar en una probable mayor dependencia de la vía glucolítica como respuesta a la demanda de ATP empleando la pausa pasiva durante las sesiones de HIT. Tras observar una mayor respuesta cardiorrespiratoria con la pausa activa, es posible que ésta lograra una mayor contribución del metabolismo aeróbico durante las sesiones. Aún así, como el rendimiento fue similar, es posible que la pausa activa generara una mayor demanda energética como se ha visto en otros estudios de HIT, lo que llevaría a inhibir procesos regenerativos que contrarrestasen la mayor contribución aeróbica (144,152). En estos trabajos, una demanda energética más elevada fue acompañada de mayores  $[La]_s$  (144,196) o similares entre pausa activa y pasiva (152). La  $[La]_s$  es el reflejo entre los mecanismos de producción y eliminación y, por lo tanto, es posible que se esté produciendo lactato muscular sin que se refleje en sangre (282).

Otro aspecto analizado fue el efecto del tipo de pausa sobre la capacidad de remoción de lactato sanguíneo durante los 2 min del intervalo de recuperación. En este caso, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de pausa ni en las sesiones con CP (- 0,38 vs - 0,25  $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $p = 0,657$ ) ni con CE (0,06 vs - 0,25  $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $p=0,632$ ). Nuevos conocimientos surgen sobre el papel que juega el ácido láctico en el metabolismo y resíntesis de ATP (132,135,384). Una vez que se produce ácido láctico, para poder utilizarlo hay dos posibilidades (135,384):

- a. En la propia célula:
  - Se convierte de nuevo en ácido pirúvico y de ahí pasa al proceso de glucogénesis.

- Se convierte en ácido pirúvico, se introduce en la mitocondria y se utiliza en el metabolismo oxidativo.
- b. Entre células:
- Entre fibras glucolíticas y oxidativas en una masa muscular activa.
  - Entre músculo esquelético y corazón.
  - Entre tejidos productores de lactato y consumidores para iniciar la gluconeogénesis.

Por lo tanto, durante la sesión de HIT, 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, entre fibras vecinas o en otros tejidos tras haber salido a sangre. La similitud en la capacidad de remoción encontrada en el presente estudio podría tener diferentes causas. Por un lado, la tasa de remoción de lactato es dependiente de su concentración: a mayor  $[La]_s$ , mayor es la tasa de remoción (158). Es posible que la pausa pasiva genere  $[La]_s$  elevadas lo que estimularía también su remoción solventando la desventaja de producir menos circulación sanguínea que ayude a trasladar el lactato a tejidos que lo capten para su oxidación, aunque no fue suficiente como para igualar las  $[La]_{pausa}$ . Por otro lado, la demanda energética que supondría la pausa activa podría haber sido demasiado elevada y bloquear la remoción de lactato sanguíneo o incluso prolongar la glucogenolisis (367). En HIT cortos y supramáximos, la pausa activa provocó un peor mantenimiento del rendimiento debido a una mayor desoxigenación de la Hb (144,152,268) que se acompañó con mayores  $[La]_s$  (144) o bien con valores similares (152). Los autores especulan que la pausa activa generaría mayor depleción de PCr por el bloqueo de aporte de  $O_2$  lo que se traduciría en una mayor producción de lactato al incrementarse la dependencia glucolítica. En HIT de diseño más largo como el nuestro, es poco probable que la resíntesis de PCr estuviese limitada ya que se ha observado que intervalos de  $\geq 15$  s permitieron recuperar gran parte de los depósitos de PCr (196,358) aunque no de forma completa. Por ejemplo, aproximadamente 4 min después de un ejercicio previo fatigante, los depósitos de

PCr se recuperaron hasta alcanzar el 76% de los valores en reposo (360). Estudios previos han determinado que se producía una remoción de lactato sanguíneo más rápidos a intensidades de trabajo entre el 60 y 100% del U.Láctico (274). Pero es posible que la pausa activa destinase la reoxidación del lactato producido para mantener la propia actividad de la recuperación bloqueando la restauración de los depósitos de PCr y/o de glucógeno (367).

Diferentes investigaciones han mostrado que el lactato es una fuente útil de carbohidratos que puede reservar la glucosa sanguínea y el glucógeno del hígado ante incrementos de la demanda energética (385). 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. Por lo tanto, la principal vía de reutilización del ácido láctico será la oxidación, teniendo lugar en especial durante las pausas activas (283,386).

Otra posible explicación de la similar respuesta de remoción con ambos tipos de pausa podría ser que en 2 min de recuperación la actividad de la pausa activa no fue suficiente como para permitir el traslado del lactato sanguíneo a otros tejidos para su captación y reutilización. Como además se ha evidenciado que durante el esfuerzo la musculatura activa es el principal destino para la reoxidación del lactato (282,283,387), la ventaja asociada a la recuperación activa de una mayor circulación sanguínea que lleve el lactato a otros tejidos pudo no llegar a ser suficiente. Como la pausa pasiva generó  $[La]_s$  superiores en cargas y pausas en comparación con la activa, se podría interpretar que aquellos sujetos que poseían una mayor capacidad para reutilizar el lactato en su musculatura activa, esto es, sin depender del aumento de la circulación y reutilización del lactato por otros órganos, serían los que mayor TTE conseguirían. De hecho, se observó que la musculatura activa de la pierna extrajo una cantidad de lactato significativa a la vez que se liberaba a sangre en un ejercicio incremental en cicloergómetro (355, 388). Según este estudio la capacidad de extracción se debería a las características de las fibras tipo I y II. A intensidades altas, más fibras tipo II son

reclutadas. Estas fibras tienen más cantidad de la isoenzima M-LDH y bajo contenido mitocondrial, con lo cual, al ser estimuladas, tienden a producir más lactato. Las fibras tipo I, tienen más cantidad de la isoenzima H-LDH, que transforma el lactato en piruvato durante la contracción muscular además de poseer más masa mitocondrial. En esta investigación se calculó que la musculatura de los miembros inferiores fue la responsable de la oxidación del 40% y del 60% del lactato total reutilizado a intensidades de 49W y 98W en un esfuerzo incremental en cicloergómetro. Los autores especulan que, aunque a intensidades superiores los cálculos no son precisos debido a la inexistencia de un steady-state, la musculatura de las piernas se responsabilizó del 60 al 80% de la reutilización total del lactato. Es decir, este y otros estudios indican que la musculatura activa es el principal recurso para reutilizar lactato para, secundariamente, ser oxidado en el hígado, corazón, riñones y musculatura menos activa (282,283,387). Los atletas entrenados en disciplinas de resistencia han mostrado tener una mayor proporción de fibras tipo I en la musculatura entrenada en comparación con personas sedentarias (12,27). 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 (389). 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 (27) lo que podría ayudar a que éstas dependiesen menos de las vías glucolíticas para conseguir ATP. En una sesión de HIT, no encontraron diferencia estadísticamente significativa en la  $[La]_s$  con pausa activa o pasiva en intervalos de recuperación de 3 min (260). Así que, en general, parece que son necesarios intervalos de pausa superiores a los 3 min para percibir los beneficios de limpieza de la pausa activa sobre la  $[La]_s$  (146,255,260,281,283,390). Estas condiciones ayudarían a entender la falta de diferencia estadística entre las  $Diff[La]_s$  sesión y la relación entre esta variable con el TTE cuando se empleó la pausa pasiva en las sesiones con CE ( $r = 0,638$ ;  $p = 0,047$ ), ya que una mayor capacidad oxidativa de las fibras podría estar relacionado con una menor producción de lactato y/o mayor capacidad de su reoxidación como sustrato energético.

Desde la perspectiva del deporte, la relación que tiene con el rendimiento esta supuesta mayor limpieza de lactato de la pausa activa resulta relevante (284). En este sentido, se ha reportado que la pausa activa lograba descender más la  $[La]_s$  en sesiones de HIT estando asociada al rendimiento (255,357) o no (257,266,267). En otras sesiones de HIT, la recuperación activa logró menores niveles de  $[La]_s$  pero fue la pasiva la que logró mantener mejor el rendimiento (266,267,285). También se ha reportado que el efecto del tipo de pausa sobre la  $[La]_s$  fue similar en sesiones de HIT pero se consiguió diferente rendimiento (146,152,235,260,268,271). Incluso, se observó que fue la pausa activa la que generó mayores  $[La]_s$  y peor rendimiento que la pausa pasiva (144). Por último, también se obtuvo un efecto similar en la remoción de lactato sanguíneo y rendimiento en esfuerzos posteriores de elevada intensidad con ambos tipos de pausa (265,287). La contradicción entre estos resultados podría ser explicada, además de por diferencias metodológicas entre estudios, por el hecho de que la  $[La]_s$  realmente refleja la interacción entre los mecanismos de producción y eliminación de lactato (152), y, a pesar de que suele estar muy relacionada con el estado metabólico de la célula, no en todas las ocasiones lo explica (134,135). Aunque el rendimiento en las sesiones de HIT de nuestro estudio fue similar con ambos tipos de pausa, se encontró una correlación entre la  $Diff[La].sesión$  y TTE solo cuando se empleó la pausa pasiva en las sesiones con CE. Este resultado indica que aquellos sujetos que lograron eliminar más lactato sanguíneo durante la pausa pasiva fueron los que mayor TTE consiguieron. No se encontró ninguna otra asociación entre las variables de la  $[La]_s$  ni el rendimiento en HIT cuando se empleaba la pausa activa. Igualmente, la  $[La]_s$  alcanzada al final de una sesión de 30:30 s al 110% de la VAM con recuperación activa al 50% de la VAM se correlacionó negativamente con el TTE (160). Por lo tanto, según los autores, los sujetos que tuvieron una menor acidosis fueron los que podían repetir más intervalos de carga por lo que la  $[La]_s$  parece jugar un papel importante en la capacidad de repetir intervalos posiblemente. Así, se observó que la  $[La]_s$  de una sesión de HIT mantuvo una correlación significativa con la  $[La]$  muscular ( $r = 0,91$ ;  $p < 0,05$ ) y que su aumento a lo largo de la sesión se acompañó de descensos de la  $[HCO_3^-]$  sanguíneo y con el mantenimiento del pH (243). En un trabajo previo, tras una sesión de HIT (30:30 s al 105% de la VAM), la recuperación activa provocó un

mayor descenso del pH sanguíneo junto con una mayor reducción de la  $[\text{HCO}_3^-]$  en sangre en comparación con la pausa pasiva (161). Aún así, no fue suficiente como para explicar el mayor rendimiento (TTE) con pausa pasiva porque el punto de fatiga se alcanzó con diferentes valores de pH. De igual modo, en el presente trabajo, las pausas activa y pasiva consiguieron un TTE similar a pesar de las diferencias en la respuesta metabólica. El rendimiento en el ejercicio prolongado de alta intensidad depende de la energía aportada por el glucógeno (116,120,251) y tanto el lactato como la glucosa del hígado y sangre podrían ser sus fuentes (116,118,386,391). En un estudio previo (367), se estableció tras una sesión de HIT un período de recuperación de 60 min, bien pasivo o mixto (30 min activo y 30 min pasivo). Se observó que aunque la remoción de lactato sanguíneo fue mayor con pausa activa, la pasiva también eliminó lactato rápidamente. Tras los 60 min de recuperación, los depósitos de glucógeno muscular fueron mayores con pausa pasiva que con la mixta por lo que los autores interpretan que con pausa pasiva el lactato se aprovechó más para la repleción de glucógeno mientras que en la activa el lactato se empleó también para mantener la propia actividad de la recuperación. Es más, observaron que al finalizar los 30 primeros minutos de recuperación activa (40-50% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) con la metodología mixta, los depósitos de glucógeno eran inferiores con respecto a la pasiva, mientras que los siguientes 30 min de recuperación pasiva consiguieron restaurar los depósitos de glucógeno aunque no al mismo nivel en comparación con la recuperación pasiva sola. Por lo tanto, cabe la posibilidad de que, a pesar de una posible mayor dependencia de la vía glucolítica, los 2 min de pausa pasiva permitieron mantener un equilibrio en cuanto a la demanda/aporte de ATP similar al conseguido con la pausa activa gracias a una reutilización eficaz del lactato como sustrato energético. Sin embargo, las menores  $[\text{La}]_s$  en cargas y pausas encontradas con la recuperación activa podrían estar relacionadas con una reducción en su producción debido a una menor utilización del glucógeno o a una aceleración de la actividad de las enzimas oxidativas que incrementen el uso del  $\text{O}_2$  (12,146). De hecho, se observó una correlación inversa entre la actividad de la enzima citrato sintasa con la  $[\text{La}]_s$  en corredores de resistencia (392).



Los conocimientos adquiridos con las investigaciones sobre el concepto de lanzadera y reutilización del lactato y cómo estos pueden ser utilizados para mejorar el rendimiento está todavía por determinar (384). Muchos autores aseguran que el mal conocimiento del metabolismo del lactato ha llevado a la asunción de errores y a una mala prescripción del entrenamiento (393). La variabilidad encontrada en los resultados entre diferentes estudios puede estar influida igualmente por razones metodológicas puesto que no existe un acuerdo sobre la mejor estrategia para escoger la intensidad de la recuperación activa para reducir la  $[La]_s$  (274,284). Muchas de las investigaciones que han analizado la intensidad de la recuperación y la eliminación de lactato la han prescrito en relación al  $VO_{2max}$ . Se ha observado que la intensidad de la recuperación activa que produce mayores reducciones de la  $[La]_s$  se sitúa entre el 30 y el 70% del  $VO_{2max}$  (273,282). Incluso se ha sugerido que la intensidad de la recuperación podría ser escogida por el sujeto con resultados dispares sobre la capacidad de rendimiento en HIT (287,394). Sin embargo, se ha considerado que una mejor opción sería la de escoger la intensidad de recuperación en relación a la velocidad del U.Láctico, ya que asegura una intensidad de esfuerzo donde se genera eliminación sin producir acumulación (255,272,273). Por otro lado, existe una alta variabilidad en los umbrales lácticos con lo que la prescripción con respecto a la velocidad máxima implicaría diferentes cargas entre los deportistas (255). De todos modos, la intensidad de la pausa no debe atender únicamente a la remoción de lactato sanguíneo, sino que debe facilitar al máximo la recuperación para poder conseguir un estímulo óptimo en el intervalo de carga. Intensidades del 50 y 67% de la VAM permitieron mayor TTE y  $TT90\%VO_{2max}$  que al 84% de la VAM en una sesión de HIT de 30:30 s al 105% de la VAM (236). Es más, se observó que la pausa al 84% de la VAM generó un pH más bajo y una menor  $[HCO_3^-]$ , por lo que los autores sostienen que la acidosis pudo ser un factor decisivo para el peor rendimiento conseguido. La elección de la intensidad de la pausa activa del presente trabajo permitió una menor  $[La]_s$  y un rendimiento durante una sesión de HIT similar a la pasiva, por lo que la elección del 80% de la  $V.UV_2$  es recomendada.

En resumen, debido a las diferentes concepciones del papel que juega el ácido láctico en la acidosis celular y por lo tanto en el rendimiento o a las diferencias metodológicas

en la elección de la recuperación activa para su remoción, muchos investigadores llegan a la conclusión de que la  $[La]_s$  no es un predictor fiable del rendimiento en esfuerzos repetidos de alta intensidad (267,288). Que en nuestro trabajo los participantes obtuviese una eficacia similar en la sesión de HIT con ambos tipos de pausa a pesar de registrarse diferentes valores de  $[La]_s$ , indica además que no es una variable que pueda explicar por sí sola el rendimiento en esfuerzos intermitentes de elevada intensidad. Así, la disminución del rendimiento se ha asociado también a otros factores, como a la acumulación de otros metabolitos ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , Pi) (365,395) y la interacción entre la musculatura activa y el SNC en el control del desarrollo de la fatiga (50,105,107,366,396). Por lo tanto, debido a los datos contradictorios sobre la relación entre la capacidad de remoción del lactato sanguíneo entre ambos tipos de pausas y el rendimiento, la capacidad de remoción no debería ser un criterio para la elección de la estrategia a seguir en el intervalo de pausa en sesiones de HIT (263).

#### **3.7.4. Efectos del tipo de pausa sobre la capacidad de salto vertical**

Los trabajos clásicos sobre el estudio de la fatiga 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 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 (139,141). El rendimiento en la capacidad de salto se considera una variable importante relacionada con el rendimiento en esfuerzos de resistencia (78,90,125,126) por lo que los investigadores han intentado entender los factores biomecánicos que pueden predecir el rendimiento (397). 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 (335,398,399).

Uno de los objetivos de esta tesis es el de determinar la influencia del tipo de pausa sobre la capacidad de salto vertical en una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad manteniendo la hipótesis de que sería la pausa activa la que provocaría una mayor pérdida de capacidad de salto vertical en comparación con la pasiva. Sin embargo, tanto en las sesiones con CP como con CE no se detectó un efecto del tipo de recuperación sobre la capacidad de salto en 5 CMJ, por lo que la sexta hipótesis del presente trabajo debe ser rechazada. Se registraron valores de  $h_{media}$  de los 5 CMJ superiores con respecto a los del pretest en las sesiones con CP y similares en las sesiones con CE junto con una potenciación de la  $P_{pico}$  en ambos tipos de sesión. La  $h_{max}$  del test de 5CMJ en ausencia de fatiga (pretest) fue de 25,37 cm y 25,71 cm antes de la sesión con CP y de 25,26 cm y 26,53 cm en las sesiones con CE y pausa utilizando la pausa activa y pasiva respectivamente. Son valores inferiores a los reportados por otros trabajos donde se analizó la capacidad de salto vertical de corredores de resistencia (90,125,318,400,401). Por ejemplo, en un salto de CMJ, atletas de resistencia mostraron alturas de 31,94 cm (400), de 29,45 cm (401), de 33,5 cm (125) o de 38 cm (318). El menor rendimiento en la altura máxima se podría deber a diferencias metodológicas entre estudios ya que se compara la  $h_{max}$  alcanzada en 5CMJ vs 1 CMJ (400,401), la media de 2 CMJ (90) o de 3 CMJ (318), uso de plataforma de fuerza vs plataforma de contacto (90,125,401) o diferencias en el perfil de entrenamiento de la muestra (fondistas vs medio-fondistas) (125,400). La  $h_{media}$  aumentó de forma significativa en las sesiones con CP con respecto a los valores determinados en reposo ( $p < 0,001$ ) sin encontrarse un efecto del tipo de pausa empleado ( $p = 0,244$ ). Así, la  $h_{media}$  de la C4 fue significativamente superior en comparación con la alcanzada en el pretest ( $p = 0,003$ ). Otros estudios han detectado un aumento en el rendimiento de un CMJ tras una actividad previa en deportistas de resistencia. Por ejemplo, se detectaron incrementos del 12,76% y 6,76% de la altura conseguida en CMJ a los 2 min y 7 min respectivamente tras un test incremental en pista (UMTT) y del 3,53% a los 2 min de un esfuerzo hasta la extenuación a la VAM (Tlim) (401). Tras una sesión de HIT (2:2 min a la VAM), 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 (125). 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 HIT (4 x 3 x 400 m) (318).

El tipo de pausa tampoco tuvo efecto en la  $P_{\text{pico}}$  alcanzada en los 5CMJ tanto en las sesiones con CP como con CE. Valores de  $P_{\text{pico}}$ -sesión de 40,73 y 39,74  $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente ( $p = 0,394$ ) en las sesiones con CP y de 40,96 y 41,16  $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$  para la pausa activa y pasiva respectivamente ( $p = 0,843$ ) en las sesiones con CE. Son valores similares (402) e incluso superiores (318) a los encontrados en otros trabajos donde se evaluó la capacidad de salto en CMJ en corredores de resistencia, aunque inferiores a las alcanzadas por atletas de otras disciplinas como jugadores de fútbol (403) o por estudiantes de Educación Física (404). La  $P_{\text{pico}}$  fue la variable que mejor se asoció al rendimiento en la capacidad de salto vertical ( $h_{\text{media}}$ ) manteniendo correlaciones significativas entre estas variables en el pretest en las cuatro sesiones, con valores entre  $r = 0,860$  y  $r = 0,916$ . Otros estudios han encontrado la misma asociación entre la potencia y la altura conseguida en un CMJ (318,397,400,402,403,405). La potencia pico explicó el 62% del rendimiento en la altura vertical alcanzada en un CMJ realizado en reposo mostrando correlaciones con la altura tanto la potencia pico ( $r = 0,526$ ,  $p < 0,05$ ) como la media ( $r = 0,496$ ;  $p < 0,05$ ) (400). Tras una actividad previa fatigante, la  $P_{\text{pico}}$  explicó el 69% de la altura del salto mejorando la correlación ( $r = 0,607$ ;  $p < 0,001$ ). En otro estudio (405), la  $P_{\text{pico}}$  explicó el 66,2% de la variancia de la altura de un CMJ, manteniendo una correlación ( $r = 0,928$ ) similar a la encontrada en nuestro trabajo. Que la  $P_{\text{pico}}$  sea un buen predictor de la capacidad de salto tiene implicaciones para el entrenamiento ya que indicaría que el aumento de la fuerza no es suficiente para mejorar el salto vertical, sino que la fuerza se debería entrenar a alta velocidad (405).

En nuestro estudio, la  $F_{\text{pico}}$  no mantuvo una correlación significativa con la altura conseguida en 5CMJ. Altos valores de  $F_{\text{pico}}$  son necesarios pero no suficientes para asegurar un buen rendimiento. En un estudio (405), los saltadores necesitaron aplicar  $F_{\text{pico}}$  dos veces superiores al peso corporal para alcanzar alturas de 30 cm pero, a no ser que el movimiento estuviese coordinado adecuadamente, se consiguieron incluso valores de  $F_{\text{pico}}$  superiores con saltos por debajo de los 20 cm. Parece que la suma del

torque total generado por cada articulación no es tan importante como la continuidad en el desarrollo del torque o la habilidad de generar torques grandes al final del movimiento cuando las articulaciones está próximas a la extensión completa. Se determinó incluso una correlación inversa entre la  $F_{\text{pico}}$  y la altura del salto en un CMJ y se observó que dependía del recorrido de descenso del salto (406). Por lo tanto, 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 (397,407,408).

La fatiga muscular esquelética puede definirse como una reducción transitoria inducida por el ejercicio en la capacidad de la musculatura de generar fuerza máxima (103). 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 (102). En el presente trabajo, se evalúa el rendimiento en 5CMJ durante una sesión e HIT lo cual permite la comparación entre el rendimiento en estado sin fatiga (pretest) y a diferentes niveles de de fatiga acumulada inducida por el ejercicio (318). Cabría esperar un deterioro de la capacidad de generación de fuerza explosiva de los miembros inferiores conforme se repiten los intervalos de carga en las sesiones de HIT. Sin embargo, en relación a la respuesta neuromuscular evaluada a través del test de 5CMJ, en el presente estudio la  $h_{\text{media}}$  aumentó con respecto a los valores pretest en las sesiones con CP ( $p < 0,001$ ) y varió también a lo largo de la sesión con CE ( $p = 0,047$ ). Un patrón similar se observó en la  $P_{\text{pico}}$ : los valores registrados durante las sesiones fueron superiores a los desarrollados en el pretest tanto en sesiones con CP ( $p = 0,001$ ) como con CE ( $p = 0,010$ ).

El fenómeno por el cual la potencia muscular aumenta de forma significativa como resultado de un trabajo muscular previo, voluntario o no, se conoce como Potenciación Post-Activación (PPA o PAP del término original en inglés *Post-Activation Potentiation*) (318,409). Tras una tarea previa también se reportó, al igual que en nuestro trabajo, un incremento (78,125,318,401) o un mantenimiento (90,410) de la capacidad de salto. Se ha apuntado hacia factores intramusculares, desencadenados por la fosforilación de las cadenas ligeras reguladoras de la miosina (409,411), un

mejor aprovechamiento de la energía elástica (125,401) y a la coactivación de los músculos sinergistas y alteraciones en el patrón de activación de la musculatura de los miembros inferiores (410,412). En el caso de los deportistas entrenados en resistencia, como es el caso del presente trabajo, parecen disponer de un mayor potencial para fosforilar las cadenas ligeras reguladoras de la miosina y para resistir la fatiga, lo cual permitiría desarrollarse la PPA (413). Parece que la capacidad de generar potencia es clave a la hora de explicar la PPA en un CMJ. Así, la  $P_{\text{pico}}$  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 (401). Esta relación entre potenciación de la  $P_{\text{pico}}$  y la altura del CMJ fue encontrada en otro trabajo tras una sesión de HIT (318). Estas evidencias apoyan nuestros resultados donde la  $P_{\text{pico}}$  se vio potenciada tanto en las sesiones con CP como con CE.

La respuesta contráctil de un músculo depende en gran medida de su activación previa (414). 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 (411). El equilibrio entre la PPA y la fatiga será el que determine el rendimiento final en un esfuerzo explosivo posterior (409). 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 (125,318,401,409,413). En el presente trabajo, la  $h_{\text{media}}$  de la C40% fue superior a la de la C80% ( $p=0,004$ ) y la  $h_{\text{media}}$  de la C20% mostró una tendencia a ser significativamente superior a la de la C80% ( $p = 0,067$ ). Es decir, parece que hubo una potenciación de la capacidad del salto hasta el 40% del TTE para luego descender hacia el final de la sesión (C80%) hasta alcanzar valores similares a los obtenidos en el pretest. La PPA observada hasta el C40% del TTE estaría acorde con la PPA detectada en las sesiones con CP, donde la  $h_{\text{media}}$  en la C4 fue significativamente superior a la del pretest ( $p = 0,003$ ). Por lo tanto, la PPA y la fatiga podrían haber estado coexistiendo en equilibrio hasta el 40% del TTE de la sesión para luego desequilibrarse la balanza de forma progresiva a favor del desarrollo de la fatiga inhibiéndose el efecto de la PPA. Debido a este equilibrio entre los mecanismos de

desarrollo de la PPA y la fatiga, para evidenciar la PPA se ha mantenido un breve período de recuperación después de la carga previa que podría variar entre los 2,5 y 12,5 min (401,415,416) aunque otros estudios han observado una PPA inmediatamente ( $< 30$  s) después de la aplicación de la carga (409). En nuestro estudio, el test de CMJ se realizaba inmediatamente después de finalizar el intervalo de carga y se logró evidenciar una PPA en la  $h_{media}$  y  $P_{pico}$  de 5CMJ en las sesiones con CP y hasta la C40% en las sesiones con CE. Es posible que la mayor evidencia de la PPA se deba a que se trata de un esfuerzo de resistencia (417) y que fue llevado a cabo por atletas adaptados al entrenamiento de resistencia (413). Sin embargo, en las sesiones con CE, es posible que, a medida que el equilibrio entre los procesos de fatiga y PPA se desestabiliza a favor de la fatiga, una mayor recuperación podría haber permitido detectar una PPA. Aún así, el rendimiento en la capacidad de salto cuando los atletas estaban exhaustos era el mismo que en las mediciones en el pretest (sin fatiga). Por lo tanto, los resultados contradictorios entre estudios podrían estar relacionados con diferencias metodológicas referentes tanto a la actividad previa como a las características de la muestra.

En deportes de resistencia se requiere una alta potencia aeróbica pero los atletas también deben ser capaces de mantener una velocidad relativamente alta durante toda la distancia. Esto enfatiza la dependencia sobre el papel de las características neuromusculares por su relación con la activación voluntaria y refleja, la fuerza muscular y elástica y la mecánica de carrera (96,318). El CMJ se ha relacionado con el rendimiento en esfuerzos de resistencia (78,90,125,126) ya que reflejaría la capacidad que tienen los atletas de aplicar fuerza en el menor tiempo posible como sucede corriendo a altas velocidades (5). En el presente trabajo, se ha realizado un test de 5CMJ 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 (418). De esta manera, evaluamos la resistencia a la capacidad de repetir acciones explosivas la cual se ha asociado al rendimiento en esfuerzos de resistencia (79,92,95). Por ejemplo, los sujetos que fueron capaces de mantener más tiempo su VAM (Tlim), fueron los que modificaron menos las variables cinemáticas gracias a una mayor eficiencia motriz (95). De hecho, el aumento del

tiempo de contacto en la segunda parte de la prueba se mostró como un buen indicador del cese del esfuerzo. En el trabajo de Paavolainen et al. (92) se detectó una asociación significativa e inversa entre los tiempos de contacto mantenidos en un test de 10 km y la velocidad desarrollada en dicho test ( $r = -0,56$ ;  $p < 0,05$ ). En otro estudio, se observó que la pérdida de capacidad de reclutamiento muscular desde el km 3 al km 5 en un test de 5km se relacionó negativamente con el rendimiento (79). Aquellos que eran capaces de mantener una menor pérdida de reclutamiento neuromuscular tenían mejor rendimiento. Incluso, se observó que todos los atletas realizaban más rápido la última vuelta y que esta mayor velocidad se correlacionó con la  $V_{MART}$  pero no con  $VO_{2max}$  ni con la EC. Como recuerdan los autores, la  $V_{MART}$  no sólo se relaciona con la capacidad anaeróbica sino con la capacidad del sistema neuromuscular de aplicar potencia. Aunque los factores neuromusculares (velocidad en sprint de 20 m, pentasalto y tiempos de contacto) no estuvieron asociados directamente con el incremento del rendimiento en 5km tras un programa de entrenamiento concurrente de fuerza explosiva y resistencia en corredores, si lo estuvieron con la  $V_{MART}$ , la cual, junto con la EC, si se asoció con el rendimiento en 5 km (78). Por lo tanto, en la fase final de un esfuerzo de resistencia, son los factores neuromusculares los determinantes del rendimiento y no la capacidad de consumo de oxígeno (79). En nuestro trabajo, se observó que los participantes que mostraban valores de  $P_{pico}$  elevados en los 5CMJ del pretest fueron los que alcanzaron un estímulo cardiorrespiratorio superior ( $TTVO_{2max}$  y  $TT90\%VO_{2max}$ ) durante las sesiones con CP tanto con pausa activa como con pasiva. Más aún, los participantes que lograban mantener una  $P_{pico}$  superior en los 5CMJ a lo largo de la sesión con CP y pausa pasiva, fueron los que lograron mayores  $TTVO_{2max}$  ( $r = 0,626$ ;  $p = 0,039$ ) y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = 0,718$ ;  $p = 0,013$ ). Cuando los intervalos se repetían hasta la extenuación, esta asociación entre las variables neuromusculares y el rendimiento cardiorrespiratorio sólo se observó cuando se empleó la pausa pasiva. Así, los participantes que conseguían  $h_{max}$ ,  $h_{media}$  y  $P_{pico}$  de salto en el test de 5CMJ en el pretest y mantenían mejor la  $h_{media}$  y la  $P_{pico}$  a lo largo de la sesión, fueron los que consiguieron mayores  $TTVO_{2max}$  y  $T90\%VO_{2max}$ . Estos datos indican que, a pesar de que los criterios de efectividad de la sesión de HIT alcanzaron valores similares con ambos tipos de pausa en el análisis general, el rendimiento se consiguió a través de diferentes mecanismos



dependiendo del tipo de pausa empleada. Así, los factores neuromusculares parecen tener especial relevancia para alcanzar el rendimiento en sesiones de HIT cuando la pausa pasiva es empleada mientras que la activa parece no depender tanto de dichas variables para alcanzar una efectividad similar. Esta hipótesis podría estar reforzada por la ausencia de correlación entre los TTE de ambas pausas, lo que indicaría que los sujetos alcanzaban diferente rendimiento en función del tipo de pausa empleada. Según estos resultados, el rendimiento cardiorrespiratorio estuvo directamente relacionado con el TTE y/o la Dlim empleando pausa activa mientras que la pausa pasiva lo estuvo con el rendimiento neuromuscular evaluado con los 5CMJ. Por lo tanto, podemos sugerir que la capacidad explosiva de los miembros inferiores podría ser el criterio a seguir para escoger tipo de pausa en una sesión de HIT.

Sin embargo, aunque los factores neuromusculares no mostraron una relación contundente y continuada con el rendimiento empleando pausa activa, parece que hay un mínimo *umbral* de capacidad explosiva de los miembros inferiores que se debería alcanzar para asegurar un buen estímulo cardiorrespiratorio. Así, los atletas que mostraron elevados valores de  $F_{pico}$  en el pretest fueron los que consiguieron  $TTVO_{2max}$  ( $r = -0,793$ ;  $p = 0,033$ ) y  $TT90\%VO_{2max}$  ( $r = -0,784$ ;  $p = 0,037$ ) más cortos cuando empleaban la pausa activa. La PPA observada en un CMJ tras un test incremental en pista correlacionó con aumentos de la  $P_{pico}$  a la vez que se observó decrementos de la  $F_{pico}$  (-10,8%) que correlacionaron a su vez con los aumentos de la  $P_{pico}$  (402). Para los autores, la  $F_{pico}$  fue el factor más afectado por el desarrollo de la fatiga en un esfuerzo de resistencia. Se determinó incluso una correlación inversa entre la  $F_{pico}$  y la altura del salto en un CMJ y se observó que dependía del recorrido de descenso del salto (406). Dados estos datos, podría plantearse que los atletas que dependen excesivamente de la aplicación de fuerza para generar contracciones musculares explosivas se ven afectados en mayor medida por la fatiga desarrollada en una sesión de HIT, lo que les llevaría a conseguir un peor estímulo cardiorrespiratorio. Esto son sólo conjeturas y más estudios son necesarios para establecer la relación entre la capacidad de generar fuerza explosiva con los MMII y la efectividad alcanzada en una sesión de HIT.

El desarrollo de la fuerza y potencia se han convertido recientemente en factores clave para entender el rendimiento en carreras de larga distancia, presumiblemente por descender el coste energético de la actividad (86,88,93,419). En general, existe un gran cuerpo de evidencias científicas que indican una relación positiva entre la EC y el rendimiento en esfuerzos de resistencia (37,39,78-81). Gran parte de las investigaciones se han centrado sobre los efectos del entrenamiento de la fuerza máxima y/o pliometría ya que se dirigen a adaptaciones neurales para aumentar la activación de las motoneuronas con menor énfasis en la hipertrofia (86,88). Además, la pliometría también actúa sobre el stiffness del sistema músculo tendinoso, que permite al cuerpo almacenar la energía elástica y utilizarla de forma más efectiva (99). Estas adaptaciones mejorarían la EC a través de un mejor reclutamiento de las unidades motoras y menor tiempo de contacto que permitirían generar más fuerza sin aumentar de forma proporcional los requerimientos energéticos (80,93). Un programa de 9 semanas de entrenamiento de la fuerza máxima en 19 esquiadores, produjo un incremento en el 1RM, mejora en la economía de trabajo del miembro superior y mayores tiempos de trabajo hasta la extenuación observando además un aumento en la capacidad de generar potencia (98). Los autores reportan que los esquiadores fueron capaces de movilizar una misma carga a mayor velocidad tras el entrenamiento y atribuyen la mejora del rendimiento en resistencia a incrementos de la potencia pico. La altura máxima conseguida en un CMJ se ha asociado a una mayor proporción de FT (%FT) en la musculatura activa (420). Se observó que elevados % FT se asociaron a altos niveles de EC a altas velocidades posiblemente por estar relacionado con la potenciación del CEA por un buen aprovechamiento de la fase excéntrica (85). Igualmente, se encontró que la potencia pico en un salto vertical y normalizada al peso corporal del sujeto estuvo relacionada con la EC a velocidades elevadas (77). En otro estudio, los atletas que tenían una mejor capacidad de salto en un CMJ fueron los que mayor PPA experimentaron tras un Tlim a la VAM (401), con lo que los autores llegan a la conclusión que un mayor %FT favorece la PPA. Por otro lado, el  $VO_{2max}$  y la EC interaccionan para establecer el límite superior de la velocidad de carrera que se puede mantener con fosforilación oxidativa (44,81). Por tanto, es posible, que la asociación directa entre las variables neuromusculares ( $h_{max}$ ,  $h_{media}$ ,  $P_{pico}$ ) y el efecto cardiorrespiratorio ( $TTVO_{2max}$ ,  $TT90\%VO_{2max}$ ) encontrada en nuestro estudio se deba a

la influencia que tienen los factores neuromusculares sobre la EC y que una mayor capacidad de generación de fuerza explosiva de los miembros inferiores podría asociarse a una mejor EC y mayor dependencia de la vía aeróbica para acometer esfuerzos intermitentes de elevada intensidad. Es posible que, para los sujetos con una capacidad explosiva superior, correr a la VAM les suponga un menor esfuerzo energético posiblemente por una mayor potenciación del CEA. Así, podrían mantener la demanda energética durante el intervalo de carga con mayor contribución de las fibras tipo I que les llevaría a consumos de oxígeno superiores. Esta asociación tuvo especial relevancia con la pausa pasiva, por lo que los datos sugieren que la elección de este tipo de recuperación debería estar reservada para atletas con elevada EC y/o niveles adecuados de fuerza explosiva de los miembros inferiores. Lo que queda por aclarar es si un mayor nivel de fuerza aumenta el rendimiento por mejorar la EC o porque los factores neuromusculares son una variable independiente que, por sí misma, supone un límite para el rendimiento de estas características (79). En este sentido, en el estudio de Quinn et al. (77) encontraron una relación entre la disminución del rendimiento en resistencia con la edad en atletas entrenados y el empeoramiento de variables cardiorrespiratorias y manifestación de fuerza y potencia pero no en la EC.

El papel de los factores neuromusculares a través de la EC para obtener un óptimo estímulo cardiorrespiratorio puede estar apoyada además por las asociaciones encontradas entre las variables de  $[La]_s$  y el rendimiento neuromuscular cuando se empleó la pausa pasiva. Valores altos de  $P_{pico}$  en el pretest se asociaron de forma inversa con valores de  $[La]_{cargas}$  ( $r = -0,733$ ;  $p = 0,025$ ) y  $[La]_{pausas}$  ( $r = -0,764$ ;  $p = 0,017$ ). Igualmente, una mayor capacidad de mantener la  $h_{media}$  en los test de 5CMJ durante la sesión se asoció a menores  $[La]_{pausas}$  ( $r = -0,700$ ;  $p = 0,036$ ). Aunque, como se ha comentado previamente, la  $[La]_s$  refleja los mecanismos de producción y eliminación y no directamente la  $[La]$  intramuscular, es un buen indicador del estado de dependencia de la vía glucolítica y el estado de redox citosólico en la fibra muscular (134). Debido al papel de los factores neuromusculares sobre la EC, podría interpretarse que atletas con mayor potencia muscular en los miembros inferiores muestran una mayor EC que les lleva a depender en menor medida de la vía glucolítica

y mantener niveles más bajos de lactacidemia. Se ha observado que el descenso en la generación de fuerza explosiva en el cuádriceps (aspecto relacionado con un elevado %FT) estuvo asociado de forma inversa con el U.Láctico ( $r = -0,72$ ;  $p < 0,01$ ) (421), de tal manera que los participantes que mostraron una mayor resistencia a las acciones explosivas fueron los que tenían un U.Láctico más próximos al  $VO_{2max}$ . Este hallazgo apoya la hipótesis de la relación entre la capacidad de mantener el rendimiento en acciones explosivas y sostener un esfuerzo a elevados porcentajes de  $VO_{2max}$  sin desencadenar la acumulación de  $[La]_s$ .

Las asociaciones entre la  $[La]_s$  y el rendimiento en la capacidad de salto no se encontraron cuando se empleó la pausa activa, posiblemente por diferencias en el estímulo metabólico alcanzado entre ambas sesiones. Los mayores niveles de  $[La]_s$  alcanzados con la pausa pasiva podría indicar una mayor dependencia de la vía glucolítica que la pausa activa. La acidosis muscular provocada podría estar relacionada con la inhibición de resíntesis de PCr, lo cual limitaría el rendimiento aunque atletas con elevado metabolismo oxidativo (alta densidad capilar, actividad enzimática oxidativa y proporción elevada de fibras Tipo I) pueden recuperar más rápido sus depósitos de PCr y el rendimiento inicial (297,316). Al igual que en nuestro trabajo, se observó un rendimiento similar en CMJ con intervalos de carga:pausa de 60 s o 120 s a pesar de registrarse mayores niveles de  $[La]_s$  con los intervalos más largos (90). Los autores lo atribuyen a las adaptaciones propias del entrenamiento en resistencia que permiten a los atletas mantener un adecuado nivel muscular a pesar de la fatiga. Así, la relación entre la  $[La]_s$  y la PPA en saltos verticales como el CMJ es controvertida. Tras una sesión de HIT, las  $[La]_s$  alcanzadas se correlacionaron positivamente con el rendimiento en CMJ (postest) mientras que tras un test incremental se observó una correlación inversa (125). Los autores determinan que las  $[La]_s$  podrían favorecer la capacidad de manifestación de fuerza explosiva de los miembros inferiores en atletas de resistencia siempre y cuando no se llegue a extenuación. Esto podría explicar porque en nuestro estudio se encuentran asociaciones inversas entre la lactacidemia y diferentes variables de los 5CMJ en las sesiones con CE pero no con CP. La PPA en un CMJ fue de diferente magnitud y mantenimiento en el tiempo tras 2 min de un test incremental y un test rectangular a pesar de tener similares  $[La]_s$  (401). Se observó

que, tras una sesión de HIT parte de la muestra exhibió PPA en CMJ (respondedores) mientras que otra parte no (no-respondedores). En el primer caso, se detectó una correlación directa entre el porcentaje de incremento de la altura del CMJ tras la sesión con la  $[La]_s$  ( $r = 0,535$ ;  $p = 0,027$ ) mientras que para los no-respondedores se observó una correlación inversa ( $r = - 0,782$ ,  $p = 0,002$ ). En nuestro trabajo, elevados niveles de lactacidemia se asociaron con peor rendimiento neuromuscular sólo cuando se empleaba la pausa pasiva. Con lo cual, el papel del lactato en la PPA es complejo y se necesitan más estudios ya que la asociación entre PPA y  $[La]_s$  parece depender del tipo de esfuerzo realizado y del perfil del atleta.

### **3.8. Conclusiones**

#### **En lo referente al efecto del tipo de pausa sobre la efectividad de una sesión de HIT**

1. El tipo de pausa no afectó al rendimiento cardiorrespiratorio de sujetos entrenados en resistencia durante una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad en pista con un diseño de intervalos de carga:pausa de 2 min y relación 1:1.
2. La duración (2 min) e intensidad (80% V.UV<sub>2</sub>) escogidas en el presente trabajo para la recuperación activa lograron un equilibrio adecuado que permitió alcanzar el mismo tiempo total de trabajo que con la pausa pasiva.
3. Ni la eficiencia ni el tiempo necesario para alcanzar el VO<sub>2max</sub> en cada intervalo de carga de 2 min a la VAM e intercalados con 2 min de recuperación dependieron del tipo de pausa (activa o pasiva).

#### **En lo referente al efecto del tipo de pausa sobre la respuesta cardiorrespiratoria**

1. La pausa activa produjo, en comparación con la recuperación pasiva, una mayor respuesta cardiorrespiratoria con consumos de oxígeno medios y frecuencias cardíacas medias y máximas superiores tanto en las cargas como en las pausas.
2. La mayor demanda cardiorrespiratoria conseguida al emplear la pausa activa en sesiones de HIT de diseño 2:2 min en comparación con la pasiva no se tradujo en una mayor efectividad en la sesión.
3. En una sesión de HIT de 4 series de intervalos 2:2 min, la pausa pasiva logra consumos de oxígeno pico superiores a los alcanzados en la recuperación activa.

### **En lo referente al efecto del tipo de pausa sobre la respuesta metabólica**

1. La pausa pasiva generó, en comparación con la recuperación activa, mayores concentraciones de lactato sanguíneo durante la repetición de intervalos de carga:pausa de 2:2 min a la VAM.
2. La pausa activa y pasiva tuvieron el mismo efecto en la capacidad de remoción de lactato sanguíneo en los intervalos de recuperación de 2 min intercalados entre los periodos de carga de 2 min a la VAM.
3. La elección de la intensidad de la pausa activa en relación al segundo umbral ventilatorio es una estrategia adecuada para asegurar una menor concentración de lactato sanguíneo y predisponer para un óptimo trabajo en el siguiente intervalo de carga en las sesiones de HIT.

### **En lo referente al efecto del tipo de pausa sobre la capacidad de salto vertical**

1. El tipo de pausa no afectó a la capacidad de salto vertical de 5CMJ durante la sesión de HIT en la que se repetían intervalos de 2 min a la VAM, intercalados con 2 min de pausa.
2. Los corredores de resistencia manifiestan una potenciación de la capacidad de salto vertical en una sesión de HIT consistente en 4 repeticiones de 2 min realizadas a la VAM e intercaladas con 2 min de pausa (activa o pasiva) y mantuvieron la capacidad de salto cuando la misma sesión se realizaba hasta la extenuación.
3. La potenciación en el salto vertical se manifestó de forma inmediata a la finalización del intervalo de carga, por lo que un periodo de pausa no sería necesario para que aquella pudiese manifestarse.

## **En lo referente a las asociaciones entre las diferentes variables y los criterios de efectividad**

1. No se detectó una correlación entre los tiempos totales de trabajo alcanzados cuando se repitieron intervalos de 2 min a la VAM intercalados con 2 min de recuperación hasta la extenuación empleando pausa activa o pasiva.
2. La distancia total recorrida a elevada intensidad resulta una variable más representativa del rendimiento alcanzado en una sesión de HIT realizada hasta la extenuación en comparación con el tiempo total de trabajo hasta la extenuación.
3. La potencia pico alcanzada en la fase concéntrica se relacionó con la altura media alcanzada en 5CMJ.
4. Altos niveles de fuerza explosiva de los miembros inferiores parecen ser necesarios cuando se emplea la pausa pasiva para asegurar un rendimiento cardiorrespiratorio óptimo en una sesión de HIT, mientras que podrían no jugar un papel tan destacado con la pausa activa.
5. El rendimiento cardiorrespiratorio alcanzado en una sesión de HIT con pausa activa realizada hasta la extenuación correlacionó negativamente con la fuerza pico normalizada al peso corporal, con lo que atletas que basen su capacidad de salto vertical en la aplicación de altos valores fuerza podrían tener más probabilidades de alcanzar un rendimiento cardiorrespiratorio subóptimo.
6. Elevadas concentraciones de lactato sanguíneo perjudicaron el rendimiento en la capacidad de salto de 5CMJ a lo largo de una sesión de HIT cuando se empleaba la pausa pasiva.



### 3.9. Bibliografía

- (1) Hawley JA, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *J Sports Sci* 1997 06;15(3):325-333.
- (2) Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 2010 03/01;40(3):189-206.
- (3) Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. 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* 2007;37(10):857-880.
- (4) González Badillo JJ, Ribas Serna J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: INDE; 2002.
- (5) Billat LV. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med* 2001;31(1):13-31.
- (6) McNeely EM, Sandler DM,. Tapering for Endurance Athletes. *Strength & Conditioning Journal* 2007;29(5):18-24.
- (7) Hawley JA. Specificity of training adaptation: time for a rethink? *J Physiol* 2008 01/01;586(1):1-2.
- (8) Reilly T, Morris T, Whyte G. The specificity of training prescription and physiological assessment: a review. *J Sports Sci* 2009 04;27(6):575-589.
- (9) Hawley JA, Stepto NK. Adaptations to training in endurance cyclists: implications for performance. *Sports Med* 2001;31(7):511-520.
- (10) Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med* 2007;37(9):737-763.
- (11) Martin D, Carl K, Lehnertz K. Manual de metodología del entrenamiento deportivo. 1ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2001.
- (12) Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 2000 06;29(6):373-386.
- (13) Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Barcelona: Martínez Roca; 1991.
- (14) Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001;31(1):1-11.
- (15) Shephard, R.J. & Astrand, P.O. Endurance in Sport. United Kingdom: Blackwell Scientific Publications; 1992.

- (16) di Prampero PE. Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 2003 10;90(3-4):420-429.
- (17) Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 2008 01/01;586(1):35-44.
- (18) Coyle EF. Physiological determinants of endurance exercise performance. *J Sci Med Sport* 1999 10;2(3):181-189.
- (19) Lucía A, Hoyos J, Pardo J, Chicharro JL. Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *Jpn J Physiol* 2000 06;50(3):381-388.
- (20) Zavorsky GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 2000 01;29(1):13-26.
- (21) Goodman JM, Liu PP, Green HJ. Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *J Appl Physiol* (1985) 2005 02;98(2):454-460.
- (22) Rowland T. Endurance athletes' stroke volume response to progressive exercise: a critical review. *Sports Med* 2009;39(8):687-695.
- (23) Convertino VA. Blood volume: its adaptation to endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 1991 12;23(12):1338-1348.
- (24) Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schnieder SM, Young AJ. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc* 2000 02;32(2):332-348.
- (25) Miyachi M, Iemitsu M, Okutsu M, Onodera S. Effects of endurance training on the size and blood flow of the arterial conductance vessels in humans. *Acta Physiol Scand* 1998 05;163(1):13-16.
- (26) Chilibeck PD, Bell GJ, Socha T, Martin T. The effect of aerobic exercise training on the distribution of succinate dehydrogenase activity throughout muscle fibres. *Can J Appl Physiol* 1998 02;23(1):74-86.
- (27) Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1984 04;56(4):831-838.
- (28) Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000 06;10(3):123-145.
- (29) Burnley M, Jones AM. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur J Sport Sci* 2007;7(2):63-79.
- (30) Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med* 2006;36(2):117-132.

- (31) Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010 07/13;122(2):191-225.
- (32) López Chicharro, J. & Fernández Vaquero, A. *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Médica Panamericana; 1995.
- (33) Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 2001 10/02;104(14):1694-1740.
- (34) Davies CT, Thompson MW. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979 08;41(4):233-245.
- (35) Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. 1979. *Med Sci Sports Exerc* 1993 10;25(10):1091-1097.
- (36) McLaughlin JE, Howley ET, Bassett, David R., Jr, Thompson DL, Fitzhugh EC. Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc* 2010 05;42(5):991-997.
- (37) Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO<sub>2</sub>max among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989 02;21(1):78-83.
- (38) Ramsbottom R, Nute MG, Williams C. Determinants of five kilometre running performance in active men and women. *Br J Sports Med* 1987 06;21(2):9-13.
- (39) Conley DL, Krahenbuhl GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1980;12(5):357-360.
- (40) Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Barthélémy J.C., Dormois D. The energetics of middle-distance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;60(1):38-43.
- (41) Noakes TD. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. *Med Sci Sports Exerc* 1998 09;30(9):1381-1398.
- (42) Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 2000 07;30(1):1-15.
- (43) Bassett DR, J., Howley ET. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 1997 05;29(5):591-603.
- (44) Bassett DR, J., Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000 01;32(1):70-84.
- (45) Brink-Elfegoun T, Kaijser L, Gustafsson T, Ekblom B. Maximal oxygen uptake is not limited by a central nervous system governor. *J Appl Physiol* 2007 02;102(2):781-786.

- (46) Hawkins MN, Raven PB, Snell PG, Stray-Gundersen J, Levine BD. Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Med Sci Sports Exerc* 2007 01;39(1):103-107.
- (47) Levine BD. .VO<sub>2</sub>max: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol* 2008 01/01;586(1):25-34.
- (48) Beltrami FG, Froyd C, Mauger AR, Metcalfe AJ, Marino F, Noakes TD. Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *Br J Sports Med* 2012 01;46(1):23-29.
- (49) Doherty M, Nobbs L, Noakes TD. Low frequency of the "plateau phenomenon" during maximal exercise in elite British athletes. *Eur J Appl Physiol* 2003 08;89(6):619-623.
- (50) Noakes TD, St CG, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004 08;38(4):511-514.
- (51) Noakes TD. How did A V Hill understand the VO<sub>2</sub>max and the "plateau phenomenon"? Still no clarity? *Br J Sports Med* 2008 07;42(7):574-580.
- (52) St CG, Noakes TD. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004 12;38(6):797-806.
- (53) Hill DW, Williams CS, Burt SE. Responses to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Int J Sports Med* 1997 07;18(5):325-329.
- (54) Billat VL, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Effect of protocol on determination of velocity at VO<sub>2</sub> max and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Biochem* 1996;104(3):313-321.
- (55) Hill DW, Rowell AL. Responses to exercise at the velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc* 1997 01;29(1):113-116.
- (56) Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub> max test predicts running performance. *J Sports Sci* 1990 90;8(1):35-45.
- (57) Stratton E, O'Brien ,B.J., Harvey J, Blitvich J, McNicol AJ, Janissen D, et al. Treadmill Velocity Best Predicts 5000-m Run Performance. *Int J Sports Med* 2009 01;30(1):40-45.
- (58) Hill DW, Rowell AL. Running velocity at VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc* 1996 01;28(1):114-119.
- (59) Tuimil JL, Rodríguez FA. La velocidad aeróbica máxima de carrera (VAM). Concepto, evaluación y entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2003;XVII(1):31-35.
- (60) Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO<sub>2</sub>max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 1996 08;22(2):90-108.

- (61) Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Chatard JC, Arsac L, Barthélémy J.C. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;62(2):77-82.
- (62) Billat VL, Blondel N, Berthoin S. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999 07;80(2):159-161.
- (63) Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Reproducibility of running time to exhaustion at VO<sub>2</sub>max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc* 1994 02;26(2):254-257.
- (64) Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 100% of velocity at VO<sub>2</sub>max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69(3):271-273.
- (65) Billat V. *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica*. Barcelona: Paidotribo; 2002.
- (66) Ghosh AK. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. *Malays J Med Sci* 2004 01;11(1):24-36.
- (67) Coyle EF, Coggan AR, Hopper MK, Walters TJ. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* (1985) 1988 06;64(6):2622-2630.
- (68) Noakes TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 1988 08;20(4):319-330.
- (69) Scrimgeour AG, Noakes TD, Adams B, Myburgh K. The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986;55(2):202-209.
- (70) Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med* 1996 09;22(3):157-175.
- (71) Yoshida T, Udo M, Iwai K, Yamaguchi T. Physiological characteristics related to endurance running performance in female distance runners. *J Sports Sci* 1993 02;11(1):57-62.
- (72) Yoshida T, Chida M, Ichioka M, Suda Y. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56(1):7-11.
- (73) Sjödín B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. 1981;2(1):23-26.
- (74) Macfarlane DJ. Automated metabolic gas analysis systems: a review. *Sports Med* 2001;31(12):841-861.
- (75) Frederick EC. Economy of Movement and Endurance Performance. In: Shephard, R.J. & Astrand, P.O., editor. *Endurance in Sport* Osney Mead, Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1992. p. 179-185.

- (76) Boullosa DA, Tuimil JL. Economía de carrera: un parámetro multifactorial. *PubliCE Premium*: online. 2007.
- (77) Quinn TJ, Manley MJ, Aziz J, Padham JL, MacKenzie AM. Aging and factors related to running economy. *J Strength Cond Res* 2011 11;25(11):2971-2979.
- (78) Paavolainen L, Häkkinen K, Hämmäläinen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* (1985) 1999 05;86(5):1527-1533.
- (79) Nummela AT, Paavolainen LM, Sharwood KA, Lambert MI, Noakes TD, Rusko HK. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2006 05;97(1):1-8.
- (80) Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 2004;34(7):465-485.
- (81) Jones AM. A five year physiological case study of an Olympic runner. *Br J Sports Med* 1998 03;32(1):39-43.
- (82) Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and  $\dot{V}O_2$  kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(8):1351-1359.
- (83) Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Peltola EM, Cunningham RB, Gore CJ, et al. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res* 2006 Nov;20(4):947-954.
- (84) Turner AM, Owings M, Schwane JA. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res* 2003 02;17(1):60-67.
- (85) Hunter GR, McCarthy JP, Carter SJ, Bamman MM, Gaddy ES, Fisher G, et al. Muscle fiber type, Achilles tendon length, potentiation, and running economy. *J Strength Cond Res* 2015 May;29(5):1302-1309.
- (86) Støren O, Helgerud J, Støa EM, Hoff J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2008 06;40(6):1087-1092.
- (87) Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Cunningham RB, Gore CJ, Hahn AG, et al. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol* (1985) 2004 Mar;96(3):931-937.
- (88) Guglielmo LGA, Greco CC, Denadai BS. Effects of strength training on running economy. *Int J Sports Med* 2009 01;30(1):27-32.
- (89) Johnston RE, Quinn TJ, Kertzer R, Vroman ND. Strength training in female distance runners: impact on running economy. 1997;11(4):224-229.
- (90) Vuorimaa T, Vasankari T, Rusko H. Comparison of physiological strain and muscular performance of athletes during two intermittent running exercises at the velocity associated with  $\dot{V}O_{2max}$ . *Int J Sports Med* 2000 02;21(2):96-101.

- (91) Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, Gómez-Gallego F, San Juan A,F., Santiago C, et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006 10;31(5):530-540.
- (92) Paavolainen L, Nummela A, Rusko H, Häkkinen K. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. *Int J Sports Med* 1999 11;20(8):516-521.
- (93) Esteve-Lanao J, Rhea MR, Fleck SJ, Lucia A. Running-specific, periodized strength training attenuates loss of stride length during intense endurance running. *J Strength Cond Res* 2008 07;22(4):1176-1183.
- (94) Hudgins B, Scharfenberg J, Triplett NT, McBride JM. Relationship between jumping ability and running performance in events of varying distance. *J Strength Cond Res* 2013 03;27(3):563-567.
- (95) Gazeau F, Koralsztein JP, Billat V. Biomechanical events in the time to exhaustion at maximum aerobic speed. *Arch Physiol Biochem* 1997 10;105(6):583-590.
- (96) Paavolainen LM, Nummela AT, Rusko HK. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999 01;31(1):124-130.
- (97) Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 2002 10;12(5):288-295.
- (98) Østerås H, Helgerud J, Hoff J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 2002 12;88(3):255-263.
- (99) Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* 2003 03;89(1):1-7.
- (100) Foster C, Lucia A. Running economy. *Sports medicine* 2007;37(4-5):316-319.
- (101) Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine* 2005;35(10):865-898.
- (102) Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol (Lond )* 2008;586(1):11-23.
- (103) Billaut F, Bishop D. Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise. *Sports Med* 2009;39(4):257-278.
- (104) Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 2001 Oct;81(4):1725-1789.
- (105) Amann M, Dempsey JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *J Physiol* 2008 01/01;586(1):161-173.

- (106) Millet GY. Can Neuromuscular Fatigue Explain Running Strategies and Performance in Ultra-Marathons? *Sports medicine* 2011;41(6):489-506.
- (107) Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol* (1985) 1992 May;72(5):1631-1648.
- (108) Millet GY, Lepers R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine* 2004;34(2):105-116.
- (109) Millet GY, Lepers R, Maffiuletti NA, Babault N, Martin V, Lattier G. Alterations of neuromuscular function after an ultramarathon. *J Appl Physiol* (1985) 2002 Feb;92(2):486-492.
- (110) Yoshida T, Takanishi T, Nakai S, Yorimoto A, Morimoto T. The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. *Eur J Appl Physiol* 2002;87(6):529-534.
- (111) Romer LM, Haverkamp HC, Amann M, Lovering AT, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of acute severe hypoxia on peripheral fatigue and endurance capacity in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2007 01;292(1):R598-R606.
- (112) González-Alonso J, Calbet JAL. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation* 2003 02/18;107(6):824-830.
- (113) Daussin FN, Zoll J, Ponsot E, Dufour SP, Doutreleau S, Lonsdorfer E, et al. Training at high exercise intensity promotes qualitative adaptations of mitochondrial function in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985) 2008 May;104(5):1436-1441.
- (114) Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2008 07;295(1):R264-R272.
- (115) Lima-Silva A, De-Oliveira F, Nakamura F, Gevaerd M. Effect of carbohydrate availability on time to exhaustion in exercise performed at two different intensities. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 2009;42(5):404-412.
- (116) Tsintzas K, Williams C. Human muscle glycogen metabolism during exercise. *Sports Medicine* 1998;25(1):7-23.
- (117) Bangsbo J, Norregaard L, Thorsoe F. The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *Int J Sports Med* 1992 Feb;13(2):152-157.
- (118) Bergman BC, Horning MA, Casazza GA, Wolfel EE, Butterfield GE, Brooks GA. Endurance training increases gluconeogenesis during rest and exercise in men. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000 Feb;278(2):E244-51.
- (119) Nybo L. CNS fatigue and prolonged exercise: effect of glucose supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(4):589-594.



- (120) Balsom PD, Gaitanos G, Söderlund K, Ekblom B. High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol Scand* 1999;165:337-346.
- (121) Hanon C, Thépaut-Mathieu C, Vandewalle H. Determination of muscular fatigue in elite runners. *Eur J Appl Physiol* 2005;94(1-2):118-125.
- (122) Martin V, Millet GY, Martin A, Deley G, Lattier G. Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. *J Appl Physiol* (1985) 2004 Nov;97(5):1923-1929.
- (123) Marcora S, Bosio A. Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17(6):662-671.
- (124) Petersen K, Hansen CB, Aagaard P, Madsen K. Muscle mechanical characteristics in fatigue and recovery from a marathon race in highly trained runners. *Eur J Appl Physiol* 2007;101(3):385-396.
- (125) Vuorimaa T, Virlander R, Kurkilahti P, Vasankari T, Häkkinen K. Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long distance runners. *Eur J Appl Physiol* 2006;96(3):282-291.
- (126) Sinnett AM, Berg K, Latin RW, Noble JM. The relationship between field tests of anaerobic power and 10-km run performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2001;15(4):405-412.
- (127) Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol* (1985) 2008 Mar;104(3):871-878.
- (128) Morris JG, Nevill ME, Boobis LH, Macdonald IA, Williams C. Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged, intermittent, high-intensity running in air temperatures of 33 degrees and 17 degrees C. *Int J Sports Med* 2005 Dec;26(10):805-814.
- (129) Bishop D, Ruch N, Paun V. Effects of active versus passive recovery on thermoregulatory strain and performance in intermittent-sprint exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2007 05;39(5):872-879.
- (130) González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* (1985) 1999 Mar;86(3):1032-1039.
- (131) Lattier G, Millet G, Martin A, Martin V. Fatigue and recovery after high-intensity exercise part I: neuromuscular fatigue. *Int J Sports Med* 2004;25(6):450-456.
- (132) Cairns SP. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? *Sports Med* 2006;36(4):279-291.
- (133) Guyton Arthur, C., & Hall John, E. *Tratado de Fisiología Médica*. 10ª ed.: McGraw-Hill Interamericana; 2000.
- (134) Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2004 09;287(3):R502-R516.

- (135) Gladden LB. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 2004 07/01;558:5-30.
- (136) Lindinger MI. Lactic acid accumulation is an advantage/disadvantage during muscle activity. *J Appl Physiol* (1985) 2006 06;100(6):2100-2100.
- (137) Brooks GA. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? *J Physiol* 2001 10/01;536:1-1.
- (138) Brooks GA. What does glycolysis make and why is it important? *J Appl Physiol* (1985) 2010 06;108(6):1450-1451.
- (139) Nicol C, Avela J, Komi PV. The stretch-shortening cycle. *Sports Medicine* 2006;36(11):977-999.
- (140) Morio C, Chavet P, Androuet P, Foissac M, Berton E, Nicol C. Time course of neuro-mechanical changes underlying stretch-shortening cycle during intermittent exhaustive rebound exercise. *Eur J Appl Physiol* 2011;111(9):2295-2305.
- (141) Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech* 2000;33(10):1197-1206.
- (142) Ishikawa M, Komi PV. Effects of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol* (1985) 2004 Mar;96(3):848-852.
- (143) Horita T, Komi P, Härmäläinen I, Avela J. Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. *Eur J Appl Physiol* 2003;88(6):527-534.
- (144) Buchheit M, Cormie P, Abbiss CR, Ahmaidi S, Nosaka KK, Laursen PB. Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. *Int J Sports Med* 2009 06;30(6):418-425.
- (145) Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med* 2005;35(12):1025-1044.
- (146) Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JAL. 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* 2004 06;29(3):227-244.
- (147) Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 2002;32(1):53-73.
- (148) Daniels J, Scardina N. Interval training and performance. *Sports Med* 1984 07/19;1(4):327-334.
- (149) Libicz S, Roels B, Millet GP. VO<sub>2</sub> responses to intermittent swimming sets at velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Can J Appl Physiol* 2005 10;30(5):543-553.

- (150) Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 2013 05;43(5):313-338.
- (151) Seiler S, Jøranson K, Olesen BV, Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports* 2013 02;23(1):74-83.
- (152) Ohya T, Aramaki Y, Kitagawa K. Effect of duration of active or passive recovery on performance and muscle oxygenation during intermittent sprint cycling exercise. *Int J Sports Med* 2013 07;34(7):616-622.
- (153) O'Brien B.J., Wibskov J, Knez WL, Paton CD, Harvey JT. The effects of interval-exercise duration and intensity on oxygen consumption during treadmill running. *J Sci Med Sport* 2008 06;11(3):287-290.
- (154) Tucker WJ, Sawyer BJ, Jarrett CL, Bhammar DM, Gaesser GA. Physiological Responses to High-Intensity Interval Exercise Differing in Interval Duration. *J Strength Cond Res* 2015 05/11.
- (155) Bouchard C, Rankinen T. Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2001 06;33(6):S446.
- (156) Rankinen T, Bouchard C. Gene-physical activity interactions: overview of human studies. *Obesity (Silver Spring)* 2008 12;16 Suppl 3:S47-S50.
- (157) Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* 2010 10;20 Suppl 2:1-10.
- (158) Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, et al. 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* 2000 02;81(3):188-196.
- (159) MacDougall D, Sale D. Continuous vs. interval training: a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sport Sci* 1981 06;6(2):93-97.
- (160) Tardieu-Berger M, Thevenet D, Zouhal H, Prioux J. Effects of active recovery between series on performance during an intermittent exercise model in young endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 2004 10;93(1-2):145-152.
- (161) Thevenet D, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Prioux J. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2007 01;99(2):133-142.
- (162) Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* 1997 03;29(3):390-395.
- (163) Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJF, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol (1985)* 2005 06;98(6):1985-1990.

- (164) J. L. Tuimil López. Efectos del entrenamiento continuo e interválico sobre la velocidad aeróbica máxima de carrera Universidad de A Coruña; 2000.
- (165) Wenger HA, Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 1986 09/19;3(5):346-356.
- (166) Londeree BR. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 1997 06;29(6):837-843.
- (167) Mujika I, Chatard JC, Busso T, Geyssant A, Barale F, Lacoste L. Effects of training on performance in competitive swimming. *Can J Appl Physiol* 1995 12;20(4):395-406.
- (168) Rusko H. The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *J Sports Sci* 1987 87;5(3):273-286.
- (169) Gormley SE, Swain DP, High R, Spina RJ, Dowling EA, Kotipalli US, et al. Effect of intensity of aerobic training on VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc* 2008 07;40(7):1336-1343.
- (170) Billat V, Lepretre P, Heugas A, Laurence M, Salim D, Koralsztejn JP. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc* 2003 02;35(2):297-304.
- (171) Jacobs RA, Flück D, Bonne TC, Bürgi S, Christensen PM, Toigo M, et al. Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. *J Appl Physiol* (1985) 2013 09;115(6):785-793.
- (172) Burke J, Thayer R, Belcamino M. Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *Br J Sports Med* 1994 03;28(1):18-21.
- (173) Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;63(2):101-107.
- (174) Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, et al. Improvement of VO<sub>2</sub>max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol* 2007 10;101(3):377-383.
- (175) Perim RR, Signorelli GR, Myers J, Arena R, de Araújo C, Gil Soares. The slope of the oxygen pulse curve does not depend on the maximal heart rate in elite soccer players. *Clinics (Sao Paulo)* 2011;66(5):829-835.
- (176) Gledhill N, Cox D, Jamnik R. Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med Sci Sports Exerc* 1994 09;26(9):1116-1121.
- (177) Zhou B, Conlee RK, Jensen R, Fellingham GW, George JD, Fisher AG. Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2001 11;33(11):1849-1854.

- (178) Eddy DO, Sparks KL, Adelizi DA. The effects of continuous and interval training in women and men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1977 09;16;37(2):83-92.
- (179) Bhambhani Y, Singh M. The effects of three training intensities on VO<sub>2</sub> max and VE/VO<sub>2</sub> ratio. *Can J Appl Sport Sci* 1985 03;10(1):44-51.
- (180) Overend TJ, Paterson DH, Cunningham DA. The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. *Can J Sport Sci* 1992 06;17(2):129-134.
- (181) McKay BR, Paterson DH, Kowalchuk JM. Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *J Appl Physiol* 2009 07;107(1):128-138.
- (182) Tuimil JL, Boullosa DA, Fernández-del-Olmo M,A., Rodríguez F,A. Effect of equated continuous and interval running programs on endurance performance and jump capacity. *J Strength Cond Res* 2011 08;25(8):2205-2211.
- (183) Edge J, Bishop D, Goodman C, Dawson B. Effects of high- and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Med Sci Sports Exerc* 2005 11;37(11):1975-1982.
- (184) Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 2008 01/01;586(1):151-160.
- (185) Poole DC, Gaesser GA. Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *J Appl Physiol* (1985) 1985 04;58(4):1115-1121.
- (186) Driller MW, Fell JW, Gregory JR, Shing CM, Williams AD. The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *Int J Sports Physiol Perform* 2009 03;4(1):110-121.
- (187) Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 2007 04;39(4):665-671.
- (188) Baar K. To perform your best: work hard not long. *J Physiol* 2006 09/15;575:690-690.
- (189) Forbes SC, Slade JM, Meyer RA. Short-term high-intensity interval training improves phosphocreatine recovery kinetics following moderate-intensity exercise in humans. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008 12;33(6):1124-1131.
- (190) Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc* 1996 10;28(10):1327-1330.
- (191) Hazell TJ, Macpherson REK, Gravelle BMR, Lemon PWR. 10 Or 30-S Sprint Interval Training Bouts Enhance both Aerobic and Anaerobic Performance. *Eur J Appl Physiol* 2010 09;110(1):153-160.
- (192) MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* (1985) 1998 06;84(6):2138-2142.

- (193) Siahkouchian M, Khodadadi D, Shahmoradi K. Effects of high-intensity interval training on aerobic and anaerobic indices: Comparison of physically active and inactive men. *Science & Sports* 2013 10;28(5):e119-e125.
- (194) Duffield R, Edge J, Bishop D. Effects of high-intensity interval training on the response during severe exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2006 6;9(3):249-255.
- (195) Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: effects on VO<sub>2</sub>max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport* 2007 02;10(1):27-35.
- (196) Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Duffield R. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med Sci Sports Exerc* 2006 08;38(8):1492-1499.
- (197) Astorino TA, Allen RP, Roberson DW, Jurancich M, Lewis R, McCarthy K, et al. Adaptations to high-intensity training are independent of gender. *Eur J Appl Physiol* 2011 07;111(7):1279-1286.
- (198) Weston M, Taylor KL, Batterham AM, Hopkins WG. Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIT) on Fitness in Adults: A Meta-Analysis of Controlled and Non-Controlled Trials. *Sports Med* 2014 04/18.
- (199) Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ. Effects of 4-wk training using V<sub>max</sub>/T<sub>max</sub> on VO<sub>2</sub>max and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1999 06;31(6):892-896.
- (200) Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, Schomer HH, Noakes TD, Dennis SC. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 1996 11;28(11):1427-1434.
- (201) Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75(4):298-304.
- (202) Talanian JL, Galloway SDR, Heigenhauser GJF, Bonen A, Spriet LL. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol (1985)* 2007 04;102(4):1439-1447.
- (203) Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999 05;31(5):736-741.
- (204) Macpherson REK, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH, Lemon PWR. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 2011 01;43(1):115-122.
- (205) Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztejn JP. Interval training at VO<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc* 1999 01;31(1):156-163.

- (206) Little JP, Safdar A, Wilkin GP, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *J Physiol* 2010 03/15;588:1011-1022.
- (207) Bartlett JD, Close GL, MacLaren DPM, Gregson W, Drust B, Morton JP. High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *J Sports Sci* 2011 03;29(6):547-553.
- (208) Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognum Ø, Haram PM, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 2007 06/19;115(24):3086-3094.
- (209) Munk PS, Butt N, Larsen AI. High-intensity interval exercise training improves heart rate variability in patients following percutaneous coronary intervention for angina pectoris. *Int J Cardiol* 2010 11/19;145(2):312-314.
- (210) Molmen-Hansen H, Stolen T, Tjonna AE, Aamot IL, Ekeberg IS, Tyldum GA, et al. Aerobic interval training reduces blood pressure and improves myocardial function in hypertensive patients. *Eur J Prev Cardiol* 2012 04;19(2):151-160.
- (211) Ingul CB, Tjonna AE, Stolen TO, Støylen A, Wisloff U. Impaired cardiac function among obese adolescents: effect of aerobic interval training. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2010 09;164(9):852-859.
- (212) Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol* (1985) 2011 12;111(6):1554-1560.
- (213) Silva CA, Ribeiro JP, Canto JCAU, Silva RE, Silva Junior GB, Botura E, et al. High-intensity aerobic training improves endothelium-dependent vasodilation in patients with metabolic syndrome and type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Res Clin Pract* 2012 2;95(2):237-245.
- (214) Tjonna AE, Lee SJ, Rognum Ø, Stølen T.O., Bye A, Haram PM, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation* 2008 07/22;118(4):346-354.
- (215) Tjonna A.E., Stølen T.O., Bye A, Volden M, Slørdahl S.A., Odegård R, et al. Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci (Lond)* 2009 02;116(4):317-326.
- (216) Whyte LJ, Gill JMR, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism* 2010 10;59(10):1421-1428.
- (217) Villemur B, Marquer A, Gailledrat E, Benetreau C, Bucci B, Evra V, et al. New rehabilitation program for intermittent claudication: Interval training with active recovery: pilot study. *Ann Phys Rehabil Med* 2011 07;54(5):275-281.
- (218) Berthoin S, Baquet G, Dupont G, Van Praagh E. Critical velocity during continuous and intermittent exercises in children. *Eur J Appl Physiol* 2006 09;98(2):132-138.

- (219) Matsuo T, Saotome K, Seino S, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, et al. Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on VO<sub>2</sub>max and cardiac mass. *Med Sci Sports Exerc* 2014 01;46(1):42-50.
- (220) Fernandez-Fernandez J, Zimek R, Wiewelhove T, Ferrauti A. High-intensity interval training vs. repeated-sprint training in tennis. *J Strength Cond Res* 2012 01;26(1):53-62.
- (221) Iaia FM, Bangsbo J. Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2010 10;20 Suppl 2:11-23.
- (222) Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, Cureton KJ. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2014 02;44(2):269-279.
- (223) Millet GP, Candau R, Fattori P, Bignet F, Varray A. VO<sub>2</sub> responses to different intermittent runs at velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Can J Appl Physiol* 2003 06;28(3):410-423.
- (224) Smith TP, Coombes JS, Geraghty DP. Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O<sub>2</sub> uptake and the time for which this can be maintained. *Eur J Appl Physiol* 2003 05;89(3-4):337-343.
- (225) Laursen PB, Blanchard MA, Jenkins DG. Acute high-intensity interval training improves  $\dot{V}_{O_2}$  and peak power output in highly trained males. *Can J Appl Physiol* 2002 08;27(4):336-348.
- (226) Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002 11;34(11):1801-1807.
- (227) Rønnestad B,R., Hansen J. Optimizing interval training at power output associated with peak oxygen uptake in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2013 08/12.
- (228) Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol* 2012 03/01;590:1077-1084.
- (229) Christmass MA, Dawson B, Goodman C, Arthur PG. Brief intense exercise followed by passive recovery modifies the pattern of fuel use in humans during subsequent sustained intermittent exercise. *Acta Physiol Scand* 2001 05;172(1):39-52.
- (230) Thevenet D, Tardieu M, Zouhal H, Jacob C, Abderrahman BA, Prioux J. Influence of exercise intensity on time spent at high percentage of maximal oxygen uptake during an intermittent session in young endurance-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2007 12;102(1):19-26.
- (231) Ben Abderrahman A, Zouhal H, Chamari K, Thevenet D, de Mullenheim P, Gastinger S, et al. Effects of recovery mode (active vs. passive) on performance during a short high-intensity interval training program: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol* 2013 06;113(6):1373-1383.



- (232) Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Chassaing P, Demarle A, Koralsztein JP. Very short (15s-15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain VO<sub>2</sub> max for 14 minutes. *Int J Sports Med* 2001 04;22(3):201-208.
- (233) ASTRAND I, ASTRAND PO, CHRISTENSEN EH, HEDMAN R. Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand* 1960 04/25;48:448-453.
- (234) Dupont G, Blondel N, Lensele G, Berthoin S. Critical velocity and time spent at a high level of VO<sub>2</sub> for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Can J Appl Physiol* 2002 04;27(2):103-115.
- (235) Dupont G, Berthoin S. Time spent at a high percentage of VO<sub>2</sub>max for short intermittent runs: active versus passive recovery. *Can J Appl Physiol* 2004;29 Suppl:S3-S16.
- (236) Thevenet D, Leclair E, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Regueme S, Prioux J. Influence of recovery intensity on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young, endurance-trained athletes. *J Sports Sci* 2008 10;26(12):1313-1321.
- (237) Billat V, Binsse V, Petit B, Koralsztein JP. High level runners are able to maintain a VO<sub>2</sub> steady-state below VO<sub>2</sub>max in an all-out run over their critical velocity. *Arch Physiol Biochem* 1998 02;106(1):38-45.
- (238) Ward GA. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol* 1996 01;80(1):99-107.
- (239) Demarie S, Koralsztein JP, Billat V. Time limit and time at VO<sub>2</sub>max' during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness* 2000 06;40(2):96-102.
- (240) Buchheit M, Kuitunen S, Voss SC, Williams BK, Mendez-Villanueva A, Bourdon PC. Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *J Strength Cond Res* 2012 01;26(1):94-105.
- (241) Seiler S, Hetlelid KJ. The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med Sci Sports Exerc* 2005 09;37(9):1601-1607.
- (242) Franch J, Madsen K, Djurhuus MS, Pedersen PK. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc* 1998 08;30(8):1250-1256.
- (243) Stepto NK, Martin DT, Fallon KE, Hawley JA. Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2001 02;33(2):303-310.
- (244) Wallner D, Simi H, Tschakert G, Hofmann P. Acute physiological response to aerobic short-interval training in trained runners. *Int J Sports Physiol Perform* 2014 07;9(4):661-666.
- (245) Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. *Eur J Appl Physiol* 2003 08;89(6):548-554.

- (246) Belfry GR, Paterson DH, Murias JM, Thomas SG. The effects of short recovery duration on VO<sub>2</sub> and muscle deoxygenation during intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol* 2012 05;112(5):1907-1915.
- (247) de Aguiar ,R.A., Turnes T, de Oliveira Cruz ,R.S., Caputo F. VO<sub>2</sub> responses to running speeds above intermittent critical speed. *Int J Sports Med* 2012 11;33(11):892-897.
- (248) Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Time spent at VO<sub>2</sub>max: a methodological issue. *Int J Sports Med* 2003 05;24(4):291-297.
- (249) Wakefield BR, Glaister M. Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of VO<sub>2</sub>max during intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res* 2009 12;23(9):2548-2554.
- (250) Christmass MA, Dawson B, Arthur PG. Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999 10;80(5):436-447.
- (251) Essén B. Glycogen depletion of different fibre types in human skeletal muscle during intermittent and continuous exercise. *Acta Physiol Scand* 1978 08;103(4):446-455.
- (252) Seiler S, Sjursen JE. Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scand J Med Sci Sports* 2004 10;14(5):318-325.
- (253) Zuniga JM, Berg K, Noble J, Harder J, Chaffin ME, Hanumanthu VS. Physiological responses during interval training with different intensities and duration of exercise. *J Strength Cond Res* 2011 May;25(5):1279-1284.
- (254) Rønnestad BR, Hansen J, Vegge G, Tønnessen E, Slettaløkken G. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. *Scand J Med Sci Sports* 2015 04;25(2):143-151.
- (255) Greenwood JD, Moses GE, Bernardino FM, Gaesser GA, Weltman A. Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *J Sports Sci* 2008 01/01;26(1):29-34.
- (256) Signorile JF, Ingalls C, Tremblay LM. The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. *Can J Appl Physiol* 1993 03;18(1):31-42.
- (257) Thiriet P, Gozal D, Wouassi D, Oumarou T, Gelas H, Lacour JR. The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 1993 06;33(2):118-129.
- (258) Weltman A, Stamford BA, Fulco C. Recovery from maximal effort exercise: lactate disappearance and subsequent performance. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1979 10;47(4):677-682.
- (259) Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Graham CM, Louis G. Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;74(5):461-469.

- (260) Connolly DAJ, Brennan KM, Lauzon CD. Effects of active versus passive recovery on power output during repeated bouts of short term, high intensity exercise. 2003;2(2):47-51.
- (261) Abderrahmane AB, Prioux J, Mrizek I, Chamari K, Tabka Z, Bouslama A, et al. Recovery (passive vs. active) during interval training and plasma catecholamine responses. *Int J Sports Med* 2013 08;34(8):742-747.
- (262) Spencer M, Dawson B, Goodman C, Dascombe B, Bishop D. Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity. *Eur J Appl Physiol* 2008 07;103(5):545-552.
- (263) Dupont G, Moalla W, Matran R, Berthoin S. Effect of short recovery intensities on the performance during two Wingate tests. *Med Sci Sports Exerc* 2007 07;39(7):1170-1176.
- (264) Toubekis AG, Adam GV, Douda HT, Antoniou PD, Douroundos II, Tokmakidis SP. Repeated sprint swimming performance after low- or high-intensity active and passive recoveries. *J Strength Cond Res* 2011 01;25(1):109-116.
- (265) Toubekis AG, Peyrebrune MC, Lakomy HKA, Nevill ME. Effects of active and passive recovery on performance during repeated-sprint swimming. *J Sports Sci* 2008 12;26(14):1497-1505.
- (266) Toubekis AG, Douda HT, Tokmakidis SP. Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *Eur J Appl Physiol* 2005 03;93(5-6):694-700.
- (267) Toubekis AG, Smilios I, Bogdanis GC, Mavridis G, Tokmakidis SP. Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006 12;31(6):709-716.
- (268) Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin S. Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* 2004 02;36(2):302-308.
- (269) Wahl P, Zinner C, Grosskopf C, Rossmann R, Bloch W, Mester J. Passive recovery is superior to active recovery during a high-intensity shock microcycle. *J Strength Cond Res* 2013 05;27(5):1384-1393.
- (270) Ahmaidi S, Granier P, Taoutaou Z, Mercier J, Dubouchaud H, Prefaut C. Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1996 04;28(4):450-456.
- (271) Wahl P, Mathes S, Achtzehn S, Bloch W, Mester J. Active vs. passive recovery during high-intensity training influences hormonal response. *Int J Sports Med* 2013 06;35(7):583-589.
- (272) Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur J Appl Physiol* 2004 10;93(1-2):224-230.

- (273) Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2005 12;45(4):460-466.
- (274) Menzies P, Menzies C, McIntyre L, Paterson P, Wilson J, Kemi OJ. Blood lactate clearance during active recovery after an intense running bout depends on the intensity of the active recovery. *J Sports Sci* 2010 07;28(9):975-982.
- (275) Bond V, Adams RG, Tearney RJ, Gresham K, Ruff W. Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *J Sports Med Phys Fitness* 1991 09;31(3):357-361.
- (276) Reaburn PR, Mackinnon LT. Blood lactate responses in older swimmers during active and passive recovery following maximal sprint swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;61(3-4):246-250.
- (277) Dodd S, Powers SK, Callender T, Brooks E. Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1984 11;57(5):1462-1465.
- (278) Belcastro AN, Bonen A. Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *J Appl Physiol* 1976 12;39(6):932-936.
- (279) Gupta S, Goswami A, Sadhukhan AK, Mathur DN. Comparative study of lactate removal in short term massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *Int J Sports Med* 1996 02;17(2):106-110.
- (280) McMaster WC, Stoddard T, Duncan W. Enhancement of blood lactate clearance following maximal swimming. Effect of velocity of recovery swimming. *Am J Sports Med* 1989 07/19;17(4):472-477.
- (281) Ali Rasooli S, Koushkie Jahromi M, Asadmanesh A, Salesi M. Influence of massage, active and passive recovery on swimming performance and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness* 2012 04;52(2):122-127.
- (282) Hermansen L, Stensvold I. Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiol Scand* 1972 10;86(2):191-201.
- (283) Bangsbo J, Graham T, Johansen L, Saltin B. Muscle lactate metabolism in recovery from intense exhaustive exercise: impact of light exercise. *J Appl Physiol* 1994 10;77(4):1890-1895.
- (284) McAinch AJ, Parkin JM, Zhao S, Tangalakis K, Stojanovska L, Carey MF, et al. Effect of Active Versus Passive Recovery on Metabolism and Performance During Subsequent Exercise. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism* 2004 04;14(2):185-196.
- (285) Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med* 2000 11;21(8):593-597.

- (286) Weltman A, Regan JD. Prior exhaustive exercise and subsequent, maximal constant load exercise performance. *Int J Sports Med* 1983 08;4(3):184-189.
- (287) Lau S, Berg K, Latin RW, Noble J. Comparison of active and passive recovery of blood lactate and subsequent performance of repeated work bouts in ice hockey players. *J Strength Cond Res* 2001 08;15(3):367-371.
- (288) Balsom PD, Seger JY, Sjödén B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med* 1992 10;13(7):528-533.
- (289) Bangsbo J, Graham TE, Kiens B, Saltin B. Elevated muscle glycogen and anaerobic energy production during exhaustive exercise in man. *J Physiol* 1992;451:205-227.
- (290) Nielsen JJ, Mohr M, Klarskov C, Kristensen M, Krstrup P, Juel C, et al. Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *J Physiol (Lond)* 2004;554(3):857-870.
- (291) Cherry PW, Lakomy HK, Boobis LH, Nevill ME. Rapid recovery of power output in females. *Acta Physiol Scand* 1998 09;164(1):79-87.
- (292) Aughey RJ, Murphy KT, Clark SA, Garnham AP, Snow RJ, Cameron-Smith D, et al. Muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *J Appl Physiol* (1985) 2007 07;103(1):39-47.
- (293) Edge J, Eynon N, McKenna MJ, Goodman CA, Harris RC, Bishop DJ. Altering the rest interval during high-intensity interval training does not affect muscle or performance adaptations. *Exp Physiol* 2013;98(2):481-490.
- (294) Sjøgaard G. Exercise-induced muscle fatigue: the significance of potassium. *Acta Physiol Scand Suppl* 1990;593:1-63.
- (295) Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med* 2011 08/01;41(8):673-694.
- (296) Bishop DJ. Fatigue during intermittent-sprint exercise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 2012;39(9):836-841.
- (297) Ratel S, Duché P, Williams CA. Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. *Sports Med* 2006;36(12):1031-1065.
- (298) Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 2013 10;43(10):927-954.
- (299) Henriksson J, Reitman JS. Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training. *Acta Physiol Scand* 1976 07;97(3):392-397.
- (300) Millet GP, Libicz S, Borrani F, Fattori P, Bignet F, Candau R. Effects of increased intensity of intermittent training in runners with differing VO<sub>2</sub> kinetics. *Eur J Appl Physiol* 2003 09;90(1-2):50-57.

- (301) Berger NJ, Tolfrey K, Williams AG, Jones AM. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 2006 03;38(3):504-512.
- (302) Dupont G, McCall A, Prieur F, Millet GP, Berthoin S. Faster oxygen uptake kinetics during recovery is related to better repeated sprinting ability. *Eur J Appl Physiol* 2010 10;110(3):627-634.
- (303) Jones AM, Koppo K, Burnley M. Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. *Sports Med* 2003;33(13):949-971.
- (304) Billat V, Mille-Hamard L, Demarle A, Koralsztein J. Effect of training in humans on off-and on-transient oxygen uptake kinetics after severe exhausting intensity runs. *Eur J Appl Physiol* 2002;87(6):496-505.
- (305) Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams C, Doust JH. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol* (1985) 2000 Nov;89(5):1744-1752.
- (306) Demarle AP, Slawinski JJ, Laffite LP, Bocquet VG, Koralsztein JP, Billat VL. Decrease of O<sub>2</sub> deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *J Appl Physiol* (1985) 2001 Mar;90(3):947-953.
- (307) Bailey SJ, Vanhatalo A, DiMenna FJ, Wilkerson DP, Jones AM. Fast-start strategy improves VO<sub>2</sub> kinetics and high-intensity exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2011 03;43(3):457-467.
- (308) Buchheit M, Abbiss CR, Peiffer JJ, Laursen PB. Performance and physiological responses during a sprint interval training session: relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics. *Eur J Appl Physiol* 2012 02;112(2):767-779.
- (309) Buchheit M, Hader K, Mendez-Villanueva A. Tolerance to high-intensity intermittent running exercise: do oxygen uptake kinetics really matter? *Front Physiol* 2012 10/22;3:406-406.
- (310) Leibowitz PD. The effect of preceding anaerobic exercise on aerobic and anaerobic work. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;52(1):29-35.
- (311) Haseler LJ, Hogan MC, Richardson RS. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O<sub>2</sub> availability. *J Appl Physiol* (1985) 1999 06;86(6):2013-2018.
- (312) Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Boobis LH. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand* 1998 07;163(3):261-272.
- (313) McMahon S, Jenkins D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med* 2002;32(12):761-784.
- (314) Toubekis AG, Tsolaki A, Smilios I, Douda HT, Kourtesis T, Tokmakidis SP. Swimming performance after passive and active recovery of various durations. *Int J Sports Physiol Perform* 2008 09;3(3):375-386.

- (315) Midgley AW, McNaughton LR, Carroll S. Time at VO<sub>2</sub>max during intermittent treadmill running: test protocol dependent or methodological artefact? *Int J Sports Med* 2007 11;28(11):934-939.
- (316) Smith AE, Walter AA, Graef JL, Kendall KL, Moon JR, Lockwood CM, et al. Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr* 2009 02/11;6:5-5.
- (317) López Chicharro J, López Mojares LM. *Fisiología Clínica del ejercicio*. : Panamericana; 2008.
- (318) Garcia-Pinillos F, Soto-Hermoso VM, Latorre-Roman PA. Acute effects of extended interval training on countermovement jump and handgrip strength performance in endurance athletes: postactivation potentiation. *J Strength Cond Res* 2015 Jan;29(1):11-21.
- (319) Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cussó R, Parra J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol* 2000 08;82(5-6):480-486.
- (320) Stensvold D, Tjønnå AE, Skaug E, Aspenes S, Stølen T, Wisløff U, et al. Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *J Appl Physiol* 2010 04;108(4):804-810.
- (321) Cornish AK, Broadbent S, Cheema BS. Interval training for patients with coronary artery disease: a systematic review. *Eur J Appl Physiol* 2011 04;111(4):579-589.
- (322) Meyer T, Welter J, Scharhag J, Kindermann W. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *Eur J Appl Physiol* 2003 01;88(4-5):387-389.
- (323) Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci* 1980 06;5(2):77-84.
- (324) Prins L, Terblanche E, Myburgh KH. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *J Sports Sci* 2007 06;25(8):927-935.
- (325) Reinisch M, Schaff P, Hauser W, Rosemeyer B. [Treadmill versus field trial. Movement analysis and pressure distribution in the athletic shoe]. *Sportverletz Sportschaden* 1991 06;5(2):60-73.
- (326) Semin K, Stahlnecker IV AC, Heelan K, Brown GA, Shaw BS, Shaw I. Discrepancy between training, competition and laboratory measures of maximum heart rate in NCAA division 2 distance runners. *Journal of Sports Science and Medicine* 2008;7:455-460.
- (327) Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport* 2004 03;7(1):11-22.
- (328) Pinnington HC, Wong P, Tay J, Green D, Dawson B. The level of accuracy and agreement in measures of FEO<sub>2</sub>, FECO<sub>2</sub> and VE between the Cosmed K4b2 portable, respiratory gas analysis system and a metabolic cart. *J Sci Med Sport* 2001 09;4(3):324-335.

- (329) McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Bassett DR, J., Ainsworth BE. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med* 2001 05;22(4):280-284.
- (330) Tanner RK, Fuller KL, Ross MLR. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur J Appl Physiol* 2010 06;109(3):551-559.
- (331) Borg G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health* 1990;16 Suppl 1:55-58.
- (332) Cheuvront SN, Haymes EM. Thermoregulation and marathon running: biological and environmental influences. *Sports Med* 2001;31(10):743-762.
- (333) Armstrong LE, Epstein Y, Greenleaf JE, Haymes EM, Hubbard RW, Roberts WO, et al. American College of Sports Medicine position stand. Heat and cold illnesses during distance running. *Med Sci Sports Exerc* 1996 12;28(12):i-x.
- (334) Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 1985 08;6(4):197-201.
- (335) Linthorne NP. **Analysis of standing vertical jumps using a force platform.** 2001;69(11):1198-1204.
- (336) Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, Vanhees L, Saner H, et al. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008 12;15(6):726-734.
- (337) Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. : Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia; 2005.
- (338) Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 1955 07;8(1):73-80.
- (339) Issekutz B, Birkhead NC, Rodahl K. Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *Journal of Applied Physiology* 1962 January 01;17(1):47-50.
- (340) Maritz JS, Morrison JF, Peter J, Strydom NB, Wyndham CH. A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake. *Ergonomics* 1961 04/01; 2013/09;4(2):97-122.
- (341) Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 2007 05;39(5):822-829.
- (342) Astrand PO. Experimental studies of Physical working capacity in Relationship to Sex and age. Copenhagen: Munksgaard; 1952.
- (343) Sánchez-Otero T, Iglesias-Soler E, Boulosa DA, Tuimil JL. Verification criteria for the determination of VO<sub>2</sub>MAX in the field. *J Strength Cond Res* 2014 12;28(12):3544-3551.



- (344) Martínez-González MÁ, Sánchez-Villegas A, Faulín FJ. Bioestadística amigable. 2ª edición ed. Madrid: Díaz de Santos; 2006.
- (345) Midgley AW, McNaughton LR, Carroll S. Physiological determinants of time to exhaustion during intermittent treadmill running at  $vV(\cdot)O(2max)$ . *Int J Sports Med* 2007 04;28(4):273-280.
- (346) Rozenek R, Funato K, Kubo J, Hoshikawa M, Matsuo A. Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with  $VO_{2max}$ . *J Strength Cond Res* 2007 02;21(1):188-192.
- (347) Doust BM. Effects of prior exercise and recovery duration on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. *Exp Physiol* 2001 05;86(3):417-425.
- (348) Carter H, Grice Y, Dekerle J, Brickley G, Hammond AJP, Pringle JSM. Effect of prior exercise above and below critical power on exercise to exhaustion. *Med Sci Sports Exerc* 2005 05;37(5):775-781.
- (349) Jones AM, Wilkerson DP, Burnley M, Koppo K. Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003 12;35(12):2085-2092.
- (350) Wilkerson DP, Koppo K, Barstow TJ, Jones AM. Effect of prior multiple-sprint exercise on pulmonary  $O_2$  uptake kinetics following the onset of perimaximal exercise. *J Appl Physiol* (1985) 2004 Oct;97(4):1227-1236.
- (351) Denadai BS, Ortiz MJ, Greco CC, de Mello MT. Interval training at 95% and 100% of the velocity at  $V O_2 max$ : effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2006;31(6):737-743.
- (352) Chidnok W, Dimenna FJ, Bailey SJ, Vanhatalo A, Morton RH, Wilkerson DP, et al. Exercise tolerance in intermittent cycling: application of the critical power concept. *Med Sci Sports Exerc* 2012 05;44(5):966-976.
- (353) Lacour J, Messonnier L, Bourdin M. The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. *Eur J Appl Physiol* 2007 09;101(2):241-247.
- (354) Astorino TA, Schubert MM, Palumbo E, Stirling D, McMillan DW, Cooper C, et al. 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* 2013;113(9):2361-2369.
- (355) Stanley J, Buchheit M. Moderate Recovery Unnecessary to Sustain High Stroke Volume during Interval Training. A Brief Report. *J Sports Sci Med* 2014 05/01;13(2):393-396.
- (356) Impellizzeri F, Marcora S, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia F, et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med* 2006;27(6):483-492.

- (357) Miladi I, Temfemo A, Mandengue SH, Ahmaidi S. Effect of recovery mode on exercise time to exhaustion, cardiorespiratory responses, and blood lactate after prior, intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res* 2011 Jan;25(1):205-210.
- (358) Essén B, Hagenfeldt L, Kaijser L. Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol (Lond)* 1977;265(2):489-506.
- (359) Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1996 03;80(3):876-884.
- (360) Sahlin K, Harris R, Hultman E. Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation* 1979;39(6):551-557.
- (361) Richardson RS, Noyszewski EA, Kendrick KF, Leigh JS, Wagner PD. Myoglobin O<sub>2</sub> desaturation during exercise. Evidence of limited O<sub>2</sub> transport. *J Clin Invest* 1995 Oct;96(4):1916-1926.
- (362) Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1993 Aug;75(2):712-719.
- (363) Glaister M. Multiple sprint work. *Sports medicine* 2005;35(9):757-777.
- (364) Vuorimaa T, Ahotupa M, Häkkinen K, Vasankari T. Different hormonal response to continuous and intermittent exercise in middle-distance and marathon runners. *Scand J Med Sci Sports* 2008 10;18(5):565-572.
- (365) Bangsbo J, Madsen K, Kiens B, Richter EA. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *J Physiol* 1996 Sep 1;495 ( Pt 2)(Pt 2):587-596.
- (366) Hargreaves M. Fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology is systems biology. *J Appl Physiol* (1985) 2008 May;104(5):1541-1542.
- (367) Choi D, Cole KJ, Goodpaster BH, Fink WJ, Costill DL. Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc* 1994 Aug;26(8):992-996.
- (368) Villerius V, Duc S, Grappe F. Physiological and neuromuscular responses of competitive cyclists during a simulated self-paced interval training session. *Int J Sports Med* 2008 09;29(9):770-777.
- (369) Coyle EF, Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exerc Sport Sci Rev* 2001;29(2):88-92.
- (370) Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nickle GA, Nelson WB, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol* 1998 08;85(2):609-618.

- (371) Harms CA, Babcock MA, McClaran SR, Pegelow DF, Nickele GA, Nelson WB, et al. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol* 1997 05;82(5):1573-1583.
- (372) Tipton CM. *ACSM's advanced exercise physiology*. : Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
- (373) Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, Dempsey JA. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol* 1993 01;460:385-405.
- (374) Harms CA, Wetter TJ, St Croix ,C.M., Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol* 2000 07;89(1):131-138.
- (375) Mador MJ, Acevedo FA. Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *J Appl Physiol* 1991 05;70(5):2059-2065.
- (376) Taylor BJ, Romer LM. Effect of expiratory muscle fatigue on exercise tolerance and locomotor muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol* 2008 05;104(5):1442-1451.
- (377) Romer LM, Lovering AT, Haverkamp HC, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J Physiol* 2006 03/01;571:425-439.
- (378) Spengler CM, Knöpfli-Lenzin C, Birchler K, Trapletti A, Boutellier U. Breathing pattern and exercise endurance time after exhausting cycling or breathing. *Eur J Appl Physiol* 2000 03;81(5):368-374.
- (379) Sliwiński P, Yan S, Gauthier AP, Macklem PT. Influence of global inspiratory muscle fatigue on breathing during exercise. *J Appl Physiol* 1996 04;80(4):1270-1278.
- (380) Sheel AW, Derchak PA, Pegelow DF, Dempsey JA. Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2002 05;282(5):H1732-H1738.
- (381) Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol* 2007 11/01;584:1019-1028.
- (382) MacRae HS, Dennis SC, Bosch AN, Noakes TD. Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985) 1992 May;72(5):1649-1656.
- (383) MacRae HH, Noakes TD, Dennis SC. Effects of endurance training on lactate removal by oxidation and gluconeogenesis during exercise. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* 1995;430(6):964-970.
- (384) Brooks GA. Lactate. *Sports Medicine* 2007;37(4-5):341-343.
- (385) Miller BF, Fattor JA, Jacobs KA, Horning MA, Navazio F, Lindinger MI, et al. Lactate and glucose interactions during rest and exercise in men: effect of exogenous lactate infusion. *J Physiol (Lond )* 2002;544(3):963-975.

- (386) Gladden LB. Mammalian skeletal muscle can convert lactate to glycogen. *J Appl Physiol* (1985) 2006 Jun;100(6):2109; author reply 2109-10.
- (387) Brooks GA. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 1986 06;18(3):360-368.
- (388) Stanley WC, Gertz EW, Wisneski JA, Neese RA, Morris DL, Brooks GA. Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1986 Apr;60(4):1116-1120.
- (389) Juel C, Halestrap AP. Lactate transport in skeletal muscle—role and regulation of the monocarboxylate transporter. *J Physiol (Lond)* 1999;517(3):633-642.
- (390) Weltman A, Stamford BA, Moffatt RJ, Katch VL. Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation* 1977;48(4):786-796.
- (391) Bangsbo J, Gollnick P, Graham T, Saltin B. Substrates for muscle glycogen synthesis in recovery from intense exercise in man. *J Physiol (Lond)* 1991;434(1):423-440.
- (392) Weston AR, Karamizrak O, Smith A, Noakes TD, Myburgh KH. African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. *J Appl Physiol* (1985) 1999 Mar;86(3):915-923.
- (393) Morell AM, Millán CG, Llop F. Presente y futuro del ácido láctico. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte* 2007(120):270-284.
- (394) Bonen A, Belcastro AN. Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Med Sci Sports* 1976 Fall;8(3):176-178.
- (395) Allen WH. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci* 2002 02;17:17-21.
- (396) Amann M, Eldridge MW, Lovering AT, Stickland MK, Pegelow DF, Dempsey JA. Arterial oxygenation influences central motor output and exercise performance via effects on peripheral locomotor muscle fatigue in humans. *J Physiol* 2006 09/15;575:937-952.
- (397) Johnston LA, Butler RJ, Sparling TL, Queen RM. A single set of biomechanical variables cannot predict jump performance across various jumping tasks. *J Strength Cond Res* 2015 Feb;29(2):396-407.
- (398) Kirkendall DT, Street GM. Mechanical jumping power in athletes. *Br J Sports Med* 1986 Dec;20(4):163-164.
- (399) Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;50(2):273-282.
- (400) Daniel A. Boullosa. Efectos agudos de la fatiga en deportistas de resistencia. *Universidade da Coruña*; 2009.

- (401) Boullosa DA, Tuimil JL. Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res* 2009 08;23(5):1560-1565.
- (402) Boullosa DA, Tuimil JL, Alegre LM, Iglesias E, Lusquinos F. Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 2011 03;6(1):82-93.
- (403) Young W, Cormack S, Crichton M. Which jump variables should be used to assess explosive leg muscle function. *Int J Sports Physiol Perform* 2011;6(1):51-57.
- (404) Adrián Varela Sanz. Efectos del entrenamiento concurrente, polarizado y tradicional, sobre la condición física saludable; 2014.
- (405) Dowling JJ, Vamos L. Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics* 1993;9:95-95.
- (406) Kirby TJ, McBride JM, Haines TL, Dayne AM. Relative net vertical impulse determines jumping performance. *J Appl Biomech* 2011;27(3):207-214.
- (407) Batista MA, Ugrinowitsch C, Roschel H, Lotufo R, Ricard MD, Tricoli VA. Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. *J Strength Cond Res* 2007 Aug;21(3):837-840.
- (408) Ugrinowitsch C, Tricoli V, Rodacki ALF, Batista M, Ricard MD. Influence of training background on jumping height. *J Strength Cond Res* 2007 08;21(3):848-852.
- (409) Tillin MNA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine* 2009;39(2):147-166.
- (410) Marquez GJ, Mon J, Acero RM, Sanchez JA, Fernandez-del-Olmo M. Low-intensity cycling affects the muscle activation pattern of consequent countermovement jumps. *J Strength Cond Res* 2009 Aug;23(5):1470-1476.
- (411) Rassier D, Macintosh B. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 2000;33(5):499-508.
- (412) Rodacki AL, Fowler NE, Bennett SJ. Vertical jump coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(1):105-116.
- (413) Hamada T, Sale DG, Macdougall JD. Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2000 Feb;32(2):403-411.
- (414) Hodgson M, Docherty D, Robbins D. Post-activation potentiation. *Sports Medicine* 2005;35(7):585-595.
- (415) Comyns TM, Harrison AJ, Hennessy LK, Jensen RL. The optimal complex training rest interval for athletes from anaerobic sports. *J Strength Cond Res* 2006 Aug;20(3):471-476.
- (416) Kilduff LP, Bevan HR, Kingsley MI, Owen NJ, Bennett MA, Bunce PJ, et al. Postactivation potentiation in professional rugby players: optimal recovery. *J Strength Cond Res* 2007 Nov;21(4):1134-1138.

- (417) Sale D. Postactivation potentiation: role in performance. *Br J Sports Med* 2004 Aug;38(4):386-387.
- (418) Bosco C. La valoración de la fuerza con el test de Bosco. : Paidotribo; 1994.
- (419) Rønnestad ,B.R., Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports* 2013 08/05.
- (420) Bosco C, Komi PV. Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;41(4):275-284.
- (421) Morris MG, Dawes H, Howells K, Scott OM, Cramp M. Relationships between muscle fatigue characteristics and markers of endurance performance. *Journal of sports science & medicine* 2008;7(4):431.

## **4. APLICACIONES PRÁCTICAS**





Basándonos en los resultados y conclusiones extraídas de esta Tesis Doctoral, se sugiere:

1. *Elegir el tipo de pausa en función de la capacidad de manifestación de la fuerza explosiva de los miembros inferiores.*

Atendiendo a la respuesta individual, cada participante obtuvo diferente tiempo total de trabajo dependiendo del tipo de pausa en nuestras sesiones de HIT realizadas hasta la extenuación. La elección del tipo de pausa en una sesión de HIT de similares características a la aquí evaluada, no debería hacerse en función del estímulo cardiorrespiratorio o de la eliminación de ácido láctico en sangre, sino de la capacidad de manifestación de fuerza explosiva de los miembros inferiores del corredor. Así, para poder emplear la pausa pasiva y mantener la eficacia en el rendimiento cardiorrespiratorio en una sesión de HIT se debe tener una adecuada capacidad de aplicación de potencia en la fase concéntrica. Aunque con la pausa activa las asociaciones entre la capacidad de salto vertical y los criterios de efectividad de una sesión de HIT no fueron tan contundentes como se evidenció con la pausa pasiva, una capacidad de salto vertical con elevados niveles de aplicación de fuerza en la fase concéntrica se relacionó con un peor rendimiento cardiorrespiratorio. Por lo tanto, parece que un pobre rendimiento en la capacidad de aplicación de potencia podría resultar perjudicial para el conseguir una adecuada efectividad en HIT independientemente del tipo de pausa empleada.

2. *Utilizar la pausa activa para generar una respuesta cardiorrespiratoria superior durante la sesión de HIT.*
3. *Emplear los valores de la eficiencia conseguida para determinar el volumen de la sesión de HIT.*

La eficiencia observada en este trabajo fue similar con los dos tipos de pausa. Por los valores conseguidos de  $TT_{90\%VO_{2max}}/TTE$ , se necesitaría repetir los intervalos de 2:2 min a la VAM durante 30 min para obtener 10 min de trabajo en máximo consumo de oxígeno o próximos a él. Esto resultó imposible o altamente demandante para muchos

de los participantes, con lo que deben estudiarse otras estrategias para aumentar la eficiencia en este tipo de diseño.

*4. Determinar la intensidad de la recuperación activa en relación al segundo umbral ventilatorio.*

Escoger la intensidad de la recuperación activa en relación a la velocidad del segundo umbral ventilatorio y no en relación al  $VO_{2max}$  o VAM parece ser una estrategia óptima para encontrar el equilibrio adecuado entre recuperación y mantenimiento de la cinética del  $VO_2$  y lograr una sesión de HIT de elevada efectividad.

*5. Entrenar fuerza orientada al desarrollo de la potencia.*

En este estudio, los corredores que tenía un *perfil* más *explosivo*, fueron los que mejor estímulo cardiorrespiratorio alcanzaron en las sesiones de HIT posiblemente gracias al papel que juegan los factores neuromusculares en la economía de carrera. Un elevado rendimiento de fuerza explosiva en los miembros inferiores previa a la fatiga se relacionó con bajas concentraciones de lactato sanguíneo las cuales a su vez correlacionaron negativamente con la capacidad de salto durante la propia sesión de HIT. Así, el desarrollo de la fuerza podría permitir al corredor una mayor economía de carrera, un menor nivel de dependencia de la vía glucolítica y un mantenimiento de su fuerza explosiva por más tiempo durante un esfuerzo fatigante.

## **5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



Según los resultados obtenidos en el presente trabajo se plantean futuras líneas de investigación que ayuden a profundizar en la comprensión de la interacción entre las variables de efectividad del método de entrenamiento interválico:

1. Precisar los perfiles de deportistas susceptibles de mayor aprovechamiento del estímulo de la sesión de HIT en función del tipo de pausa con el objetivo de determinar cuál es el mejor criterio para la elección del tipo de recuperación a seguir.
2. Explorar diferentes diseños de HIT que permitan mejorar los criterios de efectividad conseguidos, por ejemplo, determinar la intensidad de la de carga y la pausa en función del umbral láctico, estudiar diferentes relaciones entre los intervalos de carga:pausa (densidad) o valorar el efecto del empleo separación de la repeticiones en bloques de series.
3. Estudiar el fenómeno de la PPA con registros electromiográficos y análisis de las fases de los saltos para una evaluación estructural y estudiar el posible cambio de patrón de activación muscular que permite mantener la capacidad de salto vertical.
4. Realizar un estudio longitudinal para valorar no sólo las respuestas agudas a una sesión de HIT en función del tipo de pausa seguido en el intervalo de recuperación, sino las adaptaciones crónicas.



## **6. ANEXOS**





## 6.1. Anexo 1. Condiciones metereológicas.

**Tabla 27.** Variables descriptivas de las condiciones ambientales en las sesiones realizadas por cada participante, expresadas como media±DE.

	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>	<b>Velocidad (m·s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Presión barométrica (hPa)</b>
<b>Participante 1</b>	15,48(1,31)	86,20(7,88)	3,97(1)	1017,44(83,13)
<b>Participante 2</b>	12,38(2,43)	73(5,70)	4,82(2,23)	1016,94(7,18)
<b>Participante 3</b>	17,58(1,23)	90,60(11,61)	3,88(1,46)	1016,12(5,13)
<b>Participante 4</b>	11,22(2,03)	87,80(1,78)	3,30(0,73)	1026,54(4,79)
<b>Participante 5</b>	12,16(1,62)	87,60(12,13)	4,75(1,75)	1026(3,52)
<b>Participante 6</b>	12,88(1,64)	85,80(4,02)	5(1,38)	1018,34(6,90)
<b>Participante 7</b>	13,04(0,87)	84(2,73)	4,29(1,56)	1017,98(6,74)
<b>Participante 8</b>	12,98(1)	95(3,60)	3,37(1,56)	1070,30(3,77)
<b>Participante 9</b>	14,84(1,57)	87,80(5,40)	3,92(0,97)	1017,28(4,31)
<b>Participante 10</b>	17,58(1,11)	89,20(5,89)	4,29(1,03)	1015,62(4,01)
<b>Participante 11</b>	17,38(0,83)	89,80(6,49)	3,78(1)	1017,68(3,55)

**Nota.** DE: desviación estándar

## 6.2. Anexo 2. Documento de consentimiento informado.

### DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO: Recuperación activa versus pasiva: efectos en el rendimiento y variables fisiológicas, metabólicas y neuromusculares durante el ejercicio interválico de alta intensidad.

Yo,

- He leído la hoja de información al participante del estudio arriba mencionado que se me entregó, he podido hablar con Investigador principal y hacerle todas las preguntas sobre el estudio necesarias para comprender sus condiciones y considero que he recibido suficiente información sobre el estudio.
- Comprendo que mi participación es voluntaria, y que puedo retirarme del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Accedo a que se utilicen mis datos en las condiciones detalladas en la hoja de información al participante.
- Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Respeto a la conservación y utilización futura de los datos y/o muestras detallada en la hoja de información al participante,

- NO accedo a que mis datos y/o muestras sean conservados una vez terminado el presente estudio
- Accedo a que mis datos y/o muestras se conserven una vez terminado el estudio, siempre y cuando sea imposible, incluso para los investigadores, identificarlos por ningún medio
- Accedo a que los datos y/o muestras se conserven para usos posteriores en líneas de investigación relacionadas con la presente, y en las condiciones mencionadas.

En cuanto a los resultados de las pruebas realizadas,

- DESEO conocer los resultados de mis pruebas
- NO DESEO conocer los resultados de mis pruebas

El/la participante,

El/la investigador/a,

Fdo.:

Fdo.:

Fecha:

Fecha:

### **6.3. Anexo 3. Hoja de información para el participante.**

#### HOJA DE INFORMACIÓN AL PARTICIPANTE

TÍTULO: Recuperación activa versus pasiva: efectos en el rendimiento y variables fisiológicas, metabólicas y neuromusculares durante el ejercicio interválico de alta intensidad

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Tania Sánchez Otero

Este documento tiene por objeto ofrecerle información sobre un estudio de investigación en el que se le invita a participar. Este estudio se está realizando desde la Facultad de Ciencias do Deporte y la Educación Física (INEF Galicia), Universidade da Coruña.

Si decide participar en el mismo, debe recibir información personalizada del investigador, leer antes este documento y hacer todas las preguntas que necesite para comprender los detalles sobre el mismo. Si así lo desea, puede llevar el documento, consultarlo con otras personas, y tomarse el tiempo necesario para decidir si participar o no.

La participación en este estudio es completamente voluntaria. Vd. puede decidir no participar o, si acepta hacerlo, cambiar de opinión retirando el consentimiento en cualquier momento sin obligación de dar explicaciones.

#### **¿Cuál es el propósito del estudio?**

El objetivo de este estudio es comparar el efecto que genera el empleo de la pausa activa versus pasiva en el entrenamiento interválico de alta intensidad. Para ello se realizarán unas mediciones antes y después de cada sesión, que permitirán determinar los cambios fisiológicos, metabólicos y neuromusculares que se generen en cada caso. Los ejercicios de valoración serán: carrera siguiendo una metodología interválica de alta intensidad y salto con contramovimiento o CMJ.

#### **¿Por qué me ofrecen participar a mí?**

La selección de las personas invitadas a participar depende de unos criterios que están descritos en el protocolo de la investigación. Estos criterios sirven para seleccionar a la población en la que se responderá el interrogante de la investigación. Vd. es invitado a participar porque potencialmente cumple esos criterios, al ser una persona sana, mayor de edad y adaptada al entrenamiento de resistencia en carrera.

#### **¿En qué consiste mi participación?**

El estudio consistirá en 2 valoraciones previas y 4 sesiones de evaluaciones relacionadas con el objeto de estudio. Las valoraciones previas consisten en una sesión

de familiarización y otra sesión para obtener los valores de máximo consumo de oxígeno y de potencia de salto. De las 4 sesiones de evaluación, dos de ellas consistirán en la ejecución de una sesión-tipo de entrenamiento aeróbico interválico en carrera y las otras dos consistirán en llevar ese entrenamiento hasta la extenuación. Estas mediciones se harán en días separados al menos por 48 horas.

En todas las sesiones habrá una monitorización de diferentes variables a través de los siguientes parámetros:

- Parámetros ergoespirométricos:
  - Aportan información para analizar la respuesta integrada del organismo al ejercicio dinámico
  - Se basa en el análisis del intercambio de gases respiratorios ( $VO_2$ ,  $VCO_2$ ,  $VO_{2max}$ , CR...) a nivel de la boca para informar sobre los procesos metabólicos.
- Parámetros metabólicos:
  - Se medirá la concentración de lactato en sangre.
- Parámetros neuromusculares:
  - Se medirán a través de la ejecución de una serie de saltos explosivos con contramovimiento o CMJ sobre una plataforma de fuerzas.

Cada medición de lactato requiere de una muestra de sangre de 0.5 $\mu$ L

Para garantizar unas condiciones experimentales adecuadas se deberá:

- 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 haber realizado 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.

### **¿Qué riesgos o inconvenientes tiene?**

La realización de las cargas de trabajo diseñadas puede generar fatiga y dolor muscular de aparición tardía (“agujetas”). Las muestras de sangre son reducidas y siempre serán llevadas a cabo por personal sanitario. Para reducir cualquier riesgo de lesión, todas las valoraciones irán precedidas por un calentamiento específico diseñado y dirigido por un especialista. Las ejecuciones de los ejercicios serán supervisadas por al menos dos investigadores, que prestarán la ayuda necesaria al deportista.

Si durante el transcurso del estudio se conociera información relevante que afecte a la relación entre el riesgo y el beneficio de la participación, se le transmitirá para que pueda decidir abandonar o continuar.

### **¿Obtendré algún beneficio por participar?**

No se espera que Vd. obtenga beneficio directo por participar en el estudio. El único beneficio es valorar qué tipo de metodología de entrenamiento interválico proporciona un mejor estímulo para el entrenamiento y la mejora del rendimiento en carrera atendiendo a parámetros fisiológicos, metabólicos y neuromusculares.

### **¿Recibiré la información que se obtenga del estudio?**

Si Vd. lo desea, se le facilitará un resumen de los resultados del estudio. También podrá recibir los resultados de las pruebas que se le practiquen si así lo solicita. Estos resultados pueden no tener aplicación clínica ni una interpretación clara, por lo que, si quiere disponer de ellos, deberían ser comentados con el investigador principal del estudio.

### **¿Se publicaran los resultados de este estudio?**

Los resultados de este estudio serán publicados en publicaciones científicas para su difusión, pero no se transmitirá ningún dato que pueda llevar a la identificación de los participantes.

### **¿Cómo se protegerá la confidencialidad de mis datos?**

El tratamiento, comunicación y cesión de sus datos se hará conforme a lo dispuesto por la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal. En todo momento, Vd. podrá acceder a sus datos, corregirlos o cancelarlos. Sólo el equipo investigador tendrá acceso a todos los datos recogidos por el estudio. Se podrá transmitir a terceros información que no pueda ser identificada. En el caso de que alguna información sea transmitida a otros países, se realizará con un nivel de protección de los datos equivalente, como mínimo, al exigido por la normativa de nuestro país. La transmisión de datos a terceros tiene por finalidad el realizar un análisis más exhaustivo de algunos parámetros registrados que por razones técnicas no podrían ser analizados en nuestro laboratorio.

### **¿Qué ocurrirá con las muestras obtenidas?**

Como se ha comentado anteriormente, las pruebas del estudio requieren muestras sanguíneas de muy bajo volumen y cuyo análisis se realiza de forma inmediata mediante sistemas de tiras reactivas. Por ello, una vez obtenido el dato, dichas muestras serán desechadas.

### **¿Existen intereses económicos en este estudio?**

Vd. no será retribuido por participar. Es posible que de los resultados del estudio se deriven productos comerciales o patentes. En este caso, Vd. no participará de los beneficios económicos originados.

Todas las mediciones se llevarán a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física de la Universidade da Coruña, por lo que en ningún caso se contempla el alquiler o arrendamiento de instalaciones.

**¿Quién me puede dar más información?**

Puede contactar con Tania Sánchez Otero en el teléfono ----- o dirección de correo [t.sanchez@udc.es](mailto:t.sanchez@udc.es) para más información.

Muchas gracias por su colaboración.

#### **6.4. Anexo 4. Publicaciones derivadas del trabajo de Tesis Doctoral.**

Sánchez-Otero T, Iglesias-Soler E, Boullosa DA, Tuimil JL. Verification criteria for the determination of  $VO_{2\max}$  in the field. J Strength Cond Res 2014 12;28(12):3544-3551.

#### **6.5. Anexo 5. Participación en congresos derivadas del trabajo de Tesis Doctoral.**

Sánchez-Otero T, Iglesias-Soler E, Tuimil López JL. La fase de verificación: herramienta metodológica útil en la determinación del  $VO_{2\max}$  en corredores. En: Libro de Actas del VII Congreso Internacional de la Asociación Española de Ciencias del Deporte. Facultad de Ciencias del Deporte, Granada; 2012.p.67.





---

# VERIFICATION CRITERIA FOR THE DETERMINATION OF $\dot{V}O_2$ MAX IN THE FIELD

TANIA SÁNCHEZ-OTERO,<sup>1</sup> ELISEO IGLESIAS-SOLER,<sup>1</sup> DANIEL A. BOULLOSA,<sup>2</sup> AND JOSÉ L. TUIMIL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education and Sports, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, University of A Coruña, A Coruña, Spain; and <sup>2</sup>Postgraduate Program in Physical Education, Catholic University of Brasília, Brasília, Brazil

## ABSTRACT

Sánchez-Otero, T, Iglesias-Soler, E, Boullosa, DA, and Tuimil, JL. Verification criteria for the determination of  $\dot{V}O_2$ max in the field. *J Strength Cond Res* 28(12): 3544–3551, 2014—The purpose of this study was to evaluate if a verification test (VT) performed in the field offers more confident results than do traditional criteria in the determination of maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ max). Twelve amateur runners (age,  $36.6 \pm 6.6$  years) performed a maximal graded field test and after 15 minutes of passive recovery a supramaximal test to exhaustion at 105% of their velocity associated with  $\dot{V}O_2$ max ( $v\dot{V}O_2$ max). Traditional criteria and 2 different verification criteria were evaluated. Verification criteria were (a) maximal oxygen uptake achieved in the VT ( $\dot{V}O_{2\text{verif}}$ ) must be  $\leq 5\%$  higher than  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ , and (b) no significant differences of means between tests. All participants met the first verification criterion although significant differences were found between  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$  and  $\dot{V}O_{2\text{verif}}$  ( $59.4 \pm 5.1$  vs.  $56.2 \pm 4.7$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,  $p < 0.01$ ). The criteria for the plateau, peak heart rate (HR<sub>peak</sub>), maximum respiratory exchange ratio (RER<sub>max</sub>), and maximum blood lactate concentration ( $[La]_{\text{max}}$ ) were satisfied by 75, 66, 92, and 66 of the participants, respectively. Kappa coefficients gave a significant and substantial agreement beyond chance between traditional criteria ( $p < 0.001$ ). Despite the substantial agreement, traditional criteria induced the rejection of participants that might have achieved a true  $\dot{V}O_2$ max with HR<sub>peak</sub> and  $[La]_{\text{max}}$  being the more stringent criteria for amateur runners. A verification protocol in the field using the criterion based on individual analysis is recommended.

**KEY WORDS** performance, supramaximal, plateau, exhaustion, criteria

## INTRODUCTION

**M**aximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ max) is the gold standard of physiological evaluation generally used as an index of cardiorespiratory fitness (7), and of the potential of an individual for endurance capacity (14). However, the most challenging issue during its evaluations lies in identifying which participants have made a true maximal effort and which have ended the test prematurely without eliciting a true  $\dot{V}O_2$ max (28,32).

The primary traditional criterion for the validation of  $\dot{V}O_2$ max is to observe a leveling-off of  $\dot{V}O_2$  during an incremental exercise test known as the plateau phenomenon (6). Most recent studies using automated gas analyzers and continuous graded test to exhaustion have failed to show a clear plateau phenomenon in all or even most tests (4,24,32). In these situations, it has become conventional to use the term “peak  $\dot{V}O_2$ ” ( $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ), and secondary criteria are generally used. These criteria include the attainment of a high blood lactate concentration ( $[La]_{\text{max}}$ ), high respiratory exchange ratio (RER<sub>max</sub>), and the achievement of some percentage of predicted maximal heart rate (HR<sub>peak</sub>) (7). A wide range of cut-off values were used among different studies assessing maximal efforts in laboratory conditions (31). This means that, because of their large between-subject variation, many subjects will satisfy these criteria during submaximal efforts (4,28,32), whereas others would not satisfy a particular criterion even when a maximum effort is given (17,24).

The verification test (VT) has been proposed as an alternative methodology for the confirmation of a maximal effort to overcome these disadvantages in children (4), sedentary men and women (1), physically active athletes (35), and competitive runners (16,29,36). It consists of a supramaximal constant power test carried out to exhaustion after 5–15 minutes of recovery after the end of the incremental test. The VT could add useful information to determine a maximal effort because several studies observed a plateau incidence of  $\leq 50\%$  while all (4,35) or almost all the participants ( $\geq 80\%$ ) (29,36) satisfied the  $\dot{V}O_2$ max verification criterion.

Previously, it has been suggested that similar oxygen uptakes (within the tolerance of measurement error) between the incremental and supramaximal test would provide additional confirmation that a true  $\dot{V}O_2$ max has been

---

Address correspondence to Tania Sánchez-Otero, t.sanchez@udc.es.  
28(12)/3544–3551

*Journal of Strength and Conditioning Research*  
© 2014 National Strength and Conditioning Association

**3544** *Journal of Strength and Conditioning Research*

**TABLE 1.** Responses to the incremental and verification tests expressed as mean  $\pm$  SD.\*

	Mean ( $\pm$ SD)	95% CI
<b>Incremental test</b>		
$T_{UMTT}$ (s)	1,434.6 $\pm$ 124.9	1,355.19–1,513.96
$v\dot{V}O_{2max}$ (km·h <sup>-1</sup> )	18.8 $\pm$ 1.07	18.15–19.51
$\dot{V}O_{2peak}$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	59.4 $\pm$ 5.1	56.23–62.68
RERmax	1.16 $\pm$ 0.07	1.12–1.2
HRpeak (b·min <sup>-1</sup> )	179.3 $\pm$ 7.5	173.80–183.35
VEmax (l·min <sup>-1</sup> )	156.1 $\pm$ 20.6	142.96–169.15
[La] <sub>max</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	9.3 $\pm$ 2.7	7.60–11.08
<b>Verification tests</b>		
$T_{VERIF}$ (s)	178.6 $\pm$ 37.2	154.93–202.23
$V_{verif}$ (km·h <sup>-1</sup> )	19.8 $\pm$ 1.07	19.15–20.51
$\dot{V}O_{2verif}$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	56.2 $\pm$ 4.7†	53.24–59.28
RERverif	1.24 $\pm$ 0.11†	1.17–1.31
HRverif (b·min <sup>-1</sup> )	172.3 $\pm$ 6.7†	165.78–172.38
VEverif (l·min <sup>-1</sup> )	150.2 $\pm$ 18.4†	138.47–161.86

\*95% CI = 95% confidence interval;  $T_{UMTT}$  = time until exhaustion in the incremental test;  $v\dot{V}O_{2max}$  = velocity associated with  $\dot{V}O_{2max}$ ;  $\dot{V}O_{2peak}$  = maximal oxygen uptake attained in the incremental test; RERmax = maximal RERmax attained in the incremental test; HRpeak = peak heart rate attained in the incremental test; VEmax = maximal ventilation attained in the incremental test; [La]<sub>max</sub> = maximal blood lactate concentration attained in the incremental test;  $T_{VERIF}$  = time until exhaustion in the verification test;  $V_{verif}$  = velocity imposed in the verification test;  $\dot{V}O_{2verif}$  = maximal oxygen uptake attained in the verification test; RERverif = maximal RERmax attained in the verification test; HRverif = maximal heart rate attained in the verification test; VEverif = maximal ventilation attained in the verification test.

†Asterisk indicates significant differences from incremental test ( $p < 0.001$ ).

attained (29). Instead, other studies compared the mean  $\dot{V}O_{2max}$  values obtained in the incremental and VTs (16,30,32,35). Nevertheless, this approach could be criticized, as comparing the means of the group might not identify individual athletes who may not have elicited a true  $\dot{V}O_{2max}$  (27,36).

There are small but significant differences between performing on a track and on a treadmill because different airstream, ground surface, and movement patterns could potentially influence performance (26). Moreover, these variations might limit application of laboratory measurements to field conditions because field performances are likely to result in greater physiological strains when compared with laboratory conditions (23,26,33,34,37). Because of their high specificity and simplicity, track tests are very popular. The Université de Montréal Track Test (UMTT) is a continuous, indirect, and maximal multistage track test whose appropriate accuracy, validity, and reliability have been previously reported (9,23). However, to the best of our knowledge, there is no study using the VT in field conditions. Because of these inequalities between field and laboratory evaluations, it would be necessary to analyze the usefulness of the VT when athletic performance is evaluated on the track.

Thus, the aim of this study was to assess the utility of a VT applying 2 different verification criteria (significant differences vs. threshold value) for confirming the  $\dot{V}O_{2max}$  attained by endurance runners in field conditions.

Additionally, we aimed to compare the utility of the VT in the field with traditional criteria. We hypothesized that the VT performed in the field would be able to determine a true  $\dot{V}O_{2max}$  in amateur runners with similar values of  $\dot{V}O_2$  and HR to those elicited in the incremental test. It was also expected that the verification protocol would be a better approach than traditional criteria because of the variability in their incidence.

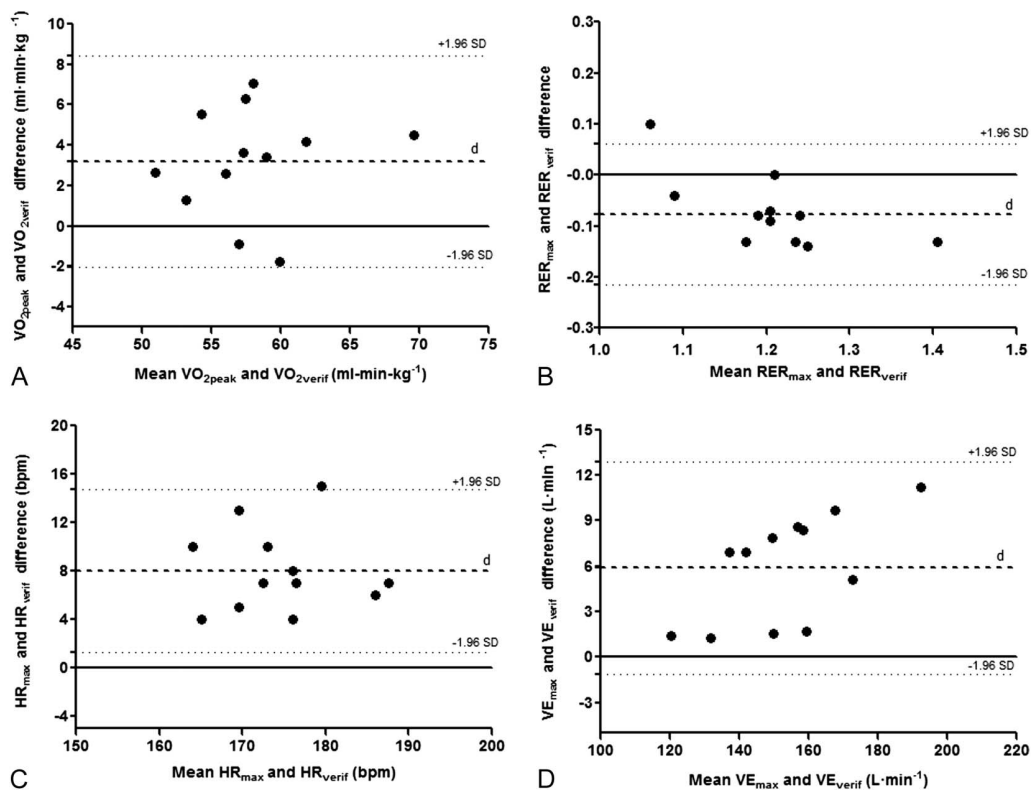
**METHODS**

**Experimental Approach to the Problem**

This study investigated whether a VT performed in the field offered more confident results to confirm a true  $\dot{V}O_{2max}$  than traditional criteria in amateur runners. Thus, after an incremental test, a VT was performed. It consisted of a supra-maximal constant power test carried out to exhaustion 15 minutes after the incremental test. We analyzed the differences in oxygen consumption in both tests. Further, we evaluated the incidence of achievement of traditional criteria during the incremental test and the level of agreement between them.

**Subjects**

Twelve male amateur endurance runners (age range: 25–46 years old) volunteered to participate in this study that was approved by the university ethics committee. All the participants provided informed written consent after detailed



**Figure 1.** Bland-Altman plots showing the incremental and verification test (VT) differences for oxygen uptake (A), respiratory exchange ratio (B), heart rate (C), and ventilation (D). The horizontal dashed lines represent the 95% limits of agreement ( $\pm 1.96$  SD) and the bias ( $d$ ). The solid horizontal line is the line of identity.

explanations of the procedures were given to them. Their characteristics were (mean  $\pm$  SD): age,  $36.6 \pm 6.6$  years; height,  $173.5 \pm 8.1$  cm; body mass,  $69.8 \pm 11.1$  kg; and  $\dot{V}O_{2peak}$ , and  $59.4 \pm 5.7$  ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>.

#### Procedures

**Overview.** Sessions were separated by 48 hours to 7 days. Anthropometric measurements and the familiarization with the procedures were conducted during the first session. For the second session, after a standardized warm-up, an incremental field test was performed and followed by a supramaximal running test to exhaustion after 15 minutes of passive recovery. All these tests were conducted on a 400-m outdoor track at sea level. The participants were required to avoid strenuous exercises for 24 hours and to not eat any food and caffeine beverages 3 hours before testing. Climatic conditions were checked before each test to guarantee thermoneutral environmental conditions for all participants (i.e.,  $<24^{\circ}$  C and  $<80\%$  of relative air humidity).

**Maximal Graded Test.** The participants conducted a standardized warm-up composed of 10 minutes of continuous jogging, 5 minutes of joint mobility, and 5 accelerations of

50 m for other testing purposes. After 5 minutes of rest, they performed the Université de Montreal Track Test, which is a continuous, indirect, and maximal multistage track test whose accuracy, validity, and reliability have been previously reported (9,23). The participants started at an initial speed of  $8$  km·h<sup>-1</sup>, which was increased by  $1$  km·h<sup>-1</sup> every 2 minutes. The participants ran behind a cyclist who set the running pace using a calibrated speedometer. The participants were verbally encouraged to run until volitional exhaustion.

**Verification Test.** After exhaustion in the UMTT, the participants rested by walking or standing for 15 minutes. They then performed a square-wave supramaximal running test (i.e., VT) in which the speed ( $V_{verif}$ ) was determined as the velocity corresponding to the next stage than the last completed in the UMTT (i.e.,  $1$  km·h<sup>-1</sup>) higher than the velocity corresponding to the last completed stage ( $\sim 05\%$ ). The participants were encouraged to maintain, until exhaustion, the running velocity that was paced by a cyclist.

**Physiological Responses.** During both tests, respiratory gas exchange was measured breath by breath using a portable

**TABLE 2.** Individual responses to the incremental test in relation to traditional criteria.\*†

Participant	$\dot{V}O_2\text{max}$ ( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Plateau‡ (Y/N)	RERmax§ (Y/N)	HRpeak   ( $\text{b} \cdot \text{min}^{-1}$ ; Y/N)	$[\text{La}]_{\text{max}}$ ¶ ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; Y/N)	RPE
1	59.13	Y	1.11 (Y)	180 (Y)	10.1 (Y)	19
2	53.76	N	1.17 (Y)	191 (Y)	12.9 (Y)	19
3	57.01	Y	1.18 (Y)	178 (Y)	7.2 (N)	19
4	56.52	Y	1.21 (Y)	176 (N)	6.5 (N)	17
5	60.61	Y	1.15 (Y)	169 (N)	12.9 (Y)	20
6	61.53	N	1.34 (Y)	180 (Y)	11.2 (Y)	18
7	57.27	Y	1.2 (Y)	176 (Y)	11.6 (Y)	19
8	59.05	Y	1.07 (N)	172 (N)	10 (Y)	19
9	63.88	Y	1.11 (Y)	187 (Y)	9.7 (Y)	19
10	71.82	N	1.16 (Y)	189 (Y)	9.5 (Y)	18
11	60.64	Y	1.11 (Y)	167 (N)	6.4 (N)	17
12	52.27	Y	1.17 (Y)	178 (Y)	4.5 (N)	17

\*See footnote of Table 1 for an explanation of abbreviations.

†RPE = rating of perceived exertion (6–20 RPE scale); Y = YES; N = NO.

‡Change in  $\dot{V}O_2$  at  $\dot{V}O_2\text{max} \leq 150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ .

§RERmax  $\geq 1.1$ .

||HRpeak  $\geq 95\%$  age-predicted maximum ( $207 - [0.7 \times \text{age}]$ ).

¶ $[\text{La}]_{\text{max}} \geq 8 \text{ mmol}$ .

telemetric system (Cosmed K4b<sup>2</sup>; Cosmed, Rome, Italy) to determine  $\dot{V}O_2$ , carbon dioxide output ( $\dot{V}CO_2$ ), RER, and ventilation (VE). Before the test, the metabolic system was calibrated as previously described (15). The HR was continuously recorded by the K4b<sup>2</sup> via a portable HR monitor belt (Polar Electro, Kempele, Finland). Immediately after the incremental test (0 minutes) and at 3, 6, and 9 minutes of recovery, earlobe blood samples were taken to determine the maximum blood lactate concentration with a portable lactate analyzer (Lactate Scout; SensLab GmbH, Leipzig, Germany). Reliability of this device has been previously reported (coefficient of variance = 10.2%) (39). Ratings of perceived exertion were also recorded after the UMTT with the 6–20 Borg Scale (11).

**Determination of Maximal Values.** Breath-by-breath raw  $\dot{V}O_2$  data were automatically filtered with the K4b<sup>2</sup> software and subsequently averaged to 15-second intervals. The  $\dot{V}O_2\text{peak}$  was defined as the highest  $\dot{V}O_2$  attained in 2 successive 15-second periods for the maximal graded test. Peak HR (HRpeak) was defined as the highest value obtained in a 5-second period. The criteria used to confirm the achievement of  $\dot{V}O_2\text{max}$  in the UMTT (i.e., traditional criteria) were (a) Plateau of  $\dot{V}O_2$  despite increasing the running speed (change in  $\dot{V}O_2 \leq 150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (40); (b) RERmax  $\geq 1.1$  (21); (c) HRpeak  $\geq 95\%$  age-predicted maximum (25) determined by the formula ( $207 - [0.7 \times \text{age}]$ ) (38); and (d)  $[\text{La}]_{\text{max}} \geq 8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  (3). The mean time of achievement of the highest value of lactate concentration ( $[\text{La}]_{\text{max}}$ ) in the incremental test was also determined. The velocity at the last

completed stage was considered as the velocity associated with  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $v\dot{V}O_2\text{max}$ ). If the velocity at exhaustion was only maintained at half of the stage duration, the  $v\dot{V}O_2\text{max}$  was considered as the velocity during the previous completed stage plus  $0.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (12). Peak VE and the total time during this test ( $T_{\text{UMTT}}$ ) were also recorded.

The maximum oxygen uptake during the VT ( $\dot{V}O_2\text{verif}$ ) was defined as the highest  $\dot{V}O_2$  value attained in 2 successive 15-second intervals. Maximum HR (HRverif) was defined as the highest HR value recorded during a 5-second interval. The highest RER (RERverif), ventilation (VEverif), and time until exhaustion during this test ( $T_{\text{VERIF}}$ ) were also assessed. Subsequently, the suitability of 2 different verification criteria in determining a true  $\dot{V}O_2\text{max}$  was compared: (a) the  $\dot{V}O_2\text{verif}$  must not exceed 5% the  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $\dot{V}O_2\text{verif} \leq 5\%$  higher than  $\dot{V}O_2\text{max}$ ), and (b) not to find significant differences between  $\dot{V}O_2\text{max}$  and  $\dot{V}O_2\text{verif}$ . The 5% criterion was based on the tolerance measurement error previously reported for the portable gas analyzer (15). Although the first criterion analyzes the validity of the VT applying an individual threshold, the second criterion analyzes its validity comparing the mean differences of oxygen uptakes of the incremental and VTs.

#### Statistical Analyses

Statistical analyses were completed using SPSS software (version 15.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) for Windows. The results are expressed as mean  $\pm$  SD. Normal distributions for all variables were tested using the Kolmogorov–Smirnov (Lilliefors) test. Differences between measurements from maximal graded test and VT were analyzed by using 2-

tailed paired *t*-test and 95% confidence intervals of differences (95% CI). Pearson's product correlation coefficient was used to identify the relationships between measurements. Individual differences between tests were represented by Bland-Altman plots, to thus report mean bias (*d*) and limits of agreement. Kappa coefficients were calculated to analyze the agreement between traditional criteria beyond that expected by chance. The reference values were 0.40–0.60 as moderate, 0.61–0.80 as substantial, and 0.81–1 as almost perfect agreement. A post hoc power analysis was calculated using the G Power software (version 3.1.4). Statistical power for a sample size of 12, and a large effect size (*d* = 0.8) for a paired *t*-test is 0.71. Sensitivity of this test (i.e., the minimum effect size the test was sufficiently sensitive to) for an alpha level of 0.05, a sample of 12 subjects, and a power of 0.80 is 0.89 (i.e., large effect).

## RESULTS

### Maximal Graded Test and Verification Test

Mean responses of both tests are shown in Table 1. Higher values in the incremental test when compared with those in the VT were found between  $\dot{V}O_{2peak}$  and  $\dot{V}O_{2verif}$  ( $p = 0.002$ ), HR<sub>peak</sub> and HR<sub>verif</sub> ( $p < 0.001$ ), and VE<sub>max</sub> and VE<sub>verif</sub> ( $p < 0.001$ ). In contrast, RER<sub>max</sub> was lower than RER<sub>verif</sub> ( $p = 0.003$ ). The mean time of achievement of [La]<sub>max</sub> was  $3 \pm 2.8$  minutes.

The agreement between tests is shown in the Bland-Altman plots for  $\dot{V}O_{2peak}$  and  $\dot{V}O_{2verif}$  (Figure 1A), RER<sub>max</sub> and RER<sub>verif</sub> (Figure 1B), HR<sub>peak</sub> and HR<sub>verif</sub> (Figure 1C), and VE<sub>max</sub> and VE<sub>verif</sub> (Figure 1D).

We found a significant correlation between  $\dot{V}O_{2peak}$  and  $\dot{V}O_{2verif}$  ( $r = 0.85$ ;  $p < 0.001$ ) and a moderate but negative significant correlation between  $T_{UMTT}$  and  $T_{VERIF}$  ( $r = -0.62$ ;  $p = 0.031$ ).

### Traditional and Verification Criteria Occurrence

Individual responses to the incremental test in relation to traditional criteria are shown in Table 2. Nine of 12 athletes (75% of incidence) fulfilled the plateau criterion in this study; hence they have been judged to have achieved their  $\dot{V}O_{2max}$ . Four of the participants did not achieve the HR<sub>peak</sub> and [La]<sub>max</sub> cut-off values (66% of incidence). However, all of them elicited a  $\dot{V}O_2$  plateau. One of the participants did not achieve an RER<sub>max</sub> >1.1 value despite demonstrating a plateau of  $\dot{V}O_2$ . The values of Kappa coefficients were highly significant ( $p < 0.001$ ) showing a moderate to substantial agreement between criteria: 0.725 for plateau and RER<sub>max</sub>; 0.540 for plateau and HR<sub>peak</sub>, and [La]<sub>max</sub>; 0.799 for RER<sub>max</sub> and HR<sub>peak</sub>; 0.665 for RER<sub>max</sub> and [La]<sub>max</sub>; and 0.740 for HR<sub>peak</sub> and [La]<sub>max</sub>.

Interestingly, the verification criterion based on analyzing the similarities between both oxygen uptakes (i.e.,  $\dot{V}O_{2verif} \leq 5\%$  higher than  $\dot{V}O_{2peak}$ ) in each participant validated all the tests (Figure 1A). However, a significant difference was found between  $\dot{V}O_{2peak}$  and

$\dot{V}O_{2verif}$  ( $p = 0.002$ ). Therefore, according to the second verification criterion, participants' maximal effort could not have been confirmed by the VT.

## DISCUSSION

To the best of our knowledge, this is the first study that used the VT in field conditions with amateur runners. The main findings of this study were (a) all participants met the verification criterion based on searching similarities between the oxygen uptakes from both tests ( $\dot{V}O_{2verif} < 5\%$  higher than  $\dot{V}O_{2peak}$ ); (b) the VT did not elicit maximal values in some participants; hence, an improvement of this procedure is needed when it is applied on the field; (c) the comparison of the means of the  $\dot{V}O_2$  values from both tests was not a useful criterion because it did not identify participants who might have achieved a true  $\dot{V}O_{2max}$ , and it was affected by the limitation of the VT to elicit maximal values in some participants; (d) despite a substantial agreement, traditional criteria rejected participants who may have achieved a true  $\dot{V}O_{2max}$  with HR<sub>peak</sub> and [La]<sub>max</sub> being the most stringent criteria.

The interpretation of the results of the VT should be done in such a way that if the peak  $\dot{V}O_2$  in the VT is equal or lower than the  $\dot{V}O_{2peak}$  value attained in the incremental test, additional confirmation would be provided for interpreting that a true  $\dot{V}O_{2max}$  has been elicited (31). In this study, no participant showed a  $\dot{V}O_{2verif}$  higher than 5% of the  $\dot{V}O_{2peak}$  value attained in the UMTT. Thus, we can conclude that a true  $\dot{V}O_{2max}$  was elicited in all participants because no increments of  $\dot{V}O_2$  were detected despite an increment in the intensity of the effort (6). Interestingly, HR<sub>verif</sub> and  $\dot{V}O_{2verif}$  were significantly lower than the corresponding values in the incremental test. This can be because of a potential limitation of the VT (29) as its design would be inadequate in eliciting maximal values in some athletes. In fact, 10 of the 12 participants showed  $\dot{V}O_{2verif}$  values that were lower than the  $\dot{V}O_{2peak}$ . This finding is also observed in other previous studies performed in laboratory conditions (4,29). It could have been that the athletes did not have enough time to reach maximum values because of the short duration of the supramaximal constant-load test. The  $T_{VERIF}$  was  $178.6 \pm 37.2$  seconds, which is slightly below the traditional recommendation of 3 minutes (27). However, we did not find any correlation between the  $\dot{V}O_{2verif}$  and  $T_{VERIF}$  in a similar way to that in other studies (32,35,36). Moreover, a previous study carried out in field conditions (13) reported significant ( $p = 0.004$ ) differences in HR<sub>peak</sub> values between the UMTT and the time limit at  $v\dot{V}O_{2max}$  despite the square-wave test lasting a mean of 322 seconds (~5 minutes), therefore suggesting that factors other than exercise duration would be accounting for such differences in cardiorespiratory responses.

One alternative explanation is that 15 minutes of passive rest would not have been long enough for recovery. We found a negative correlation between the mean time to

exhaustion of both tests ( $r = -0.62$ ;  $p \leq 0.05$ ), which is in agreement with the previously reported inverse relationship between  $\dot{V}O_{2\max}$  and the time to exhaustion at 100 and 105% of  $\dot{V}O_{2\max}$  (10). Nevertheless, there are laboratory studies that found similar oxygen uptakes with recovery periods that ranged from 60 seconds to 15 minutes (4,16,29,35,36).

It is also likely that, in moderately trained athletes, 15 minutes of recovery would lower oxygen consumption to a level that the attainment of  $\dot{V}O_{2\max}$  in 3 minutes is difficult. The transition from recovery to the supramaximal run would be poorly tolerated by amateur athletes because they were not familiarized with such running intensities. Thus, the large and rapid change in running speed might have been too abrupt and could have induced an accumulation of intramuscular metabolites that could have led to premature fatigue during the VT (29). This hypothesis could be supported by the fact that the RER<sub>verif</sub> was significantly higher than the RER<sub>max</sub> (1.24 vs. 1.16;  $p < 0.01$ ) suggesting a greater reliance on anaerobic pathways during the VT. This is also in agreement with the findings of a previous study (10) that reported a moderate correlation between performance at 100 and 105% of  $\dot{V}O_{2\max}$ , performed in the field and in a rested state, and the anaerobic running capacity of well-trained athletes. It should be pointed out that factors such as training status (5) and local muscular fatigue (19) have been previously suggested to importantly influence performance during heavy square-wave running exercises.

The fact that the tests were performed on the field may explain these results in comparison with those of laboratory studies that did not find any difference between tests (1,28,32,35,36). Different cardiovascular response (37), running styles (34), and a better running economy in the field that resulted in a greater velocity (26) were previously reported. All these inequalities may have influenced our results. Because the VT was performed at a workload 1 stage higher than the last completed in the graded test, a greater strain could be expected on the track in this study. To overcome this important limitation of the VT, other authors have proposed a multistage protocol with 1 or 2 submaximal stages before the supramaximal (4,28,36). In this regard, a recent study (20) has suggested that  $\dot{V}O_{2\max}$  of elite athletes in a 800-m run on an indoor track (~125 seconds) could be higher when performing a high-intensity warm-up, therefore confirming that previous metabolic activation is an important factor for aerobic responses in short (i.e., <3 minutes) square-wave exercises. Further evaluations of protocol design of VTs in the field are warranted.

As previously suggested, the verification criterion based on searching similarities provided additional information on the participants that achieved a maximal effort in the incremental test. However, significant differences were detected between the mean values of  $\dot{V}O_{2\text{verif}}$  and  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ , which means that the second verification criterion was not

fulfilled. Because of discrepancies between the results of these 2 verification criteria, some controversy exists as to which is the best approach (27). The comparison of group mean differences has been recently criticized (31) as exercise testing is performed on an individual basis. In fact, Scharhag-Rosenberger et al. (36) did not find significant differences between oxygen uptakes but observed that 25% of the subjects showed differences between both values. These authors suggest that these findings question the utility of the VTs performed in the laboratory as an infallible criterion for confirming  $\dot{V}O_{2\max}$ . In this study, the verification criterion based on the group mean differences proved to be also limited because the VT performed in the field did not elicit maximal  $\dot{V}O_{2}$  values in some participants. Therefore, we suggest not using mean sample differences as a  $\dot{V}O_{2\max}$  verification criterion (28).

In this study, we have observed a 75% of plateau occurrence. Many factors have been proposed to explain the absence of plateau phenomenon including test protocol (8), exercise modality (18), sampling duration or data averaging method (2), and the population under investigation (22–24). Interestingly, recent evidence suggests that the likelihood of observing a plateau during heavy exercise is related to the pattern of lactate accumulation (22) and the anaerobic capacity (17).

Another relevant finding in this study is that traditional criteria would have rejected more tests in comparison with the verification criterion (i.e.,  $\dot{V}O_{2\text{verif}} \leq 5\%$  higher than  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ), with the most stringent being HR<sub>peak</sub> (beats per minute) and  $[La]_{\max}$  (millimoles per liter). This finding is in close agreement with that of a previous study (32) that suggested these criteria to be untenable because they resulted in the rejection of a high proportion of participants demonstrating a plateau in  $\dot{V}O_{2\max}$ . In this respect, those participants that did not meet HR<sub>peak</sub> and  $[La]_{\max}$  criteria in this study (Table 2) have demonstrated a plateau in  $\dot{V}O_{2\max}$ .

How traditional  $\dot{V}O_{2\max}$  criteria agree with each other could be considered a good indication of the specificity and sensitivity of the selected criteria in detecting whether or not an individual has elicited  $\dot{V}O_{2\max}$  (31). Traditional criteria showed different results for the determination of maximal effort whereas, interestingly, Kappa coefficients revealed a substantial agreement between them. The highest agreement was achieved by RER<sub>max</sub> and HR<sub>peak</sub> ( $K = 0.799$ ;  $p < 0.001$ ). Midgley et al. (31) argued that if all  $\dot{V}O_{2\max}$  criteria demonstrate a high degree of specificity, they should either all be satisfied or all not be satisfied. However, in this study, only the 25% of the participants met the 4 traditional criteria in the maximal graded test. These discrepancies are linked to the wide range of cut-off values used that might lead to accept false positives or negatives when establishing the  $\dot{V}O_{2\max}$  (4,32). These criteria had their origin in previous research studies carried on specific populations, with different test protocols, and exercise

modalities. Therefore, several authors suggested that these values cannot always be transferred and applied interchangeably to any research context (31).

In conclusion, the VT in the field is a useful procedure to evaluate if a maximal effort has been achieved. Searching similarities between  $\dot{V}O_2$  values from the graded and the VTs is the best approach because it depends on individual analyses (27). Although this criterion validated all the tests, the verification protocol has not been able to elicit similar  $\dot{V}O_2$  maximal values to those of the graded test in most of the participants. Further, a significant difference has been shown in  $\dot{V}O_2$  and HR maximal values between the verification and the incremental tests. However, the comparison of means of  $\dot{V}O_2$ max values from both tests did not help to identify participants who might have elicited a true  $\dot{V}O_2$ max. Therefore, we do not recommend using this approach as a verification criterion. Further research is needed to improve the design of the VT in the field to allow the achieving of similar values between tests. Although a moderate to substantial agreement between traditional criteria was found, they may induce the rejection of participants that might have achieved a true  $\dot{V}O_2$ max. Of note, those participants that did not meet the HRmax and  $[La]_{max}$  criterion and would have been rejected for not achieving a true  $\dot{V}O_2$ max, demonstrated a plateau in  $\dot{V}O_2$ max. Further research is needed to determine the usefulness of the VT results concurrently with the traditional criteria to evaluate a maximal effort.

### PRACTICAL APPLICATIONS

The evaluation of  $\dot{V}O_2$ max is usually performed to determine the cardiorespiratory fitness, to evaluate the adaptations achieved after training or to develop exercise prescriptions. For any of these purposes, field tests are very popular because of their higher specificity in comparison with laboratory conditions. This study analyzed the usefulness of a VT to verify the attainment of  $\dot{V}O_2$ max in the field. Current results suggest that a potential limitation of the VT in the field is that it might not achieve maximal values in some participants. Therefore, a careful selection of the verification protocol must be done to avoid this situation. A multistage protocol can be an alternative procedure that may overcome this potential limitation of the VT. Although there was a substantial agreement between traditional criteria, it should be pointed out that some of them can be too stringent for amateur runners and could not be confirming a true maximal effort (i.e., HRmax and  $[La]_{max}$ ). On the basis of these findings, we recommend using the VT procedure to appraise a maximal effort in the field using a verification criterion based on individual analysis.

### ACKNOWLEDGMENTS

This study did not receive any financial support. The authors wish to thank Biolaster S.L. for his support in the lactate analysis. They wish to recognize the collaboration of all the athletes in this study and Xián Mayo, Adrián Varela,

Dan Río, Daniel Ruiz, Manuel Caeiro, and Diego Bouza for their assistance in data collection.

### REFERENCES

- Astorino, TA, White, AC, and Dalleck, LC. Supramaximal testing to confirm attainment of  $VO_2$ max in sedentary men and women. *Int J Sports Med* 30: 279–284, 2009.
- Astorino, TA, Willey, J, Kinnahan, J, Larsson, SM, Welch, H, and Dalleck, LC. Elucidating determinants of the plateau in oxygen consumption at  $VO_2$ max. *Br J Sports Med* 39: 655–660, 2005.
- Astrand, PO. *Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relationship to Sex and Age*. Copenhagen, Denmark: Munksgaard; 1952.
- Barker, AR, Williams, CA, Jones, AM, and Armstrong, N. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp cycle test to exhaustion. *Br J Sports Med* 45: 498–503, 2011.
- Basset, FA, Chouinard, R, and Boulay, MR. Training profile counts for time-to-exhaustion performance. *Can J Appl Physiol* 28: 654–666, 2003.
- Bassett, DR Jr and Howley, ET. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 29: 591–603, 1997.
- Bassett, DR Jr and Howley, ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32: 70–84, 2000.
- Beltrami, FG, Froyd, C, Mauger, AR, Metcalfe, AJ, Marino, F, and Noakes, TD. Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *Br J Sports Med* 46: 23–29, 2012.
- Billat, LV and Koralsztein, JP. Significance of the velocity at  $VO_2$ max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 22: 90–108, 1996.
- Billat, V, Renoux, JC, Pinoteau, J, Petit, B, and Koralsztein, JP. Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at  $VO_2$ max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Arch Physiol Biochem* 103: 129–135, 1995.
- Borg, G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health* 16 (Suppl 1): 55–58, 1990.
- Boullosa, DA and Tuimil, JL. Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res* 23: 1560–1565, 2009.
- Boullosa, DA, Tuimil, JL, Leicht, AS, and Crespo-Salgado, J. Parasympathetic modulation and running performance in distance runners. *J Strength Cond Res* 23: 626–631, 2009.
- di Prampero, PE. Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 90: 420–429, 2003.
- Duffield, R, Dawson, B, Pinnington, HC, and Wong, P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport* 7: 11–22, 2004.
- Foster, C, Kuffel, E, Bradley, N, Battista, RA, Wright, G, Porcari, JP, Lucia, A, and deKoning, JJ.  $VO_2$ max during successive maximal efforts. *Eur J Appl Physiol* 102: 67–72, 2007.
- Gordon, D, Hopkins, S, King, C, Keiller, D, and Barnes, RJ. Incidence of the plateau at  $\dot{V}O_2$ max is dependent on the anaerobic capacity. *Int J Sports Med* 32: 1–6, 2011.
- Gordon, D, Mehter, M, Gernigon, M, Caddy, O, Keiller, D, and Barnes, R. The effects of exercise modality on the incidence of plateau at  $VO_2$ max. *Clin Physiol Funct Imaging* 32: 394–399, 2012.
- Hayes, PR, Bowen, SJ, and Davies, EJ. The relationships between local muscular endurance and kinematic changes during a run to exhaustion at  $vVO_2$ max. *J Strength Cond Res* 18: 898–903, 2004.
- Ingham, SA, Fudge, BW, Pringle, JS, and Jones, AM. Improvement of 800-m running performance with prior high-intensity exercise. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 77–83, 2013.

21. Issekutz, B, Birkhead, NC, and Rodahl, K. Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *J Appl Physiol* 17: 47–50, 1962.
22. Lacour, J, Messonnier, L, and Bourdin, M. The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. *Eur J Appl Physiol* 101: 241–247, 2007.
23. Léger, L and Boucher, R. An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci* 5: 77–84, 1980.
24. Lucía, A, Rabadán, M, Hoyos, J, Hernández-Capilla, M, Pérez, M, San Juan, AF, Earnest, CP, and Chicharro, JL. Frequency of the VO<sub>2</sub>max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med* 27: 984–992, 2006.
25. Maritz, JS, Morrison, JF, Peter, J, Strydom, NB, and Wyndham, CH. A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake. *Ergonomics* 4: 97–122, 1961.
26. Meyer, T, Welter, J, Scharhag, J, and Kindermann, W. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *Eur J Appl Physiol* 88: 387–389, 2003.
27. Midgley, AW and Carroll, S. Emergence of the verification phase procedure for confirming “true” VO<sub>2</sub>max. *Scand J Med Sci Sports* 19: 313–322, 2009.
28. Midgley, AW, Carroll, S, Marchant, D, McNaughton, LR, and Siegler, J. Evaluation of true maximal oxygen uptake based on a novel set of standardized criteria. *Appl Physiol Nutr Metab* 34: 115–123, 2009.
29. Midgley, AW, McNaughton, LR, and Carroll, S. Verification phase as a useful tool in the determination of the maximal oxygen uptake of distance runners. *Appl Physiol Nutr Metab* 31: 541–548, 2006.
30. Midgley, AW, McNaughton, LR, and Carroll, S. Time at VO<sub>2</sub>max during intermittent treadmill running: Test protocol dependent or methodological artefact? *Int J Sports Med* 28: 934–939, 2007.
31. Midgley, AW, McNaughton, LR, Polman, R, and Marchant, D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: A brief critique and recommendations for future research. *Sports Med* 37: 1019–1028, 2007.
32. Poole, DC, Wilkerson, DP, and Jones, AM. Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol* 102: 403–410, 2008.
33. Prins, L, Terblanche, E, and Myburgh, KH. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *J Sports Sci* 25: 927–935, 2007.
34. Reinisch, M, Schaff, P, Hauser, W, and Rosemeyer, B. Treadmill versus field trial. Movement analysis and pressure distribution in the athletic shoe [in German]. *Sportverletz Sportschaden* 5: 60–73, 1991.
35. Rossiter, HB, Kowalchuk, JM, and Whipp, BJ. A test to establish maximum O<sub>2</sub> uptake despite no plateau in the O<sub>2</sub> uptake response to ramp incremental exercise. *J Appl Physiol (1985)* 100: 764–770, 2006.
36. Scharhag-Rosenberger, F, Carlsohn, A, Cassel, M, Mayer, F, and Scharhag, J. How to test maximal oxygen uptake: A study on timing and testing procedure of a supramaximal verification test. *Appl Physiol Nutr Metab* 36: 153–160, 2011.
37. Semin, K, Stahlnecker IV, AC, Heelan, K, Brown, GA, Shaw, BS, and Shaw, I. Discrepancy between training, competition and laboratory measures of maximum heart rate in NCAA division 2 distance runners. *J Sports Sci Med* 7: 455–460, 2008.
38. Tanaka, H, Monahan, KD, and Seals, DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 37: 153–156, 2001.
39. Tanner, RK, Fuller, KL, and Ross, MLR. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur J Appl Physiol* 109: 551–559, 2010.
40. Taylor, HL, Buskirk, E, and Henschel, A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 8: 73–80, 1955.