

# LA EFICACIA DE UN PROGRAMA DE EJERCICIOS DE ALTA INTENSIDAD EN HIPOXIA INTERMITENTE PARA LA MEJORA DE LA FUERZA-RESISTENCIA

Aritz Urdampilleta Otegui

aritzurdampi@hotmail.com

Saioa Gómez Zorita

*Universidad de País Vasco (UPV-EHU)*

José Miguel Martínez Sanz

*Universidad de Alicante*

Enrique Roche Collado

*Universidad "Miguel Hernández". Elche*

**RESUMEN:** El objetivo del trabajo fue determinar la eficacia de un programa de entrenamiento en Hipoxia Intermitente Normobarica (HIN) en la mejora de Fuerza Resistencia Aeróbica (FRAe) específica e inespecífica, en 11 bomberos. Se realizó un programa de entrenamiento (circuito de pesas de 6 ejercicios y series en cicloergómetro) en HIN con una frecuencia semanal de 4 sesiones de una hora y durante 3 semanas. Antes y después del entrenamiento se realizaron una pruebas específicas de circuito de pesas y otra prueba inespecífica de remoergometro, para determinar la eficacia del entrenamiento. La HIN mejoró la FRAe específica ( $p < 0,05$ ) y FRAe inespecífica ( $p < 0,01$ ), así como la capacidad de recuperación de la frecuencia cardiaca post ejercicio máximo.

**PALABRAS CLAVE:** Hipoxia intermitente, entrenamiento, fuerza resistencia.

## THE EFFECTIVENESS OF A HIGH-INTENSITY INTERMITTENT HYPOXIC TRAINING ON IMPROVEMENT OF THE STRENGTH-RESISTANCE

**ABSTRACT:** The aim of this study was to determine the efficacy of a normobaric intermittent hypoxic (NIH) training programme to improve a specific and nonspecific Strength Endurance (FRAe) in 11 firefighters. It was performed a training program (6-dumbbells circuit exercises and series on a cycle ergometer) at NIH on a weekly 4-hour sessions during 3 weeks. Before and after the training performed a specific test and other non-specific test were done to determine the effectiveness of training. HIN specific FRAe improved ( $p < 0.05$ ) and FRAe inespecific ( $p < 0.01$ ), and the resilience of post-exercise heart rate maximum.

**KEY WORDS:** intermittent hypoxia, training, strength endurance.



## 1. INTRODUCCIÓN

En el campo del deporte y dentro del marco de los métodos utilizados para la mejora del rendimiento deportivo, el Entrenamiento de Hipoxia Intermitente (EHI) es uno de los estímulos más novedosos utilizados para la preparación de los deportistas, para la mejora de la resistencia aerobia. La Hipoxia Intermitente (HI) fue definida en Estados Unidos, como situaciones repetidas de hipoxia con una duración mínima de 2 minutos (Institutos del Corazón, Hematología y del Neumología de Estados Unidos, 1999).

Así surgen diferentes modelos de HI, especialmente diferenciándose 2 áreas de trabajo en la temática del deporte. La primera área de trabajo que se abrió que en el contexto deportivo a través de las publicaciones de Levine y Stray-Gundersen<sup>1</sup> con el nombre de “Living High- Training Low, LH-TL”, según los estudios realizados por estos autores, este sistema es muy beneficioso para aumentar en rendimiento deportivo a nivel del mar. A través de los estudios realizados en dicha temática<sup>2</sup> comienzan a salir numerosos estudios en el campo del deporte y mejora de rendimiento deportivo.

No obstante, vivir arriba y entrenar abajo puede ser controvertido y a la vez muy discutido por varias razones. Es verdad que desde el punto de vista hematólogo se consiguen unas mayores ganancias de la serie roja en la sangre, pero a la vez estas mejoras en los parámetros hematológicos, no han demostrado ser los justificantes de la mejora del rendimiento. Por otra parte, los estudios realizados en este campo, han visto mejoras en pruebas de esfuerzo de capacidad aeróbica, no obstante no se han observado mejoras a nivel del VO<sub>2</sub>max o hay contradicción entre los diferentes estudios. De los 11 estudios encontrados en que se presenta una mejora del VO<sub>2</sub>max, hay discrepancias metodológicas por lo que es difícil llegar a la conclusión de que dormir en altura y entrenar a nivel del mar mejoren el VO<sub>2</sub> max<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Cfr., Levine, B; Stray-Gundersen, J: “Living high-training low”: effect of moderate altitude acclimatization with low-altitude training on performance” *J Appl Physiol*, n<sup>o</sup> 83 (1997), pp. 102-12; Stray-Gundersen, J; Chapman, R; Levine, BD: “Living high-training low” altitude improves sea level performance in male and female elite runners” *J Appl Physiol*, n<sup>o</sup> 91(2001) pp. 1113-20.

<sup>2</sup> Levine, B; Stray-Gundersen, J: “Living high-training low”: effect of moderate altitude acclimatization with low-altitude training on performance” *J Appl Physiol*, n<sup>o</sup> 83 (1997), pp. 102-12; Gore, CJ; Hahn, A; Aughey, R; Martin, D; Ashenden, M; Clark, S y col: “Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency” *Acta Physiol Scand*, n<sup>o</sup> 173 (2001), pp. 275-86.

<sup>3</sup> Rodríguez, FA; Murio, J; Casas, H; Viscor, G; Ventura, JL: “Intermittent hypobaric hypoxia enhances swimming performance and maximal aerobic power in trained swimmers”. *IX World Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming*. Saint Etienne (2002).



En los últimos años, han salido estudios que demuestran que con los EHI se dan adaptaciones a nivel periférico, justificando la mejora del rendimiento deportivo<sup>4</sup>.

Hay autores que citan que el factor limitante para el rendimiento es la capacidad anaeróbica y que se requieren grandes intensidades de entrenamiento a una tolerancia alta con grandes lactacidemias<sup>5</sup>. Parece ser que entrenar en hipoxia a grandes intensidades, puede aportar muchos beneficios en varios deportes, ya que cada vez se compite a unas potencias más elevadas.

La necesidad de aplicar nuevos métodos de entrenamiento intensivos<sup>6</sup>, que aumenten las posibilidades adaptativas de los deportistas altamente entrenados y así seguir aumentando su competencia nos llevó argumentar la hipótesis descrita en el trabajo.

En referencia al metabolismo y capacidad anaeróbica láctica, no se han encontrado estudios específicos de entrenamiento de la fuerza resistencia aeróbica con la influencia de la exposición a la hipoxia como medio de mejora de esta cualidad. No obstante, dentro del programa de entrenamiento de muchos deportes (natación, remo, esquí, ciclismo o en atletismo, en diferentes disciplinas) es de vital importancia la mejora de dicho metabolismo<sup>7</sup>, ya que es la base fundamental de los deportes de resistencia así como factor limitante del rendimiento en deportes que se compiten a consumos de oxígeno máximos<sup>8</sup>.

De aquí surge la iniciativa de indagar o descubrir las respuestas metabólicas o fisiológicas y posibilidad de poder prescribir, la exposición de HI como medio de entrenamiento de la FRAe y el metabolismo/ capacidad anaeróbica láctica y potencia aeróbica.

<sup>4</sup> Geiser, J; Vogt, M; Billeter, R; Zuleger, C; Belforti, F; Hoppeler, H: "Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude" *Int J Sports Med*, nº22 (2001), pp. 579-85; Zoll, J; Ponsot, E; Dufour, S; Doutreleau, S; Ventura-Claipier, R; Vogt, M y col: "Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. Muscular adjustments of selected gene transcripts" *J Appl Physiol*, nº 100 (2006) pp. 1258-66.

<sup>5</sup> Friedmann, B; Frese, F; Menold, E; Bärtch, P: "Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners" *European Journal of Applied Physiology*, nº101 (2007), pp. 67-73; Juel, C; Lundby, C; Sander, M; Calbet, J; Van Hall, G: "Human skeletal muscle and erythrocyte proteins involved in acid-base homeostasis: adaptations to chronic hypoxia" *J Physiol*, nº 548 (2003), pp. 639-48.

<sup>6</sup> Calbet, JA: "Efectos del Entrenamiento en la Altitud", *IX Jornadas sobre medicina y deporte de alto nivel. Madrid*. (2006).

<sup>7</sup> Juel, C: "Muscle pH regulation: role of training" *Acta Physiol Scand*, nº 162 (1998), pp. 359-66.

<sup>8</sup> Vogt, M; Puntchart, A; Geiser, J; Zuleger, C; Billeter, R; Hoppeler, H: "Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions" *J Appl Physiol*, nº 91 (2001) pp. 173-82.



¿El entrenamiento de la FRAe en HI es capaz de mejorar en mayor medida la capacidad condicional de la fuerza resistencia aeróbica que el entrenamiento realizado en normoxia? ¿Podemos tener beneficios en una prueba inespecífica? ¿Es eficiente el protocolo de entrenamientos para mejorar la recuperación de la frecuencia cardiaca entre series intensas?

Estas preguntas son en gran medida el objeto del estudio de nuestro trabajo.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Participantes

El grupo de estudio ha estado formado por 11 bomberos (con una edad de  $38\pm 4$ , frecuencias cardiacas basales  $62\pm 11$ , tensión arterial sistémica  $121/69\pm 15/9$  y saturaciones de oxígeno basales de  $97,7\%\pm 0,9$ ) que estaban habituados a hacer ejercicio de fuerza y resistencia con regularidad.

### 2.2. Variables

Se midieron las ganancias en la fuerza resistencia aeróbica (FRAe) a través de 2 pruebas de esfuerzo maximales, una específica y la otra inespecífica: 1) Test circuito de fuerza resistencia máxima y 2) Test máximo en remoergómetro.

Se realizó un test inicial (pretest) como control de las capacidades individuales y justo a los 7 días de haber finalizado en programa de entrenamiento el postest, en una situación de sobrecompensación<sup>9</sup>.

Se valoraron, las repeticiones máximas realizadas por cada ejercicio de pesas así como los metros, potencias medias y máximas realizadas en remoergómetro. A la vez, se valoró la recuperación post esfuerzo en los minutos 1, 2 y 3.

En todas las sesiones de entrenamiento se midieron la saturación de oxígeno ( $SaO_2$ ) y la frecuencia cardiaca (FC), como control de la intensidad y adaptación al entrenamiento. De la misma manera se midieron las concentraciones de lactato sanguíneo, en las sesiones 4, 8 y 12.

### 2.3. Intervención

Todos los sujetos experimentales del estudio, 11 bomberos, han sido grupo control de sí mismos. Los participantes se dividieron en dos grupos (5 y 6), y

<sup>9</sup> Calbet, JA: "Efectos del Entrenamiento en la Altitud", IX Jornadas sobre medicina y deporte de alto nivel. Madrid. (2006).



unos empezaron con los entrenamientos en HI y otros en normoxia, así después del tratamiento y periodo de pérdida de efectos residuales correspondiente, se cruzaron los grupos, para así todos pasar del los dos tratamientos.

Antes del tratamiento se realizó una fase de homogenización de 2 semanas, para habituarse a los ejercicios que tenían que realizar en el tratamiento.

Durante las fases de intervención entre control y experimental, y después de realizar la prueba de esfuerzo final se dejó un espacio de tiempo de 3 semanas, para perder los efectos residuales de los entrenamientos realizados anteriormente, para lo cual, en la primera semana hicieron reposo absoluto (para a los 7 días hacer las pruebas de esfuerzo máximos) y en las posteriores 3 semanas, siguieron tareas rutinarias del trabajo, descansando del tratamiento anterior.

Después de 4 semanas, empezaron de nuevo con la fase de homogenización de la muestra (realizando ejercicios específicos de fuerza resistencia aeróbica), con una duración de 2 semanas.

El programa de entrenamiento consistió en 4 sesiones semanales (L-M, J-V) de fuerza resistencia aeróbica con el método interválico, 60' de duración por sesión y una duración de 3 semanas de tratamiento (12 sesiones en total). Aparte de las sesiones programadas, la actividad física habitual se mantiene a través de las tareas diarias que realizaban como bomberos (salidas de rescate, intervenciones en accidentes de tráfico...).

Todos los grupos entrenaron dentro de la tienda hipóxica (G2Altitude) y en ningún momento se les dijo a qué altitud estaban entrenando, ya que el controlador se mantuvo oculto para los sujetos. El grupo control (C) realizó los entrenamientos a nivel del mar ( $FiO_2 = 20,5\%$ ) y el grupo experimental (H) realizó los entrenamientos a unas altitudes simuladas de 4500-5500m ( $FiO_2 = 12-10,5\%$ ), en hipoxia normobárica (cada semana se aumentó la altitud simulada en 500m).

Durante el entrenamiento se midieron los siguientes parámetros: FC máxima en bicicleta estática y SaO<sub>2</sub> basal.

Se calculó la intensidad relativa del esfuerzo mediante el ritmo de repeticiones por segundo, con un metrónomo (para ejercicios de pesas) y el porcentaje de la FC media, sobre la FC máxima real (teniendo en cuenta la 1ª prueba de esfuerzo que realizaron en remoergómetro), en la bicicleta estática, con un pulsómetro.

#### *a. El programa de ejercicio realizado fue el siguiente:*

Cada sesión se dividió en dos partes: 1) ejercicio de fuerza resistencia con pesas y 2) ejercicio interválico de alta intensidad en bici estática.



### *a.1. Ejercicio de fuerza resistencia con pesas*

Los ejercicios fueron los siguientes: 1) pres frontal con mancuernas (5 Kg\*), 2) media sentadilla con barra (20 Kg), 3) biceps con macuernas (5 Kg), 4) abdominales tijeras, 5) remero vertical mancuernas (5 Kg) y 6) media sentadilla con barra (20 Kg)<sup>10</sup>.

### *a.2. Ejercicio interválico en bici estática*

Realizaron un trabajo de potencia aeróbica con un intervalo de tiempo e intensidad que subían la frecuencia cardiaca al 85-90% de la FC máxima (según la FC máxima calculada mediante la prueba de esfuerzo inicial en remoergómetro) a una cadencia de pedaleo de 95-105rpm (medida con cadenciómetro) y recuperaban el tiempo que necesitaban hasta bajar a 120-130 pulsaciones por minuto. En total 26 minutos de trabajo.

El tiempo restante (10´), lo utilizaban para recuperarse aprovechando el cambio entre los ejercicios de pesas a la bici estática. La estancia total dentro de la tienda era de 60 minutos.

### *b. Pruebas de esfuerzo máximos (PEM)*

Las Pruebas de Esfuerzo Máximos (PEM), se realizaron antes (después de 2 semanas de homogenización) y después del tratamiento (1 semanas después del tratamiento, después de la supercompensación). Como medidas de FRAe específica e inespecífica se realizaron 2 pruebas de esfuerzo máximos: 1) Test de FRAe máxima de 4´ de duración total y 2) Test de remoergómetro máximo de 2´ de duración, repetida dos veces con una recuperación de 2´ entre serie.

Durante las pruebas se midieron la frecuencia cardiaca (FC) máxima, la capacidad de recuperación en los minutos 1 y 2 y lactato sanguíneo finales, así como medidas específicas que se detallarán a continuación.

#### *b.1. Prueba de FRAe específica: Circuito de pesas*

Se realizaron los mismos 6 ejercicios efectuados en los entrenamientos, con el peso que se realizaron los entrenamientos a nivel del mar. Se midieron las repeticiones máximas realizadas y la FC máxima durante 40´´ en cada ejercicio y sin recuperación de un ejercicio a otro. De la misma manera, se coge la FC de

<sup>10</sup> El pesos absoluto utilizado en cada ejercicio en el grupo experimental (H) fué bajado (entre 20-40%), por los efectos de la altitud.



recuperación post esfuerzo en los minutos 1 y 2. \*Esta prueba de esfuerzo se realizó tanto en normoxia como en hipoxia a una altitud simulada de 4500m (FiO<sub>2</sub> = 12%).

### *b.2. Prueba de FRAe inespecífica: remoergómetro*

Se realizaron dos series de 3' de duración con una dureza de 7 con el remoergómetro Concept II y con una recuperación de 2' de una serie a otra. Se midieron los metros finales efectuados, la potencia (wat) media y final, paladas por minuto y FC máxima. De la misma manera después de cada serie se tomó la FC de recuperación en los minutos 1 y 2 y al finalizar la 2ª serie, el lactato sanguíneo final.

Los sujetos no tuvieron posibilidad ninguna de poder entrenar en el remoergómetro durante todas las fases del tratamiento, ya que este se trajo exclusivamente para realizar las pruebas de esfuerzo. Antes de la 1ª prueba pre-tratamiento, se les dejó un 7 días antes para que lo probaran, para luego una semana después hacer la 1ª prueba pre-tratamiento.

## **2.4. Condiciones de las pruebas de esfuerzo**

Las pruebas de esfuerzo se realizaron después de 7 días de descanso, dejando este tiempo para recuperar el glucógeno muscular y fatiga acumulada.

Todas las pruebas de esfuerzo se realizaron el mismo día con la siguiente secuencia:

- 1 - Prueba máxima específica en hipoxia
- 2 - Prueba máxima específica en normoxia
- 3 - Prueba en remoergómetro

De una prueba a otra hubo una recuperación de 30', entre ellas 5' se utilizaron para calentar antes de cada prueba. En las pruebas de pesas se realizó un calentamiento de 5' en bicicleta estática y una serie completa de 10 repeticiones de cada ejercicio con el peso que se iba a realizar la prueba y a un ritmo elevado. Antes de la prueba de remoergómetro se realizó un calentamiento de 5' en el mismo remoergómetro.

Durante las recuperaciones de 30', cada sujeto tomó 60g de HC de absorción rápida mediante plátanos (1) maduros y picos de membrillo (2) y una bebida isotónica con una concentración de 7% de HC, que se tomó en total 300ml de bebida, de una prueba a otra (para asegurar que estaban tomando estas cantidades de hidratos de carbono, la dieta fué controlada por el programa Nutriber).



### 3. RESULTADOS

VARIABLES	PRE-C	POST-C	POST-H	P
Metros-1	871,8±11,7	879,3±10,7	889,2±9,8	NS
Watios media	293,8±11,1	288,5±9,8	295,6±9,1	NS
Watios finales	301,8±14,5	304,8±13,3	343,6±21,3	0,05
Paladas/min	35,00±1,32	37,5±0,96	37,73±1,26	NS
FC max-1	173,8±2,0a	174,2±3,4ab	179,8±1,6b	0,05
Rec-1´	138,0±5,4	145,7±4,6	143,4±3,9	NS
Rec-2´	124,9±5,6	124,1±6,4	119,7±4,5	NS
Metros-2	820,4±5,3a	827,3±8,3 a	868,1± 6,35 b	0,001
Watios media	231,33± 9,02 a	245,5±7,1 ab	258,09± 8,7b	0,05
Watios-finales	285,6±12,6 a	298,4±15,9 b	315,6±18,4c	0,05
Paladas/min	36,7±1,6	35,9±1,3	38,36±1,48	NS
FC max-2	175,8±1,6a	174,9±1,9 a	182,2±2,2 b	0,05
Rec-1´	140,9±5,3	139,0±4,7	133,1±3,8	0,05
Rec-2´	118,6±5,6	119,1±5,5	114,2±3,7	NS
Lactato final (mol/l)	16,2±0,7 ab	18,0±0,9a	15,8±0,6 b	0,05

Tabla 1. Prueba maximal de 3´ de duración en remoergómetro (x2). Con una recuperación de 2´, se realiza la segunda prueba maximal

VARIABLES	PRE-C	POST-C	POST-H	P
SentadillaRE-1	55,9±2,0 a	62,5±2,5b	67,8±2,1b	0,05
HombrosRE-2	45,9±1,5 a	50,5±2,0 ab	54,1±1,1 b	0,001
BicepsRE-3	46,1±1,4 a	55,9±2,6 ab	57,9±1,6 b	0,01
RemoRE-5	50,9±3,0 a	54,4±3,1 ab	62,1±2,3 b	0,01
SentadillaRE-6	37,7±1,1 a	50,0±2,0 b	55,3±0,9 c	0,05
Medias repeticiones	48,5±1,9 a	54,6±2,0 ab	59,5±1,5 b	0,05
Lactato fin (mmol/l)	11,4±0,4	13,1±0,8	13,5±0,7	NS

Tabla 2. Prueba de FRAe en CIRCUITO DE PESAS. Número de repeticiones y lactato





VARIABLES	PRE-C	POST-C	POST-H	P
SentadillaFC-1	152,9±3,9	150,9±4,2	157,3±3,8	NS
HombrosFC-2	160,4±2,5	157,9±2,4	164,2±1,8	NS
BicepsFC-3	168,6±2,6 ab	162,5±2,3 b	170,1±0,9 a	0,05
AdominalFC-4	163,2±3,1 a	153,9±1,8 b	149,0±2,0 b	0,01
RemoFC-5	170,2±1,5	167,2±2,5	171,8±1,4	NS
SentadillaFC-6	170,5±2,8	167,5±2,6	172,0±0,7	NS
Medias FC	163,5±3,1	159,6±2,5	163,4±2,0	NS
Rec-1	140,6±4,8 a	134,6±3,3 ab	127,9±3,7 b	0,05
Rec-2	118,6±6,0 a	109,7±4,5 ab	101,5±4,2 b	0,05
Rec-3	102,4±5,6	103,3±3,1	93,3±4,1	NS

Tabla 3. Prueba de FRAe en CIRCUITO DE PESAS. Frecuencias cardiacas.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos respecto a la comparación de un entrenamiento de FRAe a nivel del mar (grupo C) y entrenamiento realizado en hipoxia, grupo experimental (grupo H), se pueden extraer los siguientes datos e interpretaciones:

- *Mejora de la FRAe inespecífica* en una prueba de potencia aeróbica, valorada en dos test máximos de 3' de duración en remoergómetro. Mejora en grupo H, en los metros totales realizados en la primera como en la segunda serie (1º, 879,3±10,7 y 2º 827,3±8,3 vs 1º, 889,2±9,8 y 2º, 868,1±6,4). Menores pérdidas en metros en el grupo H, entre la primera y segunda serie (52,0±11,7 vs 34,4±7,7).

Aumento de las frecuencias cardiacas máximas en el grupo H en las dos series máximas en remoergómetro. En la 1º serie (174,2±3,4 y 179,8±1,6) y en la 2º serie (179,8±1,6 y 182,2±2,2).

Aumento de los vatios medios en la 2º serie máxima en remoergómetro en el grupo H, respecto al grupo C (258,1±8,7 vs 245,5±7,1).

Aumentos de los vatios finales en las prueba de remoergómetro en el grupo H, tanto en la primera serie de 3' (304,8 vs 343,6) y en la segunda serie (298,4 vs 315,5).

Disminución de los valores de lactato final en el grupo H (18,0±0,9 vs 15,8±0,6).



Como norma general se puede observar que en la prueba inespecífica en remoergómetro, y al valorar dos series seguidas con dos minutos de recuperación entre ellas, entendemos que aunque se observaron unos niveles de lactato sanguíneo muy elevados (tomados en la segunda serie), hubo un componente aeróbico importante, especialmente para la segunda serie. En el grupo H en la segunda serie se observan menores niveles de lactato y un mayor rendimiento final, por lo que podemos decir que los entrenamientos en hipoxia han ayudado recuperar en mayor medida de una serie máxima a la otra. A la vez, comentar que en la segunda serie el grupo H tuvo unos valores más altos de frecuencia cardiaca máxima y las recuperaciones de la frecuencia cardiaca en los primeros 2' fueron mejores, por lo tanto, estos hechos demuestran que la capacidad de recuperación ha aumentado en mayor medida. A la vez, el rango de la frecuencia cardiaca máxima y de recuperación fue mayor en el grupo H. Lo cual es indicador de una mejora de la respuesta cardiovascular.

Las potencias finales superiores que dieron en el grupo H, muestra que tenían una franja superior en cuanto a las posibilidades de hacer un cambio de ritmo final, siendo esto muy importante en la mayoría de deportes de fuerza-resistencia o resistencia aeróbica, ya que la mayoría de las competiciones cíclicas se sentencian en los últimos metros.

- En la prueba específica de FRAe realizada con los mismos ejercicios de los entrenamientos, se muestra cómo hay una mejora considerable en el grupo H, en cuanto al número de repeticiones máximas realizados por cada ejercicio como en el cómputo total ( $59,5 \pm 1,5$  vs  $54,6 \pm 2,0$ ) a una misma concentración de lactato en los dos grupos ( $13,5 \pm 0,7$  vs  $13,1 \pm 0,8$ ).

A la vez, aquí también es importante subrayar que en este caso las frecuencias cardiacas de recuperación en el grupo H mejoran significativamente en el 1-2' post esfuerzo (1º minuto,  $140,6 \pm 4,8$  vs  $127,9 \pm 3,7$ ) y (2º minuto,  $118,0 \pm 56,0$  vs  $101,5 \pm 4,2$ ).

Esto nos sugiere que en hipoxia intermitente se consiguen una serie de adaptaciones a nivel sistemas orgánicos para acelerar los procesos de recuperación tras esfuerzos máximos que en si mismos tienen un soporte energético de origen anaeróbico<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Cfr., Roels, B; David, J; Bentley, B; Coste, O; Mercier, J; Gregoire, P: "Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes". *European Journal of Applied Physiology*, 10.1007/s00421-007-0506-8 (2007); Wilber, RL; Stray-Gundersen, J; Levine, BD: "Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, nº 39 (2007) pp. 1590-9.



La observación de que con los estímulos de hipoxia intermitente aumente en mayor medida la frecuencia cardíaca máxima, puede ser muy interesante para los deportes de larga duración, ya que con los grandes volúmenes de entrenamiento a bajas intensidades, se suele dar una tendencia que la FC máxima baje. Esto es importante para aumentar el volumen sistólico en los esfuerzos máximos o intensidades de competición. Así la utilización de los estímulos de HI podría ser interesante en las fases de puesta a punto o antes de las competiciones principales.

## 5. CONCLUSIONES

Mediante un programa de FRAe en HIN a 4500-5500m, 3 semanas, mejora:

- La Fuerza Resistencia Aeróbica específica ( $P < 0,05$ ) e inespecífica ( $P < 0,01$ ). La capacidad de recuperación de la frecuencia cardíaca ( $P < 0,05$ ), para realizar dos esfuerzos máximos seguidos de potencia aeróbica, con una recuperación de 2´.
- Aumenta la frecuencia cardíaca máxima, en los esfuerzos máximos de potencia aeróbica ( $P < 0,05$ ).
- Aumenta el rendimiento inespecífico en la 2ª serie ( $P < 0,05$ ), después de un esfuerzo máximo de tres minutos de las mismas características, a la vez que se mejoran los watos finales que se dan al final de la prueba de esfuerzo inespecífico ( $P < 0,05$ ).

Los resultados observados pueden considerarse muy interesantes para aplicar los estímulos de HIN en microciclos de impacto así como en las fases de periodo puesta a punto, en los diferentes deportes que tengan exigencias grandes en la capacidad y potencia aeróbicas, así como cambios de ritmo importantes durante las competiciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LEVINE, B; STRAY-GUNDERSEN, J: *“Living high-training low”*: effect of moderate altitude acclimatization with low-altitude training on performance” J Appl Physiol, nº 83 (1997), pp. 102-12.
- STRAY-GUNDERSEN, J; CHAPMAN, R; LEVINE, BD: *“Living high-training low”* altitude improves sea level performance in male and female elite runners” J Appl Physiol, nº 91(2001) pp. 1113-20.



- GORE, CJ; HAHN, A; AUGHEY, R; MARTIN, D; ASHENDEN, M; CLARK, S y col: *"Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency"* Acta Physiol Scand, nº 173 (2001), pp. 275-86.
- RODRIGUEZ, FA; MURIO, J; CASAS, H; VISCOR, G; VENTURA, JL: *"Intermittent hypobaric hypoxia enhances swimming performance and maximal aerobic power in trained swimmers"*. IX World Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming. Saint Etienne (2002).
- GEISER, J; VOGT, M; BILLETER, R; ZULEGER, C; BELFORTI, F; HOPPELER, H: *"Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude"* Int J Sports Med, nº22 (2001), pp. 579-85.
- MEEUSEN, T; HENDRIKSEN, IJ; HOLEWIJN, M: *"Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia"* Eur J Appl Physiol, nº 84 (2001) pp. 283-90.
- ROELS, B; DAVID, J; BENTLEY, B; COSTE, O; MERCIER, J; GREGOIRE, P: *"Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes"*. European Journal of Applied Physiology, 10.1007/s00421-007-0506-8 (2007).
- ZOLL, J; PONSOT, E; DUFOUR, S; DOUTRELEAU, S; VENTURA-CLAUPIER, R; VOGT, M y col: *"Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. Muscular adjustments of selected gene transcripts"* J Appl Physiol, nº 100 (2006) pp. 1258-66.
- FRIEDMANN, B; FRESE, F; MENOLD, E; BÄRTSCH, P: *"Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners"* European Journal of Applied Physiology, nº101 (2007), pp. 67-73.
- JUEL, C: *"Muscle pH regulation: role of training"* Acta Physiol Scand, nº 162 (1998), pp. 359-66.
- JUEL, C; LUNDBY, C; SANDER, M; CALBERT, J; VAN HALL, G: *"Human skeletal muscle and erythrocyte proteins involved in acid-base homeostasis: adaptations to chronic hypoxia"* J Physiol, nº 548 (2003), pp. 639-48.
- CALBET, JA: *"Efectos del Entrenamiento en la Altitud"*, IX Jornadas sobre medicina y deporte de alto nivel. Madrid. (2006).
- VOGT, M; PUNTSCHART, A; GEISER, J; ZULEGER, C; BILLETER, R; HOPPELER, H: *"Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions"* J Appl Physiol, nº 91 (2001) pp. 173-82.
- WILBER, RL; STRAY-GUNDERSEN, J; LEVINE, BD: *"Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance"*. Medicine and Science in Sports and Exercise, nº 39 (2007) pp. 1590-9.