



REVISTA ESPAÑOLA DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTES

Nº. 397

CONSEJO GENERAL DE ILUSTRES COLEGIOS OFICIALES DE LICENCIADOS
EN EDUCACIÓN FÍSICA Y EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE



desde 1949
since 1949

REVISTA ESPAÑOLA DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTES

Edita:

Consejo General de Colegios Oficiales de Licenciados en
Educación Física y en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Número 397, Año LXIV, 2º trimestre, 2012 (nº 23, V época)

Edición digital:

<http://www.consejo-colef.es>

Indexada en:

- **DICE (CSIC. CINDOC. ANECA).**
- **CATÁLOGO LATINDEX.**
- **IN-RECS**
- **REBIUN.**

ESTUDIOS MONOGRÁFICOS / *Monographs studies*

Educación Física y competencias I / *Physical education and competence I..... 9*

- Ángel PÉREZ PUEYO y Pablo CASANOVA VEGA
Análisis de diferentes propuestas de desarrollo de las competencias básicas /
Analysis of different proposals for development of key competence.....13
- Ángel PÉREZ PUEYO
Las competencias básicas en Educación Física: ¿evaluación o calificación? /
Key competences in Physical Education: assessment or rating?.....37

INVESTIGACIÓN Y APORTACIONES CIENTÍFICAS / *Research and scientific contributions*

- José María MUYOR RODRÍGUEZ; Pedro Ángel LÓPEZ-MIÑARRO;
Fernando ALACID CÁRCELES y Antonio J. CASIMIRO ANDUJAR
Disposición sagital del raquis torácico del ciclista de élite / *Sagittal thoracic
curvature in elite cyclists.....53*
- Aritz URDAMPILLETA OTEGUI; Saioa GÓMEZ ZORITA; José Miguel MARTÍNEZ
SANZ y Enrique ROCHE COLLADO
La eficacia de un programa de ejercicios de alta intensidad en hipoxia intermitente
para la mejora de la fuerza-resistencia / *The effectiveness of a high-intensity inter-
mittent hypoxic training on improvement of the strength-resistance.....63*
- Berta MURILLO PARDO; Julio LATORRE PEÑA y José Antonio FERRANDO
ROQUETA
La práctica de actividades físico-deportivas y otras actividades organizadas en los
colegios privados-concertados de Educación Primaria de la ciudad de Zaragoza /
*Sport physical activity and activities organized by semi-private primary schools in
Zaragoza75*
- Lara BLANCO PIÑERO
La expresión corporal como contenido curricular del área de Educación Física en la
Educación Secundaria Obligatoria en Castilla y León: de la L.O.G.S.E. a la L.O.E. /
*The corporal expression as a curricular content of the Physical Education area in the
compulsory secondary education in Castilla y León: form LOGSE to LOE89*

DISPOSICIÓN SAGITAL DEL RAQUIS TORÁCICO DEL CICLISTA DE ÉLITE

José María Muyor Rodríguez

josemuyor@ual.es

Pedro Ángel López-Miñarro

Fernando Alacid Cárceles

Universidad de Murcia

Antonio J. Casimiro Andújar

Universidad de Almería

RESUMEN: A un total de 50 ciclistas élite y 50 sujetos sedentarios (media de edad: $21,71 \pm 2,87$ años) se les valoró la disposición sagital del raquis torácico en bipedestación y sobre la bicicleta con agarre en el manillar bajo, mediante un Spinal Mouse®. Los valores angulares medios para la cifosis torácica en bipedestación fueron de $48,10^\circ \pm 7,78^\circ$ y $42,44^\circ \pm 7,73^\circ$ para el grupo de ciclistas y el grupo control, respectivamente ($p < 0,001$) y, sobre la bicicleta, fueron de $37,54^\circ \pm 9,92^\circ$ para el grupo de ciclistas y de $37,80^\circ \pm 9,42^\circ$ para el grupo control ($p > 0,05$). Debido a que sobre la bicicleta, ambos grupos mostraron una disminución significativa de la flexión intervertebral torácica con respecto a la bipedestación, la postura adoptada por el ciclista en su bicicleta no es la causa directa del aumento de la cifosis torácica presentada por los ciclistas en bipedestación.

PALABRAS CLAVE: ciclismo, postura, columna vertebral, cifosis.

SAGITTAL THORACIC CURVATURE IN ELITE CYCLISTS

ABSTRACT: The sagittal thoracic curvature was evaluated in a total of 50 elite cyclists and 50 age-matched sedentary controls (mean age: $21,71 \pm 2,87$ years old) with an Spinal Mouse® during relaxed standing and while sitting on the bicycle with lower handlebar position. Mean thoracic angles while standing were $48,10^\circ \pm 7,78^\circ$ and $42,44^\circ \pm 7,73^\circ$ in cyclists and control group, respectively ($p < 0.001$). Mean angles when sitting on the bicycle were $37,54^\circ \pm 9,92^\circ$ in cyclists and $37,80^\circ \pm 9,42^\circ$ in control group ($p > 0.05$). A significant reduced thoracic kyphosis on the bicycle with respect to standing posture was found in both groups. The posture of cyclists on the bicycle is not the principal factor in the greater thoracic kyphosis showed by cyclists in standing posture.

KEY WORDS: cycling, posture, spine, kyphosis.



1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, el ciclismo es uno de los deportes más practicados junto a la natación y el fútbol¹, a pesar de ser una disciplina donde influyen diversos factores en su realización, tales como altas exigencias físicas, climatología e interacción con vehículos de motor².

La práctica deportiva intensa se ha relacionado con determinadas modificaciones en las curvaturas sagitales del raquis³. Las posturas y gestos específicos de entrenamiento parecen ser los factores principales en las adaptaciones raquídeas asociadas a la práctica deportiva. En deportes en los que predominan posturas mantenidas en flexión del tronco, como en esquí⁴, remo⁵, lucha⁶, voleibol⁷, piragüismo⁸, así como en deportistas que realizan gestos repetitivos en flexión intervertebral al realizar ejercicios para la mejora de la fuerza muscular⁹, se ha encontrado una mayor frecuencia de posturas hipercifóticas en bipedestación. Sin embargo, en disciplinas donde se realizan ejercicios específicos para la mejora del esquema corporal y la actitud postural, con frecuentes posiciones de extensión raquídea, como en gimnasia rítmica¹⁰ y danza¹¹, se han observado disminuciones significativas de la cifosis torácica.

¹ García Ferrando, M.: *Postmodernidad y deporte: Entre la individualización y la masificación. Encuesta de hábitos deportivos de los españoles 2005*, Madrid, CIS/Siglo XXI, 2006.

² Winters, M., Davidson, G., Kao, D. y Teschke, K.: "Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride", *Transportation*, in press. DOI: 10.1007/s11116-010-9284-y

³ Boldori, L., Da Soldá, M. y Marelli, A.: "Anomalies of the trunk. An analysis of their prevalence in Young athletes", *Minerva Pediátrica*, 51, (1999), pp. 259-264. Rajabi, R., Doherty, P., Goodarzi, M. y Hemayattalab, R.: "Comparison of thoracic kyphosis in two groups of elite Greco-Roman and free style wrestlers and a group of non-athletic subjects", *British Journal of Sports Medicine*, 42, (2008), pp. 229-232. Uetake, T., Ohtsuki, F., Tanaka, H. y Shindo, M.: "The vertebral curvature of sportsmen", *Journal of Sports Sciences*, 16, (1998), pp. 621-628.

⁴ Alricsson, M. y Werner, S.: "Young elite cross-country skiers and low back pain. A 5-year study", *Physical Therapy in Sport*, 7, (2006), pp. 181-184.

⁵ Stutchfield, B. y Coleman, S.: "The relationships between hamstring flexibility, lumbar flexion, and low back pain in rowers", *European Journal of Sports Science*, 6, (2006), pp. 255-260.

⁶ Rajabi, R. y cols.: op. cit., 2008.

⁷ Grabara, M. y Hadzik, A.: "Postural variables in girls practicing volleyball", *Biomedical Human Kinetics*, 1, pp. 67-71.

⁸ López-Miñarro, P. A. y Alacid, F.: "Influence of hamstring muscle extensibility on spinal curvatures in young athletes", *Science & Sports*, 25, (2010), pp. 88-93.

⁹ López-Miñarro, P. A., Rodríguez, P. y Santonja, F.: "Disposición sagital del raquis torácico al realizar el ejercicio de remo sentado con apoyo en el tórax", *Revista Española de la Educación Física y Deportes*, 12, (2009), pp. 80-87.

¹⁰ Kums, T., Erelina, J., Gapeyeva, H., Pääsuke, M. y Vain, A.: "Spinal curvature and trunk muscle tone in rhythmic gymnasts and untrained girls", *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2-3, (2007), pp. 87-95.

¹¹ Nilsson, C., Wykman, A. y Leanderson, J.: "Spinal sagittal mobility and joint laxity in young ballet dancers", *Knee Surgery, Sports Traumatology and Arthroscopy*, 3-4, (1993), pp. 206-208.



La posición predominante del ciclista es sentado con flexión mantenida del tronco para apoyar las manos sobre el manillar de la bicicleta¹². Esta postura ha sido definida como *antinatural* con respecto a la bipedestación¹³.

La sedentación prologada, junto a cargas intensas de entrenamiento, genera adaptaciones de las estructuras raquídeas¹⁴, aumentando el estrés vertebral¹⁵ y la presión intradiscal¹⁶. Por ello, algunos estudios han evaluado el morfotipo raquídeo en ciclistas. Usabiaga y cols observaron que el raquis lumbar modificaba su posición de lordosis en bipedestación, a una inversión cuando el ciclista se sentaba sobre la bicicleta. Rajabi y cols¹⁷ encontraron una significativa mayor cifosis torácica, en bipedestación, en un grupo de ciclistas con respecto a otro grupo de sujetos sedentarios. No obstante, este estudio no analizó la disposición sagital del raquis torácico sobre la propia bicicleta de los ciclistas evaluados.

Debido a que el ciclista mantiene durante varias horas al día, tanto en los entrenamientos como en las competiciones, una postura de sedentación con una ligera flexión del tronco que podría condicionar su postura raquídea, el objetivo del presente trabajo fue evaluar y comparar la disposición angular del raquis torácico en bipedestación y sobre la bicicleta, entre ciclistas de élite y un grupo de sujetos que no practican ejercicio físico de manera sistematizada.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Muestra

Un total de 100 sujetos varones, entre 18 y 29 años (media \pm desviación típica, edad: 21,71 \pm 2,87 años), divididos en dos grupos (50 ciclistas de élite y 50 sujetos control, que no realizaban ejercicio físico de manera sistematizada), participaron voluntariamente en este estudio.

¹² Usabiaga, J., Crespo, R., Iza, I., Aramendi, J., Terrados, N. y Poza, J.: "Adaptation of the lumbar spine to different positions in bicycle racing", *Spine*, 22, (1997), pp. 1965-1969

¹³ De Vey Mestdagh, K.: "Personal perspective: in search of an optimum cycling posture", *Applied Ergonomics*, 29, (1998), pp. 325-334.

¹⁴ Iwamoto, J., Abe, H., Tsukimura, Y. y Wakano, K.: "Relationship between radiographic abnormalities of lumbar spine and incidence of low back pain in high school and college football players", *American Journal of Sports Medicine*, 3, (2004), pp. 781-786.

¹⁵ Beach, T., Parkinson, R., Stothart, P. y Callaghan, J.: "Effects of prolonged sitting on the passive flexion stiffness of the in vivo lumbar spine", *The Spine Journal*, 2, (2005), pp. 145-154.

¹⁶ Polga, D., Beaubien, B., Kallemeier, P., Schellhas, K., Lew, W., Buttermann, G. y Wood, K.: "Measurement of in vivo intradiscal pressure in healthy thoracic intervertebral disc", *Spine*, 12, (2004), pp. 1320-1324.

¹⁷ Rajabi, R., Freemont, A. y Doherty, P.: "The investigation of cycling position on thoracic spine. A novel method of measuring thoracic kyphosis in the standing position", *Archives of Physiology and Biochemistry*, 1, (2000), p. 142.



Los datos descriptivos de la muestra se presentan en la tabla 1. Los criterios de inclusión de los ciclistas para participar en este estudio fueron: un volumen de entrenamiento de 2 a 3 horas al día, con una frecuencia de 4 a 6 días por semana, así como tener un historial de entrenamiento en ciclismo de más de 4 años de práctica ininterrumpida.

	Grupo ciclistas élite	Grupo control
Talla (m)	1,77 ± 0,05	1,78 ± 0,06
Masa (kg)	71,25 ± 10,15	74,07 ± 10,31
IMC (kg/m ²)	22,62 ± 2,78	23,26 ± 2,60

IMC: índice de masa corporal.

Tabla 1. Datos descriptivos de la muestra

Los criterios de exclusión fueron: 1) haber manifestado dolor lumbar o torácico en los tres meses anteriores a la realización del estudio; y 2) estar diagnosticado de alguna patología raquídea. Los sujetos del grupo control eran sedentarios, y no habían participado en actividades físico-deportivas de forma regular.

2.2. Procedimiento

El estudio fue aprobado por el Comité ético y de Investigación de la Universidad de Almería. Previamente a las mediciones, todos los sujetos fueron informados sobre el procedimiento y firmaron, voluntariamente, un consentimiento informado.

La disposición angular de la curva torácica fue valorada mediante un Spinal Mouse® en la posición de bipedestación, así como sobre la bicicleta, colocando las manos en el agarre bajo del manillar (figura 1), en un orden aleatorio. Entre cada medición hubo 5 minutos de descanso. Cada sujeto fue evaluado en ropa interior, descalzo y por el mismo examinador en una misma sesión. La temperatura fue estandarizada a 24^o C.



Figura 1. Posición del ciclista con agarre en el manillar bajo



Previamente a las mediciones, el investigador principal identificó mediante palpación y marcó, con un lápiz dérmico, la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical (C7), así como la tercera vértebra sacra (S3).

Para medir la curva torácica, una vez que el sujeto se colocaba en la posición a medir, el Spinal Mouse® se guiaba a lo largo de las apófisis espinosas del raquis, desde C7 hasta S3 (figura 2). El sistema digitalizaba el contorno de la piel sobre el raquis en el plano sagital, aportando información sobre la angulación global de las curvas raquídeas. El Spinal Mouse® ha mostrado una elevada validez y una consistente fiabilidad en comparación con técnicas radiográficas¹⁸.



Figura 2. Evaluación del raquis torácico en bipedestación

2.3. Posturas evaluadas

Bipedestación: Los sujetos se situaban de pie, con los hombros relajados, mirada al frente, los brazos a lo largo del tronco y con una apertura de los pies igual a la anchura de sus caderas.

Sedentación sobre la bicicleta: Los sujetos debían sentarse en el sillín, apoyando las manos sobre el agarre bajo y pedalear durante 5 minutos, con una cadencia de 90 pedaladas por minuto (marcadas con un cadenciómetro).

Cada ciclista utilizó su propia bicicleta. En los sujetos del grupo control, se utilizó una bicicleta ajustada a las características antropométricas de cada individuo, utilizando las referencias de Salai y cols.¹⁹ y de Vey Mestdagh:

¹⁸ Guerhazi, M., Ghroubi, S., Kassis, M., Jaziri, O., Keskes, H., Kessomtini, W., Ben-Hammouda, I. y Elleuch, M. H.: "Validity and reliability of Spinal Mouse® to assess lumbar flexion", *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 49, (2006), pp. 172-177.

¹⁹ Salai, M., Brosh, T., Blankstein, A., Oran, A. y Chechik, A.: "Effect of changing the saddle angle on the incidence of low back pain in recreational bicyclists", *British Journal of Sports Medicine*, 6, (1999), pp. 398-400.



- Ajuste altura del sillín: Con el sujeto sentado sobre el sillín de la bicicleta y con el pedal situado en el punto más bajo, la rodilla debía estar en flexión de 20°.
- Altura del manillar: Aquélla que permitía al sujeto permanecer en una posición cómoda con los codos semiflexionados.
- Avance-retroceso del sillín: Con el sujeto sentado sobre el sillín y los pedales paralelos al suelo, se colocaba una plomada a la altura de la rótula de la rodilla más adelantada, y debía caer sobre la primera articulación metatarso-falángica.

2.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de cada una de las variables. Las variables continuas se presentan como medias \pm desviación típica. Tras comprobar que las variables seguían una distribución normal mediante el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes con objeto de comparar las variables analizadas entre el grupo de ciclistas y el grupo control, y una prueba t de Student para muestras dependientes para comparar dichas variables entre un mismo grupo. Todos los datos fueron analizados usando el SPSS 15.0 y el nivel de significación se estableció en un valor de $p < 0,05$.

3. RESULTADOS

Los valores angulares medios para la cifosis torácica en bipedestación fueron de $48,10^\circ \pm 7,78^\circ$ y $42,44^\circ \pm 7,73^\circ$ para el grupo de ciclistas y el grupo control, respectivamente ($p < 0,001$), mientras que sobre la bicicleta, fueron de $37,54^\circ \pm 9,92^\circ$ para el grupo de ciclistas y de $37,80^\circ \pm 9,42^\circ$ para el grupo control (figura 3). En bipedestación, el grupo de ciclistas presentó una significativa mayor cifosis torácica que el grupo control ($p < 0,001$). Sobre la bicicleta, ambos grupos mostraron una disminución significativa de la cifosis torácica con respecto a la bipedestación ($p < 0,001$).

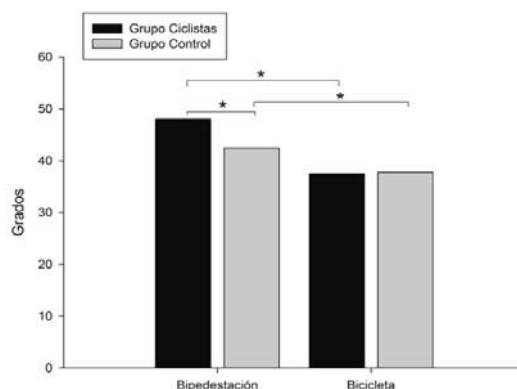


Figura 3. Valores angulares medios del raquis torácico en bipedestación y sobre la bicicleta en agarre bajo. * $p < 0,001$



4. DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la disposición angular del raquis torácico en bipedestación y sobre la bicicleta, en ciclistas de élite y un grupo de sujetos sedentarios. La posición en sedentación prolongada sobre la bicicleta durante años de entrenamiento, y las características propias de este deporte como las altas exigencias físicas requeridas en la categoría analizada, podrían generar algún tipo de adaptación en las curvas raquídeas. El principal hallazgo de este estudio fue que los ciclistas de élite, en bipedestación, presentaron valores angulares, para el raquis torácico, significativamente superiores respecto al grupo control, integrado por sujetos que no realizaban ejercicio físico de manera sistematizada. Las altas exigencias físicas y la duración de las pruebas y entrenamientos que caracterizan al ciclismo, podrían aumentar la cifosis torácica en estos deportistas, puesto que la práctica deportiva de alta intensidad puede generar modificaciones en la configuración sagital del raquis²⁰.

Nuestros resultados coinciden con los aportados por Rajabi y cols.²¹, que encontraron, en bipedestación, una cifosis torácica significativamente mayor en un grupo de ciclistas en comparación con otro de sujetos sedentarios, justificando esta diferencia en base a que el ciclista permanece una gran cantidad de tiempo en flexión de tronco sobre su bicicleta. Por ello, el raquis torácico se adaptaría a dicha posición, manifestando una mayor cifosis en bipedestación, en comparación con los sujetos que no practican este deporte. No obstante, estos autores no valoraron el morfotipo raquídeo adoptado sobre la bicicleta, sino que sus conclusiones de basaban en supuestos teóricos.

Diferentes estudios han observado una tendencia al aumento de la cifosis torácica en bipedestación en deportes donde predominan gestos técnicos específicos en flexión mantenida del tronco (lucha²², piragüismo²³, voleibol²⁴). No obstante, estos estudios no analizan la posición adoptada del raquis torácico en los gestos deportivos específicos. Una cifosis torácica aumentada se ha relacionado con un aumento del estrés vertebral²⁵ y una mayor presión intradiscal, tanto en los discos intervertebrales torácicos²⁶ como en los lumbares²⁷, aumentando el riesgo de lesión raquídea.

²⁰ Uetake, T. y cols., op. cit., 1998.

²¹ Rajabi, R. y cols., op. cit., 2000.

²² Rajabi, R. y cols., op. cit., 2008.

²³ López-Miñarro, P. A. y Alacid, F., op. cit., 2010.

²⁴ Grabara, M. y Hadzik, A., op. cit., 2009.

²⁵ Beach, T. y cols., op. cit., 2005.

²⁶ Polga, D. y cols., op. cit., 2004.

²⁷ Sato, K., Kikuchi, S. y Yonezawa, T.: "In vivo intradiscal pressure measurement in healthy individuals and in patients with ongoing back problems", *Spine*, 23, (1999), pp. 2468-2474. Wilke, H. Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T. y Claes, L.: "New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life", *Spine*, 24, (1999), pp. 755-762.



Por otro lado, estudios que analizan deportes donde predominan ejercicios de concienciación corporal para la mejora de la actitud postural, como en danza²⁸ y gimnasia rítmica²⁹, han observado una significativa menor cifosis torácica en comparación con sujetos que no practicaban ejercicio físico.

En el presente trabajo, al evaluar la cifosis torácica sobre la bicicleta, tanto en el grupo de ciclistas de élite como en el control, se observó una disminución significativa de la flexión intervertebral en comparación con la cifosis torácica observada en bipedestación. Probablemente, esta diferencia se explica por el apoyo de las manos sobre el manillar, que induce una retropulsión escapular y extensión intervertebral torácica, adoptando posturas más alineadas.

Según Balius³⁰, el ciclismo es un deporte contraindicado, ya que su práctica comporta, inevitablemente, una posición en hipercifosis torácica, que puede desencadenar modificaciones raquídeas cuando su práctica es intensa y continuada. Por este motivo, el autor lo clasifica como un deporte vertebralmente negativo en potencia³¹. En este sentido y tras los hallazgos del presente estudio, consideramos que la posición en la bicicleta no puede ser la responsable directa del aumento de la cifosis torácica en estos deportistas, puesto que el raquis torácico está más alineado sobre la bicicleta, que cuando están en bipedestación. Por tanto, los mayores valores angulares torácicos en bipedestación en los ciclistas estarían condicionados por otros factores como la edad, estilo de vida, hábitos posturales en las actividades de la vida diaria o falta de concienciación postural. Es preciso valorar si la posición del ciclista mantenida durante tantas horas cada día puede generar, por la fatiga asociada, modificaciones posturales tras los entrenamientos, explicando en parte el morfotipo raquídeo torácico en bipedestación.

Ante la tendencia a la hipercifosis torácica en bipedestación de los ciclistas, sería necesario incluir en la planificación del entrenamiento un trabajo de concienciación postural del raquis, que se complemente con un trabajo de resistencia muscular de la musculatura torácica, con el objetivo de favorecer posturas más alineadas en bipedestación.

Los ciclistas de la categoría élite presentan una mayor cifosis torácica en bipedestación, en comparación con sujetos que no realizan ejercicio físico de manera sistematizada. En cambio, los valores angulares para el raquis torácico sobre la bicicleta son significativamente menores que en bipedestación. La posición

²⁸ Nilsson, C. y cols., op. cit., 1993.

²⁹ Kums, C. y cols., op. cit., 2007.

³⁰ Balius, R.: "Acción de la sobrecarga deportiva sobre el aparato locomotor del niño y del adolescente", *Apunts. Educación Física y Deportes*, 78, (1983), pp. 85-96.

³¹ Balius, R., Balius, R. y Balius, X.: "Columna vertebral y deporte", *Apunts. Educación Física y Deportes*, 24, (1987), pp. 223-229.



adoptada por el ciclista en la bicicleta no puede ser la causa directa de la mayor cifosis torácica encontrada en los ciclistas. Es recomendable incluir ejercicios específicos de concienciación postural del raquis y de resistencia muscular en la región torácica en estos deportistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALRICSSON, M. y WERNER, S.: “*Young elite cross-country skiers and low back pain. A 5-year study*”, *Physical Therapy in Sport*, 7, (2006), pp. 181-184.
- BALIUS, R., BALIUS, R. y BALIUS, X.: “*Columna vertebral y deporte*”, *Apunts. Educación Física y Deportes*, 24, (1987), pp. 223-229.
- BALIUS, R.: “*Acción de la sobrecarga deportiva sobre el aparato locomotor del niño y del adolescente*”, *Apunts. Educación Física y Deportes*, 78, (1983), pp. 85-96.
- BEACH, T., PARKINSON, R., STOTHART, P. y CALLAGHAN, J.: “*Effects of prolonged sitting on the passive flexion stiffness of the in vivo lumbar spine*”, *The Spine Journal*, 2, (2005), pp. 145-154.
- BOLDORI, L., Da SOLDÁ, M. y MARELLI, A.: “*Anomalies of the trunk. An analysis of their prevalence in Young athletes*”, *Minerva Pediátrica*, 51, (1999), pp. 259-264.
- DE VEY MESTDAGH, K.: “*Personal perspective: in search of an optimum cycling posture*”, *Applied Ergonomics*, 29, (1998), pp. 325-334.
- GARCÍA FERRANDO, M.: *Postmodernidad y deporte: Entre la individualización y la masificación. Encuesta de hábitos deportivos de los españoles 2005*, Madrid, CIS/Siglo XXI, 2006.
- GRABARA, M. y HADZIK, A.: “*Postural variables in girls practicing volleyball*”, *Biomedical Human Kinetics*, 1, pp. 67-71.
- GUERMAZI, M., GHROUBI, S., KASSIS, M., JAZIRI, O., KESKES, H., KES-SOMTINI, W., BEN-HAMMOUDA, I. y ELLEUCH, M. H.: “*Validity and reliability of Spinal Mouse® to assess lumbar flexion*”, *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 49, (2006), pp. 172-177.
- IWAMOTO, J., ABE, H., TSUKIMURA, Y. y WAKANO, K.: “*Relationship between radiographic abnormalities of lumbar spine and incidence of low back pain in high school and college football players*”, *American Journal of Sports Medicine*, 3, (2004), pp. 781-786.
- KUMS, T., ERELIN, J., GAPEYEVA, H., PÄÄSUKE, M. y VAIN, A.: “*Spinal curvature and trunk muscle tone in rhythmic gymnasts and untrained girls*”, *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2-3, (2007), pp. 87-95.
- LÓPEZ-MIÑARRO, P. A. y ALACID, F.: “*Influence of hamstring muscle extensibility on spinal curvatures in young athletes*”, *Science & Sports*, 25, (2010), pp. 88-93.



- LÓPEZ-MIÑARRO, P. A., RODRÍGUEZ, P. y SANTONJA, F.: "*Disposición sagital del raquis torácico al realizar el ejercicio de remo sentado con apoyo en el tórax*", Revista Española de la Educación Física y Deportes, 12, (2009), pp. 80-87.
- NILSSON, C., WYKMAN, A. y LEANDERSON, J.: "*Spinal sagittal mobility and joint laxity in young ballet dancers*", Knee Surgery, Sports Traumatology and Arthroscopy, 3-4, (1993), pp. 206-208.
- POLGA, D., BEAUBIEN, B., KALLEMEIER, P., SCHELLHAS, K., LEW, W., BUTTERMANN, G. y WOOD, K.: "*Measurement of in vivo intradiscal pressure in healthy thorathic intervertebral disc*", Spine, 12, (2004), pp. 1320-1324.
- RAJABI, R., DOHERTY, P., GOODARZI, M. y HEMAYATTALAB, R.: "*Comparison of thoracic kyphosis in two groups of elite Greco-Roman and free style wrestlers and a group of non-athletic subjects*", British Journal of Sports Medicine, 42, (2008), pp. 229-232.

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-Gundersen¹ 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 temática² 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 VO₂max o hay contradicción entre los diferentes estudios. De los 11 estudios encontrados en que se presenta una mejora del VO₂max, 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 VO₂ max³.

¹ Cfr., 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.

² 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; 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.

³ 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 deportivo⁴.

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 lactacidemias⁵. 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 intensivos⁶, 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 metabolismo⁷, 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 máximos⁸.

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.

⁴ 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.

⁵ 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; 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.

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

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

⁸ 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 ± 4 , frecuencias cardiacas basales 62 ± 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 posttest, en una situación de sobrecompensación⁹.

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

⁹ 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 SaO₂ 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)¹⁰.

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

¹⁰ 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 (FiO₂ = 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 anaeróbico¹¹.

¹¹ 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 vatios 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.