

Cambios enzimáticos durante el entrenamiento anaeróbico láctico y su influencia en la capacidad aeróbica

Enzymatic changes during lactic anaerobic training and their influence on aerobic capacity

Willian Norbey Gurrute Quintana^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-7823-768X>

José Francisco Estupiñán González¹ <https://orcid.org/0000-0002-8231-2010>

Iner Valencia Montenegro¹ <https://orcid.org/0000-0001-9030-5921>

¹Universidad del Cauca, Popayán Colombia.

* Autor de correspondencia: williangurrute@unicauca.edu.co

RESUMEN

Introducción: El entrenamiento deportivo es un proceso que requiere una planificación orientada a la adaptación del cuerpo a las cargas internas versus cargas externas; de allí, surge la necesidad de conocer el comportamiento de algunas enzimas musculoesqueléticas a través del control bioquímico y fisiológico del entrenamiento en el atletismo de medio fondo.

Objetivo: Analizar los cambios enzimáticos de la creatinfosfoquinasa y la lactodeshidrogenasa durante el entrenamiento anaeróbico láctico y su influencia en la capacidad aeróbica en atletas de medio fondo.

Método: Se utilizó el método descriptivo comparativo con una muestra de 20 sujetos aleatorizados en dos grupos: experimental y control; el análisis se realizó bajo el modelo estadístico Anova descriptiva, pruebas T y diseño de medidas repetidas con un intervalo del 95 % de confianza ($p < 0,05$).

Resultados: En las variables creatinfosfoquinasa y lactodeshidrogenasa inicial y final no hubo variaciones significativas intergrupos; se observaron diferencias en la

creatinfosfoquinasa en varianza ($p=0,022$) del orden del 97,8 %; que en promedio ($p=0,088$) representó los niveles alcanzados del 91,2 %. En las medidas repetidas no se presentaron cambios estadísticamente significativos intergrupos. Para la variable del VO₂máx se aplicó la prueba T para comparar los estados inicial y final en cada grupo y hubo diferencias en ambos grupos (control $p=0,002$; experimental $p=0,000$).

Conclusiones: No hubo cambios enzimáticos importantes durante los entrenamientos anaeróbico láctico y aeróbico, a su vez, el entrenamiento anaeróbico láctico sí tuvo influencia en la capacidad aeróbica.

Palabras clave: control bioquímico, enzimas, creatinfosfoquinasa, lactodeshidrogenasa, consumo máximo de oxígeno.

ABSTRACT

Introduction: Sports training is a process that requires a planning oriented to the adaptation of the body to internal loads versus external loads; from there, arises the need to know the behavior of some musculoskeletal enzymes through the biochemical and physiological control of training in middle-distance athletics.

Objective: To analyze the enzymatic changes of creatine phosphokinase and lactodehydrogenase during lactic anaerobic training and their influence on aerobic capacity in middle-distance athletes.

Methods: The descriptive comparative method was used with a sample of 20 subjects randomized in two groups: experimental and control; the analysis was performed under the descriptive Anova statistical model, T-tests and repeated measures design with a 95% confidence interval ($p<0.05$).

Results: In the initial and final creatine phosphokinase and lactodehydrogenase variables, there were no significant intergroup variations; differences were observed in creatine phosphokinase regarding variance or standard deviation ($p=0.022$) in the order of 97.8 %; which in average ($p=0.088$) represented the levels reached of 91.2 %. In the repeated measures, there were no statistically significant intergroup changes. For the VO₂max variable, the T-test was applied to compare the initial and final states in each group and there were differences in both groups (control $p=0.002$; experimental $p=0.000$).

Conclusions: There were no important enzymatic changes during lactic anaerobic and aerobic training, and lactic anaerobic training had an influence on aerobic capacity.

Keywords: biochemical control; enzymes; creatine phosphokinase; lactodehydrogenase; maximal oxygen consumption.

Recibido: 08/04/2021

Aceptado: 10/06/2022

Introducción

Estudios nacionales e internacionales referencian el uso de marcadores bioquímicos como indicadores necesarios en el entrenamiento deportivo, cuyos principios están basados en lo biológico, pedagógico y afectivo emocional.⁽¹⁾ Estos principios permiten determinar la respuesta metabólica del organismo ante las cargas de entrenamiento,^(2,3) dentro de estos indicadores están las enzimas musculares por su relación directa con el ejercicio físico.

Los cambios enzimáticos de creatinfosfoquinasa(CPK) y lactodeshidrogenasa(LDH) se han analizados en estudios metabólicos, hormonales, hematológicos, proteicos y enzimáticos en suero.^(4,5,6,7,8,9,10,11) La CPK es una enzima que se encuentra en concentraciones elevadas en el tejido muscular tanto esquelético como cardíaco y en menor concentración en otros tejidos.⁽¹²⁾ Monitorearla permite identificar la recuperación muscular adecuada y patologías musculares subclínicas. Por su parte, la LDH es una enzima que se encuentra en el citoplasma de la mayoría de las células del cuerpo humano, tiene función reguladora y es responsable de catalizar la reacción que convierte el piruvato a lactato; al igual que la CPK, se asocia con lesiones musculares.⁽¹³⁾ Su monitoreo es importante en el estudio de la respuesta muscular al entrenamiento y podría aportar indicaciones sobre la adaptación muscular al trabajo físico.^(14,15,16,17,18,19,20,21,22,23)

El rendimiento atlético se relaciona con las adaptaciones al ejercicio intenso y continuo por lo que puede generar cambios en las concentraciones séricas,⁽⁶⁾ de ahí que la CPK sea una enzima específica utilizada como indicador de la intensidad del entrenamiento, marcador de

diagnóstico de sobreentrenamiento, de estrés físico y a la vez permita observar la capacidad del cuerpo para restaurar sus niveles normales.^(12,13)

Otro aspecto analizado fue la influencia del entrenamiento anaeróbico láctico en la capacidad aeróbica. La relación cuantitativa entre la potencia durante un ejercicio y el aumento del consumo de oxígeno representa funcionalmente la máxima cantidad captada de la circulación sanguínea y utilizada por los tejidos activos durante un periodo específico ($VO_2máx$).^(24,25)

Se demostró que el entrenamiento a intervalos produce mejoras en $VO_2máx$ ligeramente mayor que los que se informan típicamente con el entrenamiento continuo.⁽¹³⁾ En relación con el rendimiento deportivo la capacidad aerobia es un componente crucial de la aptitud física de los atletas y el $VO_2máx$ es un criterio tradicionalmente aceptado para medir esa capacidad.⁽¹⁵⁾

Esta investigación evidenció que en la planificación del entrenamiento no se ha incorporado la relación entre la carga de ejercicio con los cambios bioquímicos y fisiológicos debido al escaso conocimiento de la mayoría de los entrenadores de la región. Por consiguiente, es necesario contar con valores de referencia de marcadores en contexto para diagnosticar niveles de condición física y determinar umbrales aeróbicos-anaeróbicos que permitan planificar y ajustar las cargas de entrenamiento. En la práctica debe utilizarse una combinación de los marcadores bioquímicos para identificar los mecanismos potenciales que contribuyen a la fatiga.^(16,17)

Conocer la concentración de CPK y LDH en el plasma sanguíneo contribuye a reconocer en el deportista la adaptación biológica en términos de parámetros bioquímicos. Dentro del metabolismo muscular la CPK suele aumentar después del ejercicio y se utiliza para interpretar la liberación fisiológica de CK en el músculo.⁽⁵⁾ Los niveles de LDH en suero se ven afectados por varios factores, uno de ellos es la actividad enzimática después del ejercicio.⁽¹⁸⁾ Gran parte de las investigaciones tienen un solo registro de medición; la novedad en este estudio es el seguimiento en el tiempo, con toma de muestras en un laboratorio especializado, para hacer una comparación longitudinal. Este monitoreo permitió realizar el análisis de los cambios enzimáticos de CPK y LDH durante el entrenamiento anaeróbico láctico y su influencia en la capacidad aeróbica en atletas de medio fondo entre 14 y 18 años del Departamento del Cauca.

Métodos

Se realizó un estudio cuantitativo, de alcance descriptivo-comparativo, con diseño experimental de corte longitudinal.^(19,20) Se trabajó con una muestra de 20 corredores de medio fondo del municipio de Totoró, Cauca, adscritos al Club Deportivo de Atletismo Maratón-Liga Caucana de Atletismo. Fueron asociados por parejas⁽²¹⁾ con equivalencia de masa muscular y se organizaron aleatoriamente en dos grupos: experimental y de control. Se establecieron planes de entrenamiento anaeróbico láctico y aeróbico durante 4 semanas en un microciclo de preparación específica. El grupo experimental realizó un entrenamiento anaeróbico láctico y el grupo control un entrenamiento aeróbico, también se verificó el efecto de los entrenamientos sobre el VO₂ máx estimado.

Las hipótesis manejadas en el estudio fueron las siguientes:

- Hay cambios enzimáticos en la CPK y la LDH durante los entrenamientos anaeróbico láctico y aeróbico.
- No hay cambios enzimáticos en la CPK y la LDH durante los entrenamientos anaeróbico láctico y aeróbico.
- El entrenamiento anaeróbico láctico tiene influencia en la capacidad aeróbica.
- El entrenamiento anaeróbico láctico no tiene influencia en la capacidad aeróbica.

Criterios de inclusión

- Ser nacido en el departamento del Cauca,
- ser corredor de medio fondo con un promedio de dos años de experiencia deportiva,
- rango etario de 14 a 18 años,
- sexo masculino,
- consentimiento informado de los padres y el deportista.

Criterios de exclusión

- No desean participar de la investigación,
- no tener registro en ninguno de los Clubes afiliados a la Liga,

-que estén registrados, pero no estén entrenando.

Criterios de eliminación

- Afecciones de salud imprevistas,
- no asistir a las sesiones de entrenamiento,
- retiro voluntario.

Para asignar los grupos se utilizó la fórmula de *Poortmans* que determina indirectamente la masa muscular a partir de las dimensiones antropométricas, pliegues cutáneos (pierna, muslo y brazo), perímetros y diámetros.^(26,27)

$$MME(kg) = altura \times [(0,0064 \times PBC2) + (0,0032 \times PMC2) + (0,0015 \times PGC2)] + (2,56 \times sexo) + (0,136 \times edad)$$

Se tomaron las primeras muestras sanguíneas que fueron enviadas al laboratorio para conocer el valor inicial de las enzimas; posteriormente se inició la aplicación del test de *Tokmakidis* en 800 m planos y después se tomó la segunda muestra sanguínea. Este autor refiere un conjunto de ecuaciones de regresión de mínimos cuadrados que relacionan el VO_2 máx con las prestaciones de funcionamiento en distancias comprendidas entre 600 y 42,195 m; las cuales están compuestas por las regresiones lineales de creación del VO_2 máx (MET), puntos de rendimiento y velocidad media de la carrera (KMH) para varias distancias. Todo ello permite predecir el VO_2 máx y la resistencia sin conocimientos especiales y equipamiento.⁽²⁸⁾

Los métodos utilizados para la predicción de VO_2 máx son intercambiables, aparecen en el ANOVA y en la presentación gráfica de los resultados; a partir de ellos se obtuvo un elevado coeficiente de correlación ($r=0,916$) y un bajo porcentaje de error estándar de estimación ($SEE=4,6\%$) que confirman la validez de estos enfoques para predecir VO_2 máx y resistencia; por tanto, adoptan un carácter multipropósito y superan la limitación de una sola prueba al utilizar una observación para una aplicación.⁽²⁸⁾

El test se realizó bajo las mismas condiciones locativas, horarias-climáticas y con ecuaciones de regresión de mínimos cuadrados para la distancia de 800 m planos.

$$VO_2 \text{ máx. (ml/kg/min)} = [0,8964 + (0,81460 \times Km/h)] \times 3.5$$

Durante la prueba cada atleta debía recorrer una distancia de 800 m en el menor tiempo posible en una pista reglamentaria de atletismo. Al finalizar se registró el tiempo efectuado por cada uno. En la ecuación, el resultado en minutos fue pasado a segundos y se obtuvo la velocidad en m/seg; luego se pasó la velocidad a km/h y se multiplicó el anterior resultado por la constante de MET (3,5) y se despejó la ecuación en (ml/kg/min).⁽²⁹⁾

A esta prueba no se presentaron dos atletas de los grupos de control y experimental respectivamente. Se aplicaron los planes de intervención que repitieron un microciclo durante cuatro semanas: dos días por semana se tomaron muestras sanguíneas para observar los cambios de las enzimas CPK y LDH durante el entrenamiento. El microciclo terminó con la realización del test de *Tokmakidis* para hacer análisis comparativos. Se eliminó un tercer atleta perteneciente al grupo de control debido a que no se presentó a una de las prácticas.

El análisis de las muestras sanguíneas se realizó por el laboratorio clínico especializado "Martha Cecilia Perdomo"⁽³⁰⁾ certificado con Icontec ISO 9001:2015. Los instrumentos utilizados fueron elementos de protección personal, alcohol, torundas de algodón, tubos al vacío, agujas múltiples, lancetas, gradillas, guardián, marcador, curas pospunción, tensiómetro, zebra-stickers y marcador. Se realizaron tablas Excel con los resultados del plasma sanguíneo mediante procedimiento estándar.

Se usó el modelo estadístico ANOVA para la identificación de grupos, así como comparaciones entre ellos de forma puntual y a través del tiempo. La caracterización se realizó utilizando estadísticas descriptivas en las variables antropométricas, VO₂máx, CPK y LDH iniciales, las comparaciones se realizaron tanto intergrupo como intragrupo.

Para la comparación intergrupala se utilizaron pruebas T al inicio de la intervención, con las variables antropométricas VO₂máx, CPK, LDH y al final de la intervención con la variable VO₂máx. Para hacer la comparación intragrupo, se utilizó la prueba T para grupos pareados en la variable VO₂máx.

Las comparaciones de grupos a través del tiempo se realizaron con un diseño de medidas repetidas *Split-Plot* o también Análisis de perfiles, que se completó con las pruebas de suposición de *Huynh-Feldt* y la prueba de esfericidad de *Mauchly* en las variables CPK y LDH. Los datos se procesaron en el programa estadístico SPSS versión 23.

En cuanto a los aspectos éticos de la investigación, los datos de los deportistas fueron confidenciales. Ellos y sus padres firmaron el consentimiento informado y autorizaron voluntariamente la toma de muestras sanguíneas. Se aplicaron los protocolos y códigos éticos establecidos para la investigación en seres humanos recogidos por la Declaración de Helsinki y la Resolución 8430 de 1993 de Colombia.^(31,32)

Esta investigación fue aprobada por la Resolución 651 del 13 septiembre de 2018, emitida por el Concejo de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación de la Universidad del Cauca. El proyecto tuvo un director de investigación y dos pares evaluadores en el área del entrenamiento y fisiología. El proceso culminó con la sustentación y respectiva aprobación. Además el laboratorio también garantizó las condiciones de calidad éticas requeridas para el estudio.

Resultados

Se aplicaron pruebas de comparación de promedios para grupos independientes en las variables LDH y CPK, con el objetivo de analizarlas en dos tiempos específicos: inicial y final; observando que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ellos antes de la intervención (sig. LDH= 0,755; sig. CPK=0,309), al final, no se presentó diferencia significativa en LDH (sig.=0,161), pero si se observó en CPK en varianza (sig.=0,022) del orden del 97,8 %; que en promedio (sig.=0,088) representó los niveles alcanzados del 91,2 %.

Tabla1- Estadísticas descriptivas de LDH y CPK inicial y final por grupo

	Grupo	Inicial			Final		
		Media	DE	EE	Media	DE	EE
LDH	Experimental	336,00	25,03	8,34	331,33	22,83	7,61
	Control	330,25	47,41	16,76	310,13	35,80	12,66
CPK	Experimental	147,11	55,42	18,47	202,42	31,50	10,50
	Control	201,53	143,81	50,84	260,87	81,11	28,68

DE: desviación estándar; EE: error estándar.

En la toma 1 y 9, para la variable LDH y CPK, el grupo experimental tuvo una media superior; sin embargo, no existe una diferencia significativa con el grupo control. En cuanto

a la CPK el grupo experimental tiene un valor inferior, sin que esto represente contrastes entre los grupos (tabla 1).

Para la variable del VO₂máx se aplicaron pruebas T para contrastar los estados inicial y final en cada grupo y se encontraron diferencias significativas intragrupos (sig. Control= 0,002; sig. Exp.=0.000).

Tabla 2- Prueba de muestras relacionadas VO₂máx

	Grupo	Inicial			Final		
		Media	DE	EE	Media	DE	EE
LDH	Experimental	336,00	25,03	8,34	331,33	22,83	7,61
	Control	330,25	47,41	16,76	310,13	35,80	12,66
CPK	Experimental	147,11	55,42	18,47	202,42	31,50	10,50
	Control	201,53	143,81	50,84	260,87	81,11	28,68

DE: desviación estándar; EE: error estándar.

Para el análisis de LDH y CPK se desarrollaron seis sesiones intermedias. Se tomaron estadísticas descriptivas por grupo y total, lo que permitió observar la evolución durante el proceso. La desviación típica de LDH con respecto a la media del grupo experimental se mantuvo por debajo del promedio y permitió observar un mejor registro durante la intervención; a diferencia del grupo control que, con respecto a la media, se mantuvo por encima del promedio lo cual generó mayor dispersión en los datos (fig. 1).

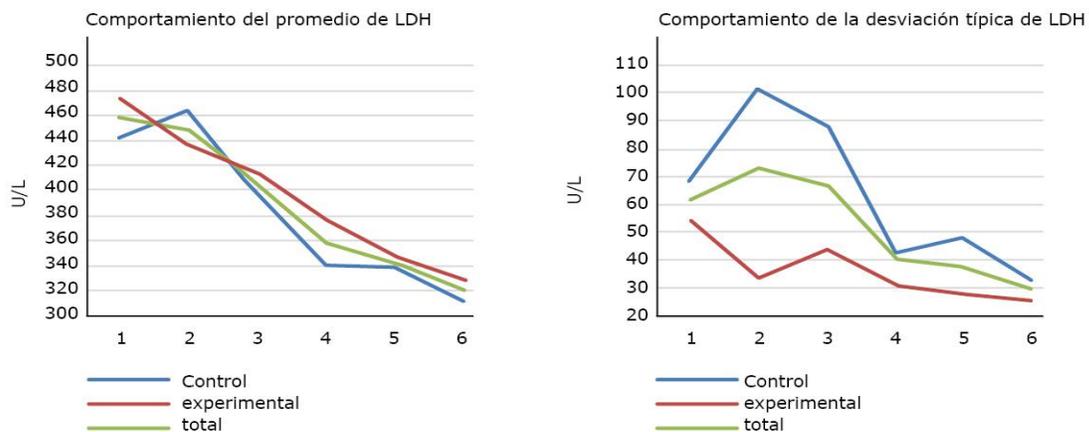


Fig. 1- Comportamiento de las medias y desviación típica de LDH.

La desviación típica de CPK respecto a la media y su promedio tuvieron una elevación proporcional a la duración e intensidad del trabajo, con mayor grado de dispersión para el grupo de control respecto al grupo experimental. De lo anterior se concluye que, aunque no hay significación estadística, sí se obtiene un mejor control de la enzima durante el proceso de entrenamiento para el grupo experimental (fig. 2).

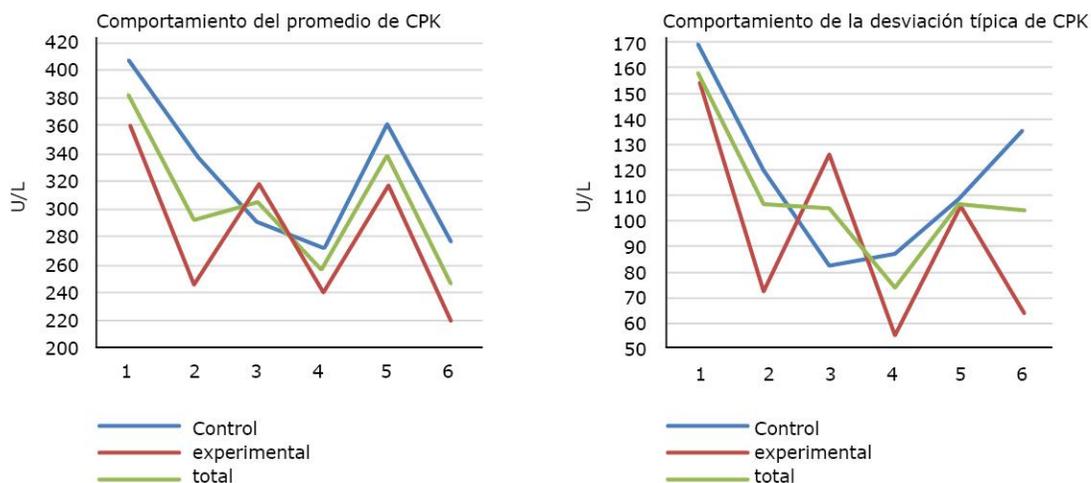


Fig. 2- Comportamiento intergrupos de medias y desviación típica de CPK.

Discusión

La creatinquinasa sérica y la lactodeshidrogenasa indican el grado de adaptación metabólica al entrenamiento físico de los músculos esqueléticos.⁽⁵⁾ Los datos estadísticos muestran que el grupo experimental obtuvo valores más constantes por semana que el grupo de control que presentó significancias de manera esporádica. Para el grupo experimental, el 84,1 % de la variación se explica con la intervención realizada, pero en el grupo de control solo el 63,8 % es explicado.

Varios estudios sobre la enzima LDH tienen un rango mínimo de 214,50 U/L y como rango máximo 499,50 U/L.⁽¹⁶⁾ Esta investigación para el grupo experimental obtuvo un promedio

inicial de 336 U/L y final 331 U/L; mientras que en el caso del grupo de control los valores fueron de 330 U/L inicial y 310 U/L final.

Igualmente se encontraron valores de normalidad en comparación con otros deportes y modalidades de la misma disciplina en diferentes pruebas que soportaron cargas afines. Por ello, podrían establecerse como límites de referencia los niveles de significancia estadística del 91,2 %, el límite superior de 260 U/L e inferior de 147 U/L de CPK para atletas de medio fondo de similares características a las del grupo de estudio; no obstante, para la LDH valores promedio de 321 U/L pueden ser un indicador de control regulado a partir del mismo tipo de ejercicios.

El monitoreo de LDH es importante en el estudio de la respuesta muscular al entrenamiento y podría aportar sobre la adaptación del músculo al trabajo físico. El monitoreo de CPK ayuda a identificar la recuperación muscular adecuada y patologías musculares subclínicas.⁽⁵⁾

Una de las limitaciones de los biomarcadores es la falta de valores de referencia en el análisis de CPK y LDH para deportistas y personas físicamente activas. Por tanto, es importante adaptar estos valores, siempre y cuando sea posible controlar regularmente a cada sujeto, con el fin de establecer una escala.⁽⁹⁾

Teniendo en cuenta que los estudios experimentales con corredores de medio fondo son escasos en el país y en especial en el departamento del Cauca, la teoría a contrastar se basó en investigaciones de otros deportes. Según varios autores, la enzima CPK en personas entrenadas es baja con un valor menor de 500 U/L, normal entre 500 y 2000 U/L y alta cuando se encuentra por encima de 2000 U/L. En este estudio, el valor promedio de la toma inicial de la CPK fue 147 U/L y el valor final fue 202 U/L para el grupo experimental. Los rangos del grupo de control tuvieron un valor inicial de 201 U/L y un valor final de 260 U/L.

No hubo diferencias significativas entre grupos con un intervalo de confianza del 95 %; sin embargo, se encontraron contrastes en varianza en un orden del 97,8 % (sig. 0,022) y en un nivel del 91,2 % (sig. 0,088). Este resultado demuestra que el comportamiento de la enzima para el grupo experimental y de control se mantuvo en los parámetros de coherencia,⁽¹¹⁾ clasificados en niveles bajos; asimismo la varianza entre grupos favorece el comportamiento del grupo experimental si se amplía el margen de error al 0,088.

Otros deportes cuyas demandas energéticas de entrenamiento se asemejan a la investigación registran valores de normalidad. Por ejemplo, el estudio de la selección Cundinamarca de patinaje presenta valores promedio para CPK en la primera toma de 258 U/L y en la segunda de 555 U/L, los cuales son catalogados como rangos bajos y normales. Cabe resaltar que en la misma disciplina de atletismo, pero en distintas modalidades a las pruebas de medio fondo, se han realizado estudios enzimáticos cuyo objetivo fue orientado al uso de esfuerzos anaeróbicos lácticos. Para el sexo masculino, los resultados en U/L de la CPK y la LDH fueron de 329,8 - 393,00 y 253,33 - 472,88 respectivamente.⁽¹⁶⁾

La enzima CPK registró valores pico con rangos de normalidad en comparación con otras disciplinas deportivas y otras modalidades del atletismo. Los ejercicios responden al principio de entrenamiento de individualidad y a la Ley de *schultz* o del umbral, que indica que cada sujeto tiene distinto nivel de excitación ante los estímulos que recibe.⁽³³⁾

Las adaptaciones de los atletas a las cargas de entrenamiento en el grupo experimental se hicieron evidentes, al mantenerse los marcadores enzimáticos en rangos normales con tendencia al descenso. No obstante, el método de entrenamiento aplicado (repeticiones medio), con un volumen de 6x300 m, generó picos altos en CPK sin alejarse de los valores de normalidad. Este método fue combinado con periodos de pausa y reposo para permitir equilibrar los procesos fisiológicos. Para muchos investigadores el aumento de CPK durante el entrenamiento depende de la intensidad y no del tipo de régimen.⁽⁶⁾

La influencia de los planes de entrenamiento en la capacidad aeróbica se analizó a partir del principio de especificidad. Este refiere que los efectos del ejercicio son específicos al sistema de energía, al grupo muscular y al tipo de movimiento articular.⁽¹⁾ En esta investigación el VO_2 máx no tuvo diferencias significativas intergrupos; sin embargo, presentó divergencias intragrupos (sig. = 0,002 Control) y (sig.=0.000 Experimental) y quedó visible que no siempre se cumple el principio de especificidad. La afirmación anterior coincide con los criterios de *Bacon* y colaboradores⁽¹⁴⁾ que plantean que el entrenamiento por intervalos produce mejoras en VO_2 máx ligeramente mayores que las típicamente reportadas en el entrenamiento continuo.

En el desarrollo de la investigación hubo diversas limitaciones: la falta de equipos de laboratorio portátil, no se contó con fuentes de financiación pública o privada y la población que practicaba la modalidad era limitada. En cambio gozó de varias fortalezas,

por ejemplo, los investigadores contaron con el apoyo de profesionales multidisciplinarios, se realizó un control estricto de las variables propuestas, las muestras fueron tomadas por un laboratorio especializado, se realizó un análisis estadístico riguroso y el control bioquímico permitió conocer los alcances de la planificación del entrenamiento planteado.

Se sugiere en próximas investigaciones con esta misma metodología, ampliar el periodo de intervención porque con más tiempo se hubiesen registrado valores estadísticamente significativos a nivel intergrupos. También se propone continuar con líneas de estudio vinculadas al control bioquímico del entrenamiento deportivo para facilitar la labor de los entrenadores durante la planificación y aplicación de las cargas.

Se rechaza la hipótesis de estudio, debido a que los cambios enzimáticos registrados en los deportistas fueron intrascendentes durante el seguimiento del entrenamiento anaeróbico láctico versus entrenamiento aeróbico. El entrenamiento anaeróbico láctico tuvo influencia en la capacidad aeróbica por lo que se acepta la hipótesis que sustenta esta información.

Se demostró que el principio de especificidad no siempre se cumple, un plan de entrenamiento anaeróbico láctico, con los métodos fraccionado y pliométrico, actuó sobre la capacidad aeróbica, por tanto, no es necesario realizar exclusivamente entrenamientos continuos para mejorar esta capacidad.

Los marcadores bioquímicos permitieron observar la respuesta metabólica del organismo, el comportamiento diferenciado y la adaptación durante la implementación del plan de entrenamiento por parte de los grupos de control y experimental.

Referencias bibliográficas

1. Bernal F, Peralta A, Gavotto H, Placencia L. Principios de entrenamiento deportivo para la mejora de las capacidades físicas. Biotecnia. 2014;16(3):42-9. DOI: <https://doi.org/10.18633/bt.v16i3.140>
2. Pascual M, Leyton M, Oriol J, Batista M. Monitorización de las cargas de entrenamiento en corredores de fondo y medio fondo de alto nivel. Rev Ed Motric e Inv. 2018 [acceso 08/02/2019];10:92-118. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10272/15292>
3. Calleja J. Control de la carga de entrenamiento pero más individualizada. Rev Port Ciênc Desp. 2017;2017:125-30. DOI: <http://doi.org/10.5628/rpcd.17.S1A.125>

4. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med.* 2007;41(10):674–8. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.034041>
5. Brancaccio P, Maffulli N, Buonauro R, Limongelli F. Serum enzyme monitoring in Sports Medicine. *Clin Sports Med.* 2008;27(1):1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csm.2007.09.005>
6. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine. *Adv clin chem.* 2012;56:1-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394317-0.00015-7>
7. Halson S. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med.* 2014;44(supl2):139-47. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs40279-014-0253-z>
8. Kryściak J, Podgórski T, Eichler A. Lactate concentration and creatine kinase activity after 110-m and 400-m hurdles races. *Trends Sport Sci.* 2015 [acceso 08/01/2019];4:22:179-184. Disponible en: [http://www.tss.awf.poznan.pl/files/2015/vol%204%20\(22\)%202015/Trends_2015_IV_s_17_9-184.pdf](http://www.tss.awf.poznan.pl/files/2015/vol%204%20(22)%202015/Trends_2015_IV_s_17_9-184.pdf)
9. Palacios G, Pedrero R, Palacios N, Maroto B, Aznar S, González M. Biomarcadores de la actividad física y del deporte. *Rev Esp Nutr Com.* 2015;21 Supl 1:235-242. DOI: <https://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.sup1.5070>
10. Alvarracin M, Peñafiel G. Determinación de CK total, CK-MB y LDH en los deportistas de 14 a 18 años de la Federación Deportiva del Cañar. *Red Repos Latin.* 2017 [acceso 12/01/2019] Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1135827>
11. Garay S, Briñez L. Indicadores bioquímicos y hematológicos en patinadores de selección Cundinamarca 2018 [Trabajo de Grado]. Bogotá, Colombia: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, 2018 [acceso 15/01/2019]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1736>
12. Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatinekinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2014 [acceso 06/02/2019];14(1):68-77. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24583542/>
13. Macedo A. Efeitos de atividade física intensa nos níveis séricos de creatina quinase, Il-6 E proteína C-reativa em atletas [Dissertação]. Goiânia, Brasil: Pontifícia Universidade

- Católica de Goiás, 2017 [acceso 05/11/2018]. Disponible en <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/handle/tede/3674>
14. Bacon AP, Carter RE, Ogle EA, Joyner MJ. VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. PLoS ONE. 2013;8(9):e73182. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>
15. Hall JA, Ochoa PY, Moncada J, Ocampo MA, Martínez I, Martínez MA. Reliability of the maximal oxygen uptake following two consecutive trials by indirect calorimetry. Nutr Hosp. 2015;31(4):1726-32. DOI: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.4.8487>
16. Méndez Álvarez MS. Valores de referencia hemáticos y bioquímicos en deportistas de tiempo y marca de la categoría prejuvenil de la Federación Deportiva del Azuay Cuenca-Ecuador 2013 [Tesis]. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2014 [acceso 8/01/2019]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/7681>
17. Wiewelhove T, Raeder C, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. PLoS ONE. 2015;10(10):e0139801. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139801>
18. López D, Tabares D. Determinación de Lactato Deshidrogenasa y su relación con la anemia ferropénica en mujeres de 20-45 años de edad. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2016 [acceso 8/01/2019]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23835>
19. Quijano A. Guía de Investigación Cuantitativa. Pasto, Colombia: IUCESMAG; 2009 [acceso 8/01/2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/93087679-Guia-de-investigacion-cuantitativa.html>
20. Méndez I, Namihira D, Moreno L, Sosa C. El protocolo de investigación. Lineamientos para su elaboración y análisis. México D.F, México: Editorial Trillas, SA; 1990 [acceso 06/02/2019]. Disponible en: <https://biblioteca.xoc.uam.mx/docs/tid/mendez.pdf>
21. Balluerka N, Vergara A. Diseños de investigación experimental en psicología. Madrid, España: Pearson; 2002 [acceso 8/01/2019]. Disponible en: <https://booksmedicos.org/tag/disenos-de-investigacion-experimental-en-psicologia-balluerka-vergara-pdf/>

22. D'ottavio G, Parodi R, Montero J, Egri N, Carlson D, Greca A. Creatinfosfoquinasa y su aplicación clínica. An Fund Dr. JR Villavicencio. 2008 [acceso 16/01/2019]; 16:156-9. Disponible en: http://www.villavicencio.org.ar/ALMACEN/archivos/publicaciones_00000000033.pdf
23. Morales A, Maciel R, Ferreira LA, Carneiro R, Souza L. Influência de uma sessão aguda do jogo de voleibol sobre os biomarcadores de lesão muscular. InterSciencePlace. 2015 [acceso 05/11/2018];1:56-69. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/INFLU%C3%8ANCIA-DE-UMA-SESS%C3%83O-AGUDA-DO-JOGO-DE-VOLEIBOL-Morales-Maciel/c6c7ad0fe1dfcae2b73b6faaae8ee11319283e82>
24. López J, López L. Fisiología clínica del ejercicio. Madrid, España: Médica Panamericana; 2008 [acceso 06 /02/2019]. Disponible en <https://www.medicapanamericana.com/es/libro/fisiologia-clinica-del-ejercicio>
25. Castillo I. Los métodos discontinuos y su efecto en indicadores fisiológicos y antropométricos en atletas universitarios de 800 metros planos [Tesis]. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2014 [acceso 16/02/2019]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/4150>
26. Nariño R, Alonso A, Hernández A. Antropometría. Análisis comparativo de las tecnologías para la captación de las dimensiones antropométricas. Rev EIA. 2016 [acceso 16/02/2019];13(26):47-59. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6178521>
27. Ramón J, Cabañas M, Herrero A. Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de Consenso del Grupo Español De Cineantropometría de la Federación Española de Medicina del Deporte. 2009 [acceso 05/11/2018]26(131):166-179. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3064531>
28. Tokmakidis S, Leger L, Mercier D, Péronnet F, Thibault G. New approaches to predict $\dot{V}O_2$ max and endurance from running performances. J Sports Med Phys Fitness. 1987 [acceso 16/02/2019] 27(4):401-9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3444324/>

29. Berdeal A. Test funcionales, cineantropometría y prescripción del entrenamiento en el deporte y la actividad física. Armenia, Colombia: Editorial Kinesis; 2010. Disponible en: <https://isbn.cloud/9789588269993/test-funcionales-cineantropometria-y-prescripcion-del-entrenamiento-en-el-deporte-y-la-actividad/>
30. Laboratorio clínico especializado Martha Cecilia Perdomo. Protocolo toma de muestras de sangre. Versión 8. 2018. Código PS-PC-11. p.1-12.
31. Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial-Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Washington, EE.UU; 2002. [acceso 09/01/2019]. Disponible en: <https://www.wma.net/es/policias-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
32. Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993 sobre Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en Salud. [acceso 05/11/2018]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.pdf>
33. Vinuesa M, Vinuesa I, Conceptos y métodos para el entrenamiento físico. La Paz, Bolivia: Ministerio de defensa; 2016 [acceso 12/01/2019]. Disponible en: https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/c/o/conceptos-y-m_todos-para-el-entrenamiento-f_sico.pdf

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos materiales, software, supervisión, validación, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición: Willian Gurrute.

Conceptualización, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos materiales, software, supervisión, validación, visualización, redacción-revisión y edición: Francisco Estupiñan.

Conceptualización, investigación, administración del proyecto, recursos materiales, software, supervisión, validación, visualización, redacción-revisión y edición: Iner Valencia.

Análisis formal, software: Yilton Riascos Forero.