

Efecto de la deshidratación sobre la concentración sérica del lactato, la frecuencia cardíaca y la percepción subjetiva del esfuerzo, durante un ejercicio submáximo de larga duración

Effect of dehydration on blood lactate, heart rate and subjective perception of force during long term sub-maximum exercise

María Patricia Arias G., Diana Patricia Díaz H.,
Juan Carlos Aristizabal R., Hilda Norha Jaramillo L.

Resumen

[1] Arias G., M.P., Díaz H., D. P., Aristizabal R., J.C., Jaramillo L., H.N. Efecto de la deshidratación sobre la concentración sérica del lactato, la frecuencia cardíaca y la percepción subjetiva del esfuerzo, durante un ejercicio submáximo de larga duración. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 10 (1): 35-40, 2002.

Objetivo: Establecer, en nueve atletas corredores de fondo, los efectos de la deshidratación, durante la realización de un ejercicio submáximo de larga duración $\frac{3}{4}$ al 80% de la capacidad física máxima de trabajo (PWCmax) y 90 minutos $\frac{3}{4}$ sobre la concentración sérica del lactato (L), la relación de éste con la frecuencia cardíaca (FC) y la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE).

Método: Después de diez minutos de calentamiento en banda rodante, con una pendiente del 1% y al 55% de la PWCmax, siguieron 90 minutos de carrera, en seis intervalos, al 80% de la PWCmax; finalmente, 90 minutos de recuperación pasiva. No se hizo reposición hídrica durante el procedimiento DH (deshidratado); durante RH (rehidratado) se repuso el 51% del peso corporal perdido en DH.

Resultados: durante la actividad física, en individuos deshidratados, se observó que la concentración sérica del L no varió; la FC incrementó significativamente a partir del minuto 30, y la RPE aumentó a partir del minuto 45. Con la reposición parcial de las pérdidas hídricas, el comportamiento del L no se modificó; el incremento de la FC fue posterior y significativamente menor en los minutos 75 y 90 de la etapa de ejercicio; también fue posterior el incremento de la RPE

Conclusiones: Durante la realización de un ejercicio de intensidad submáxima constante de larga duración (80% de la PWCmax y 90 minutos), por corredores de fondo, con reposición hídrica y sin ella, bajo condiciones ambientales neutras, la concentración sérica del L se mantuvo constante y se correlacionó con la FC y con la RPE; esta última incrementó proporcionalmente con la duración del ejercicio. El estado de hidratación no modificó el comportamiento del L ni el de la RPE, pero sí el de la FC.

PALABRAS-CLAVE: ejercicio submáximo, percepción subjetiva del esfuerzo, lactato, frecuencia cardíaca.

Integrantes del Grupo de Fisiología del Ejercicio. Indeportes Antioquia, Universidad de Antioquia

Esta investigación fue realizada con el auspicio del Comité para el Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Antioquia (CODI) e Indeportes Antioquia.

Envío de correspondencia a: María Patricia Arias G.
Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia
AA 1226. Medellín. Teléfonos: (094)5106030, (094)5106038, (094)4259133; fax: 2620253. E-mail: ariass@uole.com

Introducción

El lactato (L) se forma por la hidrogenación del piruvato cuando éste no ha sido entregado, oxidado, al ciclo del ácido cítrico. Entre ambos, lactato y piruvato, se establece el equilibrio por medio de la deshidrogenasa láctica (9). Según la ley de acción de masas, el piruvato tiende a acumularse cuando la degradación de la glucosa, o del glucógeno, es intensa; cuando la velocidad de las reacciones del ciclo del ácido cítrico es más lenta que la de la glucólisis, y la actividad de la deshidrogenasa es elevada; el lactato aparece, entonces, como un metabolito intermediario de la glucólisis en equilibrio (11).

En condiciones de reposo se forma una pequeña cantidad de L, por lo que su valor es, en promedio, 0,9 mmol/l (7). Los músculos en reposo y diversos tejidos como la piel, los elementos formes de la sangre y la médula renal, contribuyen a esta cifra. Bajo situaciones de carga psíquica este valor, de reposo, se puede triplicar; se ha argumentado que la liberación de catecolaminas, que incrementan la glucólisis y la glucogenólisis, es la responsable de ello (7-9).

El comportamiento de la concentración sérica del lactato es modificado por la actividad física; es así como, durante la realización de un ejercicio la concentración sérica del L depende, en primera instancia, de la intensidad de la carga de trabajo y, en segunda, de la duración de la misma (6,16). Después de 20 a 30 minutos de finalizada la carga de trabajo el L regresa a los valores de reposo.

Su depuración está garantizada, bien sea por su transformación en glucosa-glucógeno (ciclo de Cori) o por su retransformación en piruvato y oxidación muscular. Es excretado por sudor, heces y orina.

El entrenamiento modifica el comportamiento del L; durante la realización de una actividad física, para algunos autores, aumenta sólo su depuración; para otros, disminuye su producción y concomitantemente aumenta su depuración (16,17).

También modifican el comportamiento del L, durante la realización de una actividad física, la disponibilidad de los substratos; el incremento de la glicemia y de la insulinemia que activan la glucólisis y, por ende, aumentan la lactoacidemia (lactemia). Por el contrario, una mayor disponibilidad de ácidos grasos libres permite su oxidación y, en consecuencia, la producción de lactato es menor (9,16,17).

Ahora bien, durante la realización de una actividad física, de carga submáxima y de larga duración, por corredores de fondo entrenados, la concentración sérica del L incrementa poco; luego de una hora de ejercicio los valores del L son inferiores a 4mmol/L. Se argumenta que el aumento del consumo de oxígeno contribuye a la mayor extracción del L (9,16,17).

Existe una alta correlación entre la FC, el consumo de oxígeno y la intensidad a la cual se realiza el ejercicio (13), lo que ha hecho de la evaluación de la FC, durante la realización de una actividad física, un método de fácil

medición y confiable que determina, de manera indirecta, la intensidad de trabajo. El incremento de la actividad simpática durante el ejercicio es el responsable del aumento de la FC; al inicio del ejercicio la hiperactividad simpática se debe a los estímulos procedentes de la corteza motora y se mantiene por los estímulos procedentes de los osmorreceptores, centrales y periféricos, que captan los cambios del pH y de la PCO_2 . Se acepta que el incremento del ácido láctico altera éstos valores, como ya se dijo, estimula el sistema simpático y, en consecuencia, se observa incremento de la FC (1).

Se ha encontrado una alta correlación entre la FC y la concentración sérica del L (12); sin embargo, llama la atención la poca bibliografía sobre dicha correlación, en atletas corredores de fondo que realizan una actividad física de larga duración a intensidad submáxima constante, con hidratación o sin ella.

La RPE es considerada como un parámetro fisiológico que indica el grado de estrés físico y proporciona, durante la realización de una actividad física, información indirecta sobre la capacidad física de trabajo (PWC), la eficiencia de los sistemas metabólicos, cardiovascular y respiratorio (1).

La RPE es modificada por el tipo, la intensidad y la duración del ejercicio; el entrenamiento, el estado de hidratación y; la temperatura y la humedad ambientales. Se ha observado que la realización de una actividad física intensa produce un estrés físico mayor. Se ha descrito que el esfuerzo percibido por atletas con entrenamiento de resistencia es menor que el de individuos no entrenados, dado que los primeros poseen una mayor resistencia a la fatiga y adaptaciones fisiológicas que les permiten compensar rápidamente el estrés físico (14).

La deshidratación previa a la realización de una actividad física aumenta la RPE (2); pero son pocos los estudios realizados sobre los efectos de la deshidratación durante la actividad física sobre la RPE. Finalmente, las condiciones ambientales extremas (temperatura por debajo de 15 o por encima de 45°C) limitan la disipación del calor producido por la actividad muscular, lo que incrementa la RPE.

Se ha encontrado una correlación de la RPE con el L durante la realización de una actividad física; ambas incrementan proporcionalmente con la intensidad del ejercicio (6). Llama la atención, de nuevo, el poco número de trabajos que correlacionen la RPE, el L y la FC en corredores de fondo que realizan una actividad física submáxima de intensidad constante, bajo condiciones ambientales neutras.

El objetivo de la presente investigación fue conocer el comportamiento de la concentración sérica del L y su relación con la FC y la RPE, en atletas corredores de fondo, con reposición hídrica y sin ella, cuando realizan un ejercicio submáximo de intensidad constante, de larga duración, bajo condiciones ambientales neutras.

Material y método

Población

Se estudiaron nueve hombres, con promedios de edad de 23,9 años ($DE \pm 5,0$), de peso de 64,4 Kg ($DE \pm 7,2$) y de altura de 173,3 cm ($DE \pm 5,4$), corredores de fondo, quienes fueron informados del protocolo por seguir y dieron su consentimiento escrito. Tres semanas antes de la fase experimental se les ordenó la prescripción dietética para todo el tiempo de estudio.

Protocolo experimental

Se realizó en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de Deportes Antioquia, situado en Medellín, a 1560m sobre el nivel del mar, con un promedio de temperatura de 23,3°C ($SEM 3,8$), una humedad relativa ambiental de 59,5% ($SEM 0,5$) y una presión barométrica de 674 mm de Hg.

La PWCmax se determinó mediante la aplicación de una prueba máxima, de carga ascendente, en banda rodante (Quinton 1845), con una pendiente constante del 1%, a una velocidad inicial de 2,01 m/s, con incrementos de 0,44 m/s cada cinco minutos, hasta la fatiga total. La FC fue registrada, cada minuto, con un pulsómetro (Polar Vantage XL). La velocidad de carrera equivalente al 80% de la PWCmax se calculó, para cada deportista, mediante el método de Karvonen (10).

Cuatro semanas más tarde el atleta llegó al laboratorio a las 7:30 a.m. después de un desayuno normal ingerido una hora antes; el deportista fue pesado desnudo y luego se puso una pantaloneta y unos zapatos apropiados para la carrera.

El atleta permaneció en posición de decúbito dorsal hasta alcanzar su FC basal (Etapa C_0). El lóbulo de la oreja fue hiperhemizado (Finalgon Salbe Thomae) y por punción se obtuvieron 20 ml de sangre para la determinación del L.

La etapa C_1 , de diez minutos de duración, consistió en una carrera de calentamiento, sobre la banda rodante, con una pendiente del 1%. El protocolo fue diseñado de tal manera que la velocidad inicial y sus dos incrementos posteriores, en los minutos tres y seis, no ocasionaran un aumento de la FC mayor de 130 pulsaciones por minuto ni sobrepasaran el 55% de la PWCmax.

La etapa anterior fue seguida de una carrera, sobre la banda rodante, de 90 minutos de duración, realizada en seis intervalos de 15 minutos cada uno (E_1 - E_6). La pendiente inicial, del 1%, se mantuvo y la velocidad de carrera correspondiente al 80% de la PWCmax de cada individuo, fue constante. Al finalizar el minuto 90 el atleta abandonó la banda rodante y luego de ducharse y secarse se le pesó desnudo.

Al final del calentamiento y de cada etapa del ejercicio se midió la RPE mediante la escala de Borg (3) y se tomaron las muestras de sangre para la dosificación del

L, el tiempo empleado para ello no fue superior a los dos minutos.

Durante la etapa de recuperación (R) el atleta reposó sobre una camilla, en posición de decúbito dorsal, por espacio de 90 minutos; se tomaron muestras de sangre cada 30 minutos, R_1 - R_3 . Al finalizar, al atleta se le hizo un registro final de su peso. Durante todo el procedimiento descrito al atleta no se le suministraron líquidos (deshidratado, DH).

Cuatro semanas más tarde se repitió el mismo protocolo; pero en esta ocasión al atleta se le suministró, desde el inicio de la fase E_1 hasta la E_6 , un volumen promedio de agua corriente de 1387ml, a temperatura ambiente, el cual ingirió ad-libitum (rehidratado, RH).

Medición de las variables

La FC fue registrada, minuto a minuto, con el pulsómetro y a partir de ella se calculó la PWC correspondiente a cada minuto de carrera. La concentración sérica de lactato se determinó por el método enzimático (Ref 1178750, Boehringer Mannheim), el coeficiente de variación intraensayo fue del 2,9% y el interensayo del 8,6%. Las mediciones se efectuaron por duplicado. La percepción subjetiva del esfuerzo se midió mediante la escala de Borg, que califica de 6 a 20 la intensidad del esfuerzo percibido.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante el programa estadístico STATISTICA 5.1 (StatSoft Inc.). Se estableció la normalidad de los datos y se aplicó un ANOVA de mediciones repetidas y una evaluación post-hoc mediante la prueba de Newman-Keuls. Para el análisis de la regresión lineal y el coeficiente de asociación se aplicó el método de Pearson; La significancia estadística se fijó en $p < 0,05$.

Resultados

En la figura 1 se observa la variación de la concentración sérica del L durante el ejercicio; no hubo variación significativa en ninguno de los dos procedimientos. Al aplicar un ANOVA de dos vías no se encontró diferencia entre los dos procedimientos, ni interacción tiempo-tratamiento.

En la figura 2 se observa el comportamiento de la FC durante el ejercicio. En DH se presentó un incremento significativo ($p < 0,05$) a partir de E_2 ; en RH el incremento significativo ($p < 0,01$) se observó a partir de E_3 . Al aplicar un ANOVA de dos vías se encontró diferencia significativa entre los dos procedimientos sólo al final del ejercicio, E_5 - E_6 .

En la figura 3 se observa el comportamiento de la RPE durante el ejercicio. En DH hubo un incremento significativo ($p < 0,05$) a partir de E_3 y en RH a partir de E_4 ($p < 0,05$). Al aplicar un ANOVA de dos vías sólo hubo diferencia significativa ($p < 0,0001$) con respecto al tiempo.

El análisis de la correlación lineal entre la concentración plasmática de L y las variables estudiadas durante el ejercicio se observa en la tabla 1. En el grupo DH las correlaciones encontradas de L con RPE y FC fueron mayores que en el grupo RH.

Discusión

En el presente trabajo se observó como durante la realización de un ejercicio submáximo de larga duración e intensidad constante, por corredores de fondo, la concentración sérica del L no varió, significativamente, durante el ejercicio ni con la reposición de las pérdidas hídricas. Esto se debe, posiblemente, a que es la intensidad del trabajo realizado el factor que determina la producción del L y a que en los atletas con entrenamiento de resistencia se incrementa la utilización del piruvato, debido al aumento en el número de mitocondrias, a la mayor actividad de las enzimas tanto del ciclo de Krebs como las del sistema de transporte de electrones. Además, la depuración del L es mayor, pues es utilizado como sustrato energético, entre otras, por las fibras aeróbicas tipo I y las cardíacas (6,9,18).

Ahora bien, el estado de hidratación no modificó el comportamiento del L, posiblemente porque en ambos grupos la reducción porcentual del volumen plasmático fue similar (4) y por ende el aporte de oxígeno y de los sustratos energéticos.

Se observó un incremento, estadísticamente significativo, de la FC durante el ejercicio, tanto en DH como en RH; sin embargo, cuando no se suministraron líquidos este aumento fue más temprano y de mayor magnitud. Lo anterior sugiere que para la realización de una actividad física submáxima, de intensidad constante y de larga duración y sin hidratación la exigencia al sistema cardiovascular es mayor cuando se desea mantener la intensidad del trabajo; en caso contrario, se disminuye la capacidad física de trabajo, como ha sido previamente demostrado (5).

Se observó, además, una alta correlación entre la FC y la concentración sérica del L, debido, probablemente, a que ambos factores son el reflejo del aumento de la demanda metabólica durante el ejercicio; por un lado, el sistema cardiovascular asegura el suministro adecuado de sustratos necesarios para la obtención de la energía

requerida para la contracción muscular. Por otro lado, el lactato es un indicador del incremento de la glucólisis, etapa inicial de las reacciones metabólicas implicadas.

La percepción subjetiva del esfuerzo incrementó, en ambos procedimientos, proporcionalmente con la duración del ejercicio, aunque más temprano en individuos deshidratados. Sin embargo, el comportamiento de esta variable fue independiente del estado de hidratación; la reposición hídrica no disminuyó, significativamente, la fatiga percibida durante el ejercicio cuando se mantuvo constante, como en la presente investigación, la intensidad de trabajo. El esfuerzo percibido, como era de esperar, alcanzó los valores máximos hacia el final del ejercicio ya que con el transcurso del tiempo, la disminución de las reservas energéticas, el aumento de la temperatura corporal y de la FC, se limita la capacidad del individuo para mantener por más tiempo la intensidad del ejercicio.

Se ha informado que la deshidratación previa a la realización de una actividad física aumenta la RPE (3); pero son pocos los estudios que evalúan la deshidratación y la RPE durante el ejercicio. En la presente investigación, la hidratación parcial no modificó la RPE porque, posiblemente, el grado de deshidratación no fue suficiente para afectar esta variable; lo anterior, podría explicar el porque los atletas rehusan tomar líquidos durante las competencias deportivas, pues el esfuerzo percibido no aumenta y se evitan, en cambio, las molestias ocasionadas.

Aunque el L no varió, significativamente, ni modificó su comportamiento con el estado de hidratación, posiblemente fue la variación de la RPE la que determinó la correlación observada entre las dos variables, siendo mayor en el grupo DH.

En conclusión, durante la realización de un ejercicio submáximo de intensidad constante y de larga duración, bajo condiciones ambientales neutras, por atletas corredores de fondo, con reposición hídrica y sin ella, la concentración sérica del lactato no varió significativamente y se correlacionó con la frecuencia cardíaca y con la percepción subjetiva del esfuerzo. El estado de hidratación no modificó el comportamiento del lactato, ni la percepción subjetiva del esfuerzo, pero sí el comportamiento de la frecuencia cardíaca; lo que indica, al parecer, que la hidratación, aun parcial, mejora el desempeño deportivo.

TABLA 1: Correlación del lactato con las variables en estudio

	LACTATO			
	DH		RH	
	r	p	r	p
RPE	0,90	<0, 01	0,62	<0, 01
FC	0,89	<0, 05	0,75	<0, 05

n= 7; DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica. Se cruzaron los valores promedios, durante el ejercicio, de las variables en estudio.

FIGURA 1: Variación de la concentración plasmática del lactato en cada uno de los procedimientos aplicados. ANOVA de una vía (n=9: DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica).

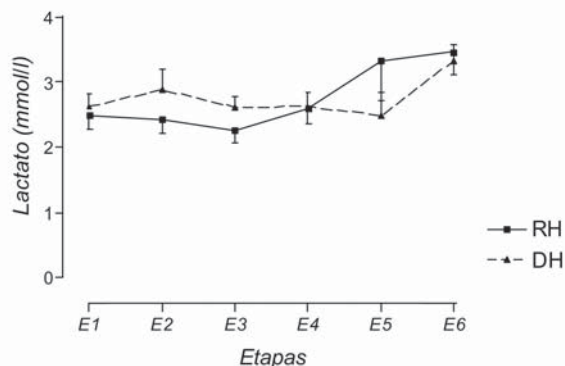


FIGURA 2: Variación de la frecuencia cardiaca en cada uno de los procedimientos aplicados. ANOVA de una vía (n=9: DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica; *: variación intraprocedimiento, °: variación interprocedimiento).

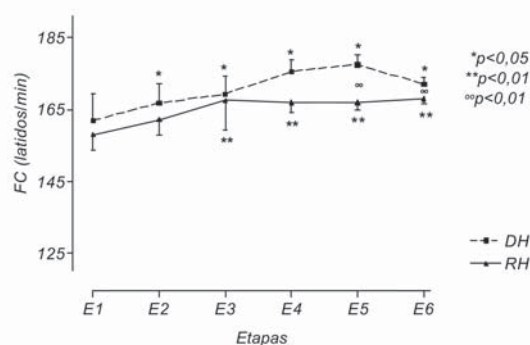
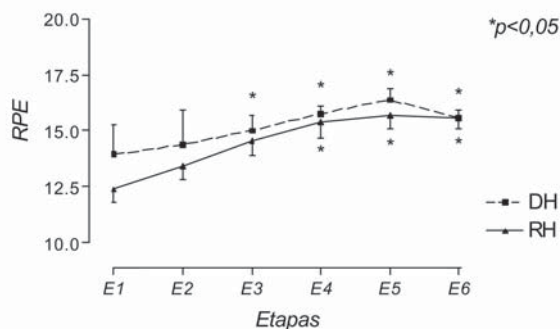


FIGURA 3: Variación de la percepción subjetiva del esfuerzo en cada uno de los procedimientos aplicados. ANOVA de una vía (n=9: DH: sin reposición hídrica, RH: con reposición hídrica; *: variación intraprocedimiento).



Bibliografía

1. ASTRAND PO y RODAHLK K. *Fisiología del trabajo físico*. Ed Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 1992: 338-421.
2. BERGHU, DANIELSSON U, WENNBERG J AND SJODIN B. *Blood lactate and perceived exertion during heat stress*. Acta Physiol Scand. 1986; 126: 617-618.
3. BORG G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand Work Environ Health*. 1990; 16 (1):55-8.
4. CALDAS R, JARAMILLO HN, ORTÍZ A. Influencia del estado de hidratación sobre la capacidad física de trabajo y sobre la recuperación en atletas corredores de fondo. *Acta Med Colomb*. 1997; 22:132-139.
5. CALDAS R, JARAMILLO HN, ORTÍZ A. Influencia del estado de hidratación sobre la capacidad física de trabajo y las variables urinarias y plasmáticas en corredores de larga distancia. *Rev antioqueña - med deport y cienc apl deport-act fís*. 1998; 1(1):16-25.
6. FERRY A, DUVALLET A AND RIEU M. The effect of experimental protocol on the relationship between blood lactate and workload. *J Sports Med*. 1998; 28:341-347.
7. FRIEDMUND H. Ajustes al trabajo muscular. *En sistema muscular y deporte. (Convenio colombo-alemán de educación física, deporte y recreación)*, Tomo3. Ed. Copiservicio. Medellín. 1980. p111-114.
8. GANONG WF. *Review medical physiology*. 18ª ed. Appleton & Lange. Stamford, EUA. 1997.
9. GREENHALF, PL, HULTMAN, E y HARRIS RC. Carbohydrate metabolism. En POORTMANS JR. *Principles of exercise biochemistry*, 2nd ed.
10. KARVONEN J y VUORIMAAAT. Heart rate and exercise intensity during sports. *Sports med*. 1988; 5: 303-312.
11. LÓPEZ, J. y FERNÁNDEZ, A. Metabolismo y utilización de los substratos durante el ejercicio. En: LOPEZ, J. *Fisiología del ejercicio*. 2 ed. Panamericana, Madrid, España, 1998, p. 11-46.
12. LÓPEZ, J. y FERNÁNDEZ, A. Efectos Fisiológicos del Entrenamiento. En: LÓPEZ, J. *Fisiología del ejercicio*, 2 ed. Panamericana. Madrid, España, 1998, p. 266-267
13. LÓPEZ, J. Respuestas y adaptaciones cardiovasculares con el ejercicio. En: LÓPEZ, J, FERNÁNDEZ, A. *Fisiología del ejercicio*. 2ª ed, Panamericana, Madrid. España, 1998, p. 133-150.

14. LÓPEZ, J y FERNÁNDEZ, A. Otros parámetros ergométricos. En: LÓPEZ J, FERNÁNDEZ A. *Fisiología del ejercicio*. 2ª ed, Panamericana, Madrid, 1998, p. 271-276.
15. MOREAU KL., WHALEY MH AND ROSS JH. The effects of blood lactate concentration on perception of effort during graded and steady state treadmill exercise. *Int J Sports Med*. 1999; 20: 269-274.
16. RIEU M. Lactoacidemia y ejercicio muscular. *Science and sport*. El Sevier, Paris. 1986. p. 1-23.
17. SERRATO M. El intermediario metabólico de los estados hipermetabólicos. *Rev antioqueña - med deport cienc apl deport- act fís*. Memorias. V2,s1. 1999. p. 63-66.
18. SMITH E, SKELTON M, KREMER D, PAASCOE D. Lactate distribution in the blood during steady state exercise. *Med. science. Sports exerc*. 1998; 30 (9); 1424-1429.

Nota do Editor

[1] Arias G., M.P., Diaz H., D. P., Aristizabal R., J.C., Jaramillo L., H.N. Efecto de la deshidratación sobre la concentración sérica del lactato, la frecuencia cardíaca y la percepción subjetiva del esfuerzo, durante un ejercicio submáximo de larga duración. *Rev. Bras. Ciên. e Mov*. 10 (1): 35-40, 2002. Este artigo foi publicado na RBCM 9(4) : 41-46, 2001 apenas na versão em Português. Agora editamos a versão em Espanhol que deveria ter sido impressa simultaneamente naquela ocasião.