

Influencia de la deshidratación aguda sobre el comportamiento de la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno, el lactato sanguíneo y el peso corporal en corredores de fondo

*Rafael Caldas Z.**

Abstract

With the purpose to determine differences among the heart rate (HR), plasmatic lactate (LAC) and oxygen consumption (VO₂) during a period of 90 minutes of running on a motorized treadmill (Quinton 1486) at 9,5 mph of speed and 1 % constant slope under conditions of hydration (H YD) and dehydration (DH YD), seven long distance male runners were studied. The laboratory conditions were 25 Celsius degrees, 65 % relative humidity and 1500 m above sea level. Each athlete were weighted at the beginning and at the finish of the running period. The first trial was made without drinking any kind of beverage and the second trial, seven days later, was made by drinking 150 ml of water each 15 minutes. Blood samples were withdrawn from the earlobe to determine LAC and the HR and VO₂

(Ergoovoxscreen Jaeger) were registered simultaneously. The results indicated a significative difference between HYD and NHYD treatments specially in LAC and HR. These parameters were higher in NHYD in a progressive way approximately increasing from minute 30. VO₂ did not change significatively. Body weight deficit were higher in NHYD

* Biólogo. División de medicina deportiva, Coldeportes Antioquia. Catedrático del Instituto de educación física y de la Facultad de medicina de la Universidad de Antioquia.

ranging from 1,7 to 3,9 % and HYD registered a lower déficit (0,5 to 2,4 %). The variation coefficients indicated a wide individual variation confirming previous reponed results. Also a negative influence of dehydration status on physical performance is demonstrated but depending on a wide range on individual variations.

Introducción

Las carreras de larga distancia o de fondo son actividades físicas en donde se presenta una alta generación de calor como producto del intenso metabolismo que los músculos deben desarrollar para mantener su actividad contráctil durante el tiempo que sean requeridos.^{1,2} Para la disipación del calor generado se utilizan varios mecanismos, entre ellos: la radiación, la conducción, la convección y la evaporación del sudor sobre la piel del atleta.³ Este último mecanismo de refrigeración adquiere una importancia crucial cuando la temperatura ambiental y/o la generación de calor por el organismo son elevadas.^{3,4} El agua utilizada en forma de sudor para la termorregulación proviene de los diferentes compartimentos hídricos del organismo, de modo que, al recurrirse a este mecanismo de control de la temperatura, se provocará un déficit hídrico y una serie de desajustes del normal equilibrio orgánico.³

Diversas investigaciones han explorado el alcance de los desajustes orgánicos provocados por el estado de deshidratación como producto de la pérdida de líquidos utilizados en forma de sudor para la termorregulación. Se han descrito variaciones del comportamiento cardiovascular,^{1,5-8} ventilatorio,² metabólico,^{1,2,4,9,10} hormonal^{1,3,11,12} y de percepción del esfuerzo,¹³ durante la realización de actividad física, ya sea por estado de previa deshidratación,^{1,2,5} o por déficit hídrico provocado durante el ejercicio mismo.

El propósito de la presente investigación es describir las variaciones de la frecuencia cardíaca, del consumo de oxígeno y del lactato sanguíneo, así como las del peso corporal, durante una serie de carreras continuas de 90 minutos de duración, realizadas bajo condiciones controladas de laboratorio, en un grupo de corredores de fondo, como un intento de explorar y determinar las consecuencias funcionales de realizar actividad física bajo condiciones de reposición y de no reposición de líquidos.

Materiales y métodos

Población. Se estudiaron siete atletas hombres corredores de pruebas de larga distancia (3 a 42 km). Las características físicas de edad, estatura, peso, porcentaje de grasa y máximo consumo de oxígeno (VO₂ max) se indican en la tabla 1. Cada deportista tenía una amplia

experiencia competitiva a nivel nacional y cuatro de ellos ya habían competido a nivel internacional. Los individuos fueron informados de las características del experimento y se obtuvo su consentimiento escrito para su participación.

Tabla 1 Características físicas y VO₂ max de la población estudiada (N = 7)

Atleta	Edad (años)	Estatura (cm)	Peso (kg)	% grasa (ml/kg/min)	VO ₂ max
1	29	174	66,6	9,7	69,6
2	18	159	49,4	9,0	70,2
3	22	164	55,6	8,7	71,2
4	23	169	56,6	9,1	63,3
5	28	169	53,9	9,9	65,3
6	30	167	59,0	9,0	70,3
7	34	166	57,2	9,4	68,2

X =	26,3	166,8	57,0	9,2	68,3
DS=	5,1	4,3	4,9	0,4	2,8
CV=	19,3	2,5	8,5	4,4	4,1

(X= promedio; ds= desviación estándar; cv= coeficiente de variación)

Métodos. Las evaluaciones fueron realizadas en un laboratorio localizado a 1500 m de altura sobre el nivel del mar, con condiciones ambientales de 25 grados celsius y 65% de humedad relativa controladas según los estándares del *U.S. Weather Bureau*. Cada evaluación se realizó en horas matutinas similares a las acostumbradas por los atletas para sus entrenamientos y bajo sus condiciones nutricionales normales. Previamente se había realizado la determinación del máximo consumo de oxígeno (VO₂ max) de cada sujeto mediante el protocolo III descrito por Kindermann y col.14

El deportista llegaba al laboratorio luego de haber tomado su desayuno al menos una hora antes, realizaba un vaciamiento vesical y era pesado inicialmente (*pi*) en pantaloneta en una báscula clínica (Continental Scale) con precisión de 0,1 kg. Luego del pesaje, el deportista reposaba en decúbito dorsal sobre una camilla, donde se le adosaban tres electrodos en derivación electrocardiográfica CM-5 y se registraba su frecuencia cardiaca en reposo. Posteriormente, se ubicaba al lado de la banda rodante (Quinton Treadmill 1845) donde se le fijaba una máscara de baja resistencia y de doble vía a la región nasobucal. La máscara estaba comunicada mediante una tubuladura a un sistema analizador de gases respiratorios (Ergo-oxiscreen Jaeger, Wursburg). El individuo permanecía sentado durante cinco minutos y luego se monitorizaba el electrocardiograma mediante un osciloscopio electrocardiográfico (Hellige) y se determinaba el consumo de oxígeno (VO_2) y la frecuencia cardiaca (*fe*). La determinación del lactato sanguíneo (*lac*) se efectuaba tomando muestras de 20 microlitros, cada una del lóbulo hiperhemizado de la oreja para su posterior análisis (micrométodo enzimático Boehringer Ingelheim).

Al finalizar el periodo de reposo, el atleta iniciaba la carrera sobre la banda rodante con un calentamiento de 10 minutos ejecutado a una *fe* inferior a 130 pulsaciones por minuto y luego se incrementaba la velocidad de la banda rodante a 15,28 km/h (9,5 mph) durante otros 80 minutos para completar una fase total de ejercicio de 90 minutos. La pendiente de la banda se mantenía constante a un nivel de inclinación del 1 %. Cada 15 minutos se registraban los valores de la *fe* y del VO_2 correspondientes. La muestra de *lac* se tomaba inmediatamente se disminuía la velocidad de la banda a un nivel en que el deportista pudiera caminar y por un lapso no mayor de 20 segundos para retornar de inmediato a la velocidad original de carrera. Durante todo el transcurso de la carrera el atleta no recibía ningún tipo de hidratación (*Nohidr*). Al finalizar el periodo de 90 minutos de carrera, el deportista descendía de la banda rodante y secaba su cuerpo con toallas de papel. Caminaba suavemente durante cinco minutos para luego ser pesado con el fin de obtener su peso final (*pf*) y así calcular el peso perdido durante la carrera.

Siete días después y a la misma hora, el deportista repetía el procedimiento anterior bajo las condiciones descritas pero con la diferencia de que cada 15 minutos (en el momento de realizar los registros), el individuo se hidrataba (*conhidr*) con 150 ml de agua pura comercial, Agua Cristal Postobón. Para esto se aflojaba parcialmente la máscara y aspiraba el líquido contenido en un vaso desechable mediante un pitillo. Luego la máscara se volvía a ajustar y continuaba su actividad física normal.

Tratamiento de datos. Los datos obtenidos fueron evaluados inicialmente para determinar su normalidad y se describen como promedio/desviación estándar. El nivel de significancia se estableció al 5 % y se determinó mediante una test pareado de Student. Se realizó un

análisis para determinar la presencia de asociación o de correlación entre las variaciones de *fe*, VO₂ y *lac* con la variación del peso (diff.p) en cada uno de los tratamientos aplicados.

Resultados y discusión

Las variaciones del comportamiento de *fe*, VO₂ y *lac* se describen en la tabla 2 y se esquematizan en la figura 1, como promedios grupales. Se observa que las curvas de *fe* y *lac* correspondientes al tratamiento *nohidr* son superiores y se alejan progresivamente de las correspondientes curvas del tratamiento *conhidr*. Se presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) a partir del minuto 30 de carrera para las dos variables al comparar los tratamientos aplicados. De otro lado, el VO₂ no presenta diferencias significativas en ninguno de los periodos de registro.

Figura 1 Comportamiento de la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno y el lactato sanguíneo en corredores de fondo en estados de hipohidratación y euhidratación en carrera continua por 90 minutos a 9,5 mph (15,2 kmh). (Círculo: promedio; barra: desviación estándar)

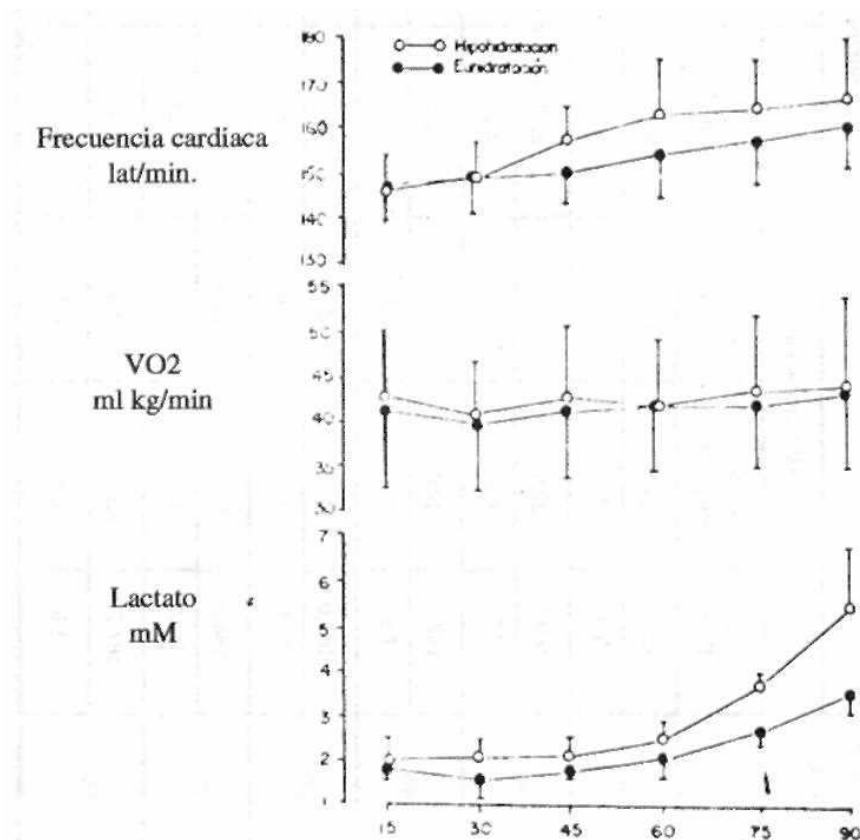


tabla 2 Resultados grupales de la frecuencia cardiaca, consumo de oxígeno y lactato plasmático obtenidos en los tratamientos aplicados (promedio / desviación estándar)

Tiempo (min)	Tratamientos							
	sin hidratación				con hidratación			
	Fc ppm	V02 ml/kg/min	% V02 max	Lac mmol/l	Fc ppm	V02 ml/kg/min	% V02 max	Lac mmol/l
15	146,7	40,8	65,1	2,11	147,5	43,1	64,3	1,93
	6,3	7,0	3,2	0,28	6,3	8,7	3,6	0,19
30	149,8	39,5	58,4	2,17	149,7	41,0	58,1	1,65
	7,7	6,0	2,6	0,22	6,3	7,5	2,0	0,47
45	157,1	42,0	50,6	2,24	151,5	41,5	51,9	1,94
	7,5	7,4	2,5	0,32	6,8	7,3	2,1	0,10
60	163,0	41,0	48,2	2,47	153,0	41,0	46,8	2,03
	11,1	7,1	1,8	0,26	6,7	7,3	2,0B	0,32P
75	164,8	42,9	53,9	3,88	154,5	41,6	47,5	2,71
	10,2	8,7	2,2	0,32	9,4	7,3	2,7	0,29
90	167,22	43,32	63,62	5,44	156,1	42,6	58,4	3,52
	11,8	8,8	4,1	1,37	9,1	8,1	3,9	0,30

Fe: Frecuencia cardiaca en pulsaciones por minuto

V02: Consumo de oxígeno en ml/kg min

Lac: Concentración sanguínea de lactato en mmol/l

Las diferencias observadas en el comportamiento de la *fe* en los dos tratamientos concuerdan con los datos reportados previamente en la literatura,^{2,5-7,13} tanto para ejercicio realizado en cicloergómetro^{2-5,6} como sobre banda rodante.¹¹ Los niveles de *lac* son más elevados durante la carrera bajo condiciones *nohidr* en comparación con el tratamiento *conhidr*. Este hallazgo concuerda con lo descrito por Saltin¹¹ y posteriormente por Wanner¹⁰, quienes realizaron sus experimentos sometiendo individuos a trabajo sobre cicloergómetro. Sin embargo, Sutton y col.¹² cuestionan los resultados de una serie de investigaciones en donde se registran elevaciones de las concentraciones plasmáticas de productos del metabolismo, entre ellos, el lactato, no como reflejo del incremento del metabolismo sino más bien como producto de los desplazamientos de líquidos de los compartimentos circulatorios que reducen el volumen plasmático, proceso denominado *efectos de hemoconcentración*. Estas observaciones obligan a una mayor cautela en la interpretación de los datos y a un manejo estadístico más depurado y cuidadoso.

No se encontraron diferencias significativas en el comportamiento del VO₂ en los dos tratamientos, aunque durante la carrera realizada bajo condiciones *conhidr* este parámetro se mantuvo a un nivel ligeramente inferior. Los resultados de la literatura son contradictorios ya que algunos trabajos indican que el VO₂ se eleva bajo condiciones de deshidratación,² mientras que en otros trabajos no se reportan modificaciones.^{1,15} Hay que destacar que en el caso de la población de atletas objeto del presente estudio, se puede presentar el desarrollo de una capacidad adaptativa,^{12,16} como respuesta a varios años de entrenamiento y a las condiciones ambientales propias de un clima tropical, lo cual podría incidir sobre las respuestas funcionales estudiadas.

Las variaciones individuales del peso corporal (*diff.p*) obtenidas al restar al *pf* el *pi* para cada sujeto, se describen en la tabla 3 y se esquematizan en la figura 2. Al comparar el grado de variación en el peso entre los tratamientos (*nohidr* y *conhidr*), se encuentra una mayor pérdida de peso en el tratamiento *nohidr* y menos pérdida en el tratamiento *conhidr*, presentándose diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las dos. Sin embargo, la variación interindividual es alta tanto para *nohidr* como para *conhidr*, aspecto que debe ser tomado en cuenta por su alta incidencia sobre la interpretación de los resultados.⁷

Tabla 3 Diferencias del peso corporal registradas en cada uno de los tratamientos aplicados (Peso en kg)

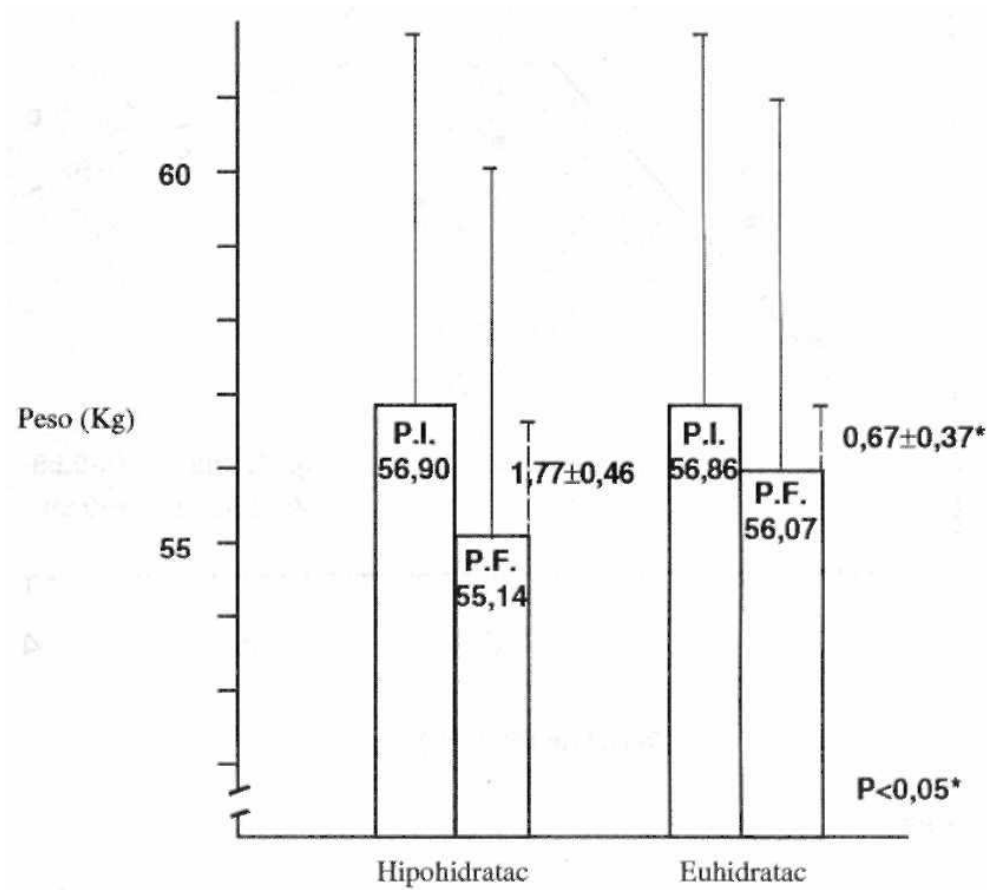
Atleta	Tratamientos							
	Nohidr				Conhidr			
	Pi	Pf	Diff.p	%	Pi	Pf	Diff.p	%
1	66,6	64,4	2,2	3,3	66,5	66,1	0,3	0,5
2	49,4	48,1	1,3	2,6	49,4	49,0	0,4	0,8
3	55,6	53,4	2,2	3,9	55,6	54,5	1,1	2,0
4	56,6	55,0	1,6	2,8	56,2	55,8	0,4	0,7
5	53,9	53,0	0,9	1,7	54,5	54,1	0,3	0,6
6	59,0	57,0	2,0	3,4	58,9	58,1	0,8	1,3
7	57,2	55,0	2,2	3,9	56,9	55,5	1,4	2,4

X=	59,9	55,1	1,7	2,9	56,8	56,1	0,7	1,1
Ds=	4,8	4,5	0,4	0,7	4,7	4,8	0,3	0,7
Cv=	8,0	8,1	23,5	24,1	8,2	8,5	42,8	63,6

Donde:

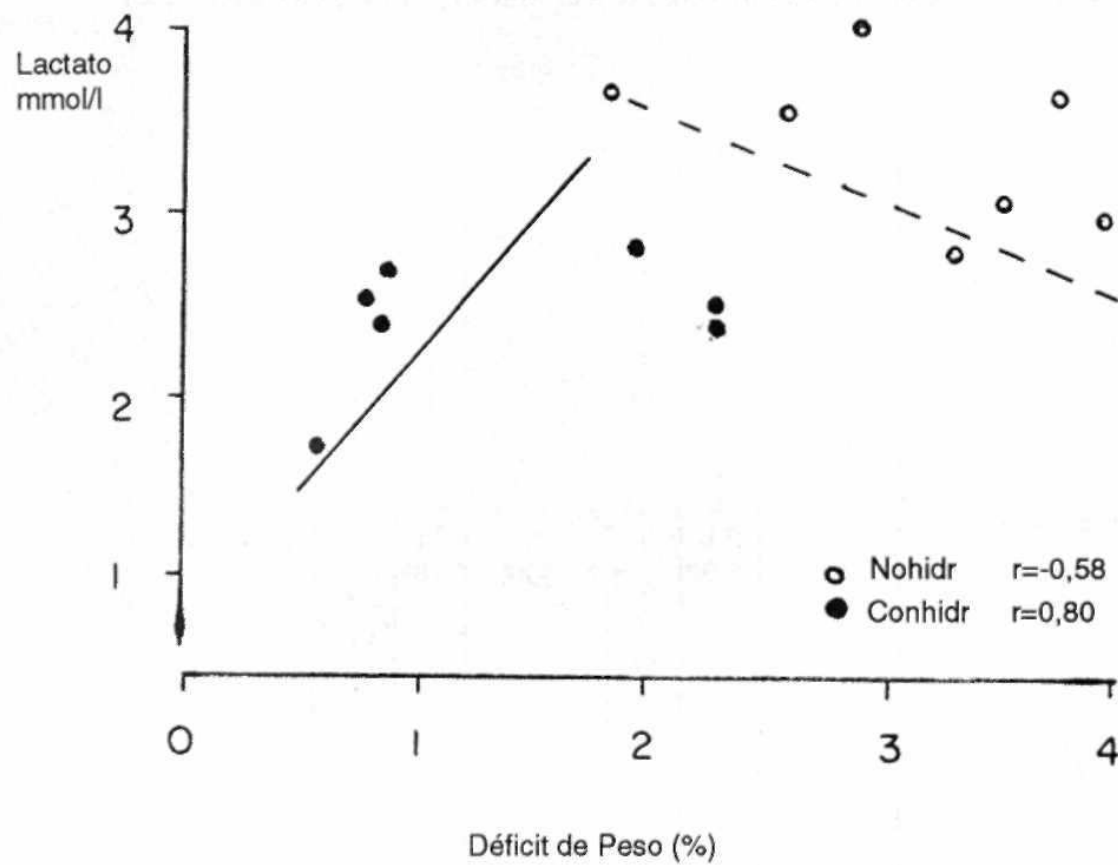
X= promedio, Ds= desviación estándar, Cv= coeficiente de variación

Figura 2. Variación del peso corporal de corredores de fondo en estados de hipohidratación y euhidratación luego de carrera continua durante 90 minutos a 9,5 mph (15,2 kmh) (Pi: peso inicial; pf: peso final; bloque: promedio; barra: desviación estándar. Se indican los valores promedio y desviación estándar de la diferencia entre el *pi* y el *pf* en cada estado)



Con el propósito de evaluar una posible relación entre la pérdida de peso en cada uno de los tratamientos y las correspondientes respuestas de *fc*, *V02* y *lac*, se realizó un análisis de correlación entre el porcentaje de pérdida de peso y los valores finales de cada una de las variables. En la figura 3, se ilustra la correlación que posiblemente indique una mayor asociación como lo indica el porcentaje de pérdida de peso con relación a los niveles finales de lactato en el tratamiento *conhydr*. Algo similar puede ocurrir en el tratamiento *nohydr* aunque para ambos casos no hay significancia ($p > 0,05$). Los análisis de regresión lineal para las otras variables indicaron una muy pobre o nula asociación.

Figura 3. Correlación entre el déficit de peso corporal y los niveles finales de lactato alcanzados en los dos tratamientos.



Conclusiones

Puede señalarse que efectivamente la realización de carrera continua sin una adecuada hidratación incide de una manera negativa sobre la respuesta funcional del organismo de los deportistas. Así mismo, debe investigarse en mayor detalle la posible influencia de las modificaciones de los compartimentos hídricos del organismo sobre las concentraciones plasmáticas de los productos metabólicos, mediante mediciones que permitan registrar adecuadamente estas modificaciones compartimentales y establecer su real incidencia sobre la actividad metabólica y funcional del organismo sometido a ejercicio bajo diferentes condiciones ambientales. Se debe considerar, del mismo modo, la amplia variación adaptativa y funcional entre los individuos en su respuesta al estrés ambiental y funcional durante la realización de actividad física.

Referencias

- ¹ B. Bathovel., M. Fellenius., M. Gissinger., V. Candas. "Physiological Effects of Dehydration and Rehydration with Water and Acidic or Neutral Carbohydrate Electrolyte Solutions". En: *Eur J Appl Physiol.* 60:209-216,1990.
- ² B. Saltin. "Aerobic and Anaerobic Work capacity after Dehydration". En: *J Appl Physiol.* 19(6): 1114-1118,1964.
- ³ W.G. Herbert. "Water and Electrolytes". En: *Ergogenic Aids in Sports.* Williams M.H. (Ed), Human Kinetics, Champaign III, pp:57-98, 1983.
- ⁴ D.L. Costill., R. Cote., W. Fink. "Muscle Water and Electrolytes following varied Levels of Dehydration in Man". En: *J Appl Physiol.* 40(3):404-410,1976.
- ⁵ P.O. Astrand., B. Saltin. "Plasma and Red Cell Volume after Prolonged Severe Exercise". En: *J Appl Physiol.* 19(59):829-832,1964.
- ⁶ E.R. Nadel., S.M Fortney., C.B. Wenger. "Effect of Hydration State on Circulatory and Thermal Regulation". En: *J Appl Physiol.* 49(4):715-721,1980.
- ⁷ M.N. Sawka., R.P. Francesconi., A.J. Young., K.B. Pandolf. "Influence of hydration Level AndBodyFluidsonExercisePerfomance in the Heat". En: *Jama.* 252(9):1165-1169,1984.
- ⁸ M.N. Sawka., R.P. Francesconi., A.J. Young., S .R. Muza., K.B. Pandolf. "Thermoregulatory and Blood Responses during Exercise at Graded Hypohydration Levels". En: *J Appl Physiol.* 56:1394-1401, 1985.
- ⁹ I. Jacobs. "Effects of Thermal Dehydration on Perfomance on the Wingate Anaerobic Test". En: *Int J Sports Med.* 1(1):21-24,1980.
- ¹⁰ U.H. Wanner. "Physical Perfomance as aFunction of Liquid Intake". En: *Exercise and Sport Biology. International Series on Sport Science.* Komi P. V., Nelson R.C., Morehouse Ch.A. (Eds). Human Kinetics Publishers. Champaign III, 1982.
- ¹¹ L. Rucker., K.A. Kirsh., B. Heydack., H.U. Alterkirch. "Influence of Prolonged Physical Exercise on Plasma Volume. Plasma Proteins, Electrolytes and Fluid Regulating Hormones". En: *Int J Sports Med.* 10(4): 270-274, 1989.

- ¹² J.R. Sutton., P.A. Farrel., V.J. Harber. "Hormonal Adaptations to Physical Activity". En: *Exercise, Fitness and Health*. Bouchard C. y col. (Eds). Human Kinetics Books. Champaign III. 1990.
- ¹³ D.R. Dengel., P.G. Weyand., D.M. Black., K.J. Cureton. "Effects of Varying Levels of Hypohydration on Ratings of Perceived Exertion". En: *Int J Sport Nutrition*. 3:376-386,1993.
- ¹⁴ W. Kindermann., M. Schramm., J Keul. "Aerobic Performance Diagnostics with Different Experimental Settings". En: *Int J Sports Med*. 1(1):110-114,1984.
- ¹⁵ F.N. Craig., E.G. Cummings. "Dehydration and Muscular Work". En: *Appl Physiol*. 21(2):670-674, 1966.
- ¹⁶ E. Baum., K Briick., H.P. Schwennicke. "Adaptative Modifications in the Thermoregulatory System of Longdistance Runners". En: *J Appl Physiol*. 40(3):404-410,1976.

Bibliografía

Armstrong L.E., Costill D.L., Fink W.J. *Influence of Diuretic induced Dehydration on Competitive Running Performance*. Med Sci Sports Exerc 17:456-461,1985.

Sawka M.N. *Physiological Consequences of Hypohydration: Exercise Performance and*