

Respuesta metabólica durante la natación de extrema duración y el entrenamiento previo

Alexander Kormanovski Kovsova,* Eleazar Lara Padilla,* Fileno Piñera Limas, Pindaro R. Álvarez Grave*

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunos hallazgos relacionados con la respuesta metabólica de una nadadora (récord Guinness) durante varios nados de extrema duración (de 12 a 24 horas). Además se presentan los resultados obtenidos a partir de la determinación semanal de parámetros sanguíneos durante 23 semanas de preparación previa a sus nados. Dicho entrenamiento se llevó a cabo a una altura 2,200 m. Se encontró una correlación significativa entre diversos parámetros y la velocidad del nado y entre la natación con diferentes niveles de intensidad y los parámetros bioquímicos. También hubo una correlación negativa de la actividad de la creatinasa sanguínea con la concentración de urea y con la actividad del lactato deshidrogenasa séricas. Por otro lado, los hidratos de carbono (30-40 g/h en promedio) fueron el componente principal de la alimentación durante los nados prolongados. La respuesta metabólica ocasionada por este tipo de alimentación fue similar a la que observamos previamente en nadadores alimentados con una mezcla de proteínas/carbohidratos (70% - 30%), excepto en lo referente al comportamiento de la glucosa y el lactato sanguíneos. Finalmente, se debe tomar en cuenta que en la alimentación que reciben los nadadores de altura durante sus nados largos hay una variación importante en relación con los carbohidratos, ya que su ingesta puede ser desde 10 g/hora (combinándolos con proteínas) hasta 40 g/hora (tomándolos solos). En el caso de nuestra nadadora, al intentar modificar su ingesta de carbohidratos a mezcla de proteínas/carbohidratos se presentaron diversas molestias gastrointestinales.

Palabras clave: Natación de extrema duración, parámetros bioquímicos, creatinasa, alimentación

ABSTRACT

In this paper some findings related to the metabolic response of a female swimmer (Guinness record) during several long time swims (from 12 to 24 hours) are made known. In addition, the results obtained from the weekly determination of parameters during 22 weeks of previous training by the same female swimmer, who trained at a height of 2,200 meters are presented. There was a significant correlation between these parameters and the speed of the swims on one hand and between the swims of different intensity and the biochemical parameters on the other. There was also a negative correlation between creatinekinase activity and both lactate dehydrogenase activity and blood urea. The main component of the feeding during the long time swims were carbohydrates (30-40 g/h on the average). The metabolic response, as a result of this type of feeding, was similar to which we observed previously in swimmers who were fed with a mixture of protein /carbohydrates (70%-30%), except in the behavior of blood glucose and lactate. Finally, it is necessary to take into account that, in the feeding of height altitude swimmers during long time swims, there is an important variation in relation to carbohydrates since their ingestion can be from 10 g/h (combining them with proteins) to 40 g/h (taking them alone). In the case of our female swimmer when her carbohydrate ingestion was substituted for a mixture of proteins/ carbohydrates some gastrointestinal disturbances appeared.

Key words: Long time swims, biochemical parameters, creatinekinase, feeding.

INTRODUCCIÓN

Los ejercicios de duración cercana al límite de la capacidad del organismo humano son realizados por muy pocas personas, lo cual dificulta la realización de estudios científicos con una muestra adecuada (sobre todo durante el ejercicio). A pesar de ello, es importante encontrar la forma de investigar la adaptación metabólica a este tipo

de actividad física. Una de las posibilidades consiste en acumular la información sobre la respuesta individual para posteriormente generalizar el conocimiento. Eso es precisamente lo que nosotros hemos estado haciendo en la natación de extrema duración.

En la mayoría de los estudios que se han llevado a cabo sobre el proceso de adaptación metabólica del organismo humano a la natación los parámetros sanguíneos

* Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Medicina. Instituto Politécnico Nacional.



estudiados se han medido antes y después de ejercicios relativamente cortos.¹⁻⁵ En la literatura revisada no encontramos datos sobre dicho proceso en la natación de extrema duración. En cambio, sí existen estudios sobre la respuesta metabólica en otro tipo de ejercicios de extrema duración,⁶⁻¹² pero en muy pocos de ellos se investigó la respuesta metabólica durante la actividad física.^{8,12}

Nosotros hemos investigado el comportamiento de algunos parámetros metabólicos sanguíneos durante la natación de larga duración (NLD) realizada en aguas abiertas por nadadores mexicanos y ya hemos publicado resultados previos.^{13,14} Estos nadadores realizaron varios nados de extrema duración, incluyendo 170 km de natación estilo mariposa en el mar, 24 horas de natación en alberca y río, cruces en un solo sentido o bidireccionales del canal de La Mancha, canal de San Pedro, etc.

El deporte de resistencia de extrema duración exige un programa de entrenamiento en el límite de las capacidades tanto físicas como mentales del atleta. Es seguro que dicho programa debe basarse en las capacidades metabólicas individuales del atleta, así como en una adecuada alimentación durante los eventos de larga duración. Una de las vías para establecer los criterios para definir estas capacidades metabólicas es investigar el comportamiento individual de los parámetros sanguíneos durante el entrenamiento conjuntamente con los parámetros de carga física y rendimiento de los atletas de élite.

En este artículo se presentan algunos datos sobre el comportamiento de los parámetros metabólicos sanguíneos de una nadadora de alto rendimiento durante nados de larga duración (NLD), de 12 y 24 horas (récord Guinness) y durante el seguimiento bioquímico semanal a lo largo de seis meses de entrenamiento previo a tales eventos. Además se analiza la correlación entre tales parámetros y la carga de trabajo físico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Datos sobre la nadadora y el entrenamiento

La participante en el estudio es una nadadora profesional de 24 años de edad, que nació y ha entrenado por más de 10 años a la altura de la Ciudad de México (2,200 m). Durante su carrera ha llevado a cabo varios cruces (uno de ida y vuelta) del canal de La Mancha. Es decir, estaba bien adaptada a la natación de extrema duración. Se documentó plenamente el entrenamiento que realizó durante 23 semanas para lograr el récord Guinness de natación de 24 horas en alberca. Se le dio seguimiento durante su entrenamiento mediante análisis semanal de algunos parámetros metabólicos sanguíneos y también se

tomaron muestras durante sus NLD. En su preparación se realizaron tres pruebas de nado continuo de seis horas a nivel del mar (semana 13), de 12 horas (semana 18) y de 24 horas (semana 23). Las dos últimas pruebas se realizaron en la misma alberca de 25 metros, con una temperatura hídrica de 28-29 °C en los meses de mayo-junio (Cancún, México). Durante ambas pruebas se registró la velocidad de la nadadora cada 100 metros. Su equipo de trabajo le dio apoyo psicológico a través de mensajes en una pantalla, caminando por la orilla de la alberca durante las pruebas.

La nadadora usó como modalidades de entrenamiento, además de la natación, la carrera y el trabajo de fuerza.

El ejercicio físico realizado durante la natación se clasificó, de acuerdo con su intensidad, en:

- **Aeróbico Ligero (AEL):** Es el nado de larga duración en el cual se detecta una concentración de lactato (LA) en sangre de entre 1.5 y 2.5 mmol/L y una frecuencia cardíaca de 130-140 latidos/min.
- **Aeróbico Medio (AEM):** Es el entrenamiento de intensidad media con LA en sangre de entre 2.5 y 5.5 mmol/L y una frecuencia cardíaca de 150-165 latidos/min.
- **Aeróbico Intenso (AEI):** Es el ejercicio intenso con LA en sangre de entre 5.5 y 10 mmol/L y frecuencia cardíaca de 170-175 latidos/min.
- **Anaeróbico Láctico (AnLac):** Son esfuerzos menores de dos minutos con una frecuencia cardíaca de aproximadamente 180 latidos/min y LA de más de 9 mmol/L.
- **Anaeróbico Aláctico (AnAlac):** Son esfuerzos muy cortos, de menos de 15 segundos y de máxima intensidad.

La carrera la realizó en un bosque, con una frecuencia cardíaca de aproximadamente 140-150 latidos/min (zona aeróbica) y sus datos se presentan en kilómetros recorridos.

El trabajo de fuerza fue realizado en aparatos de diferente tipo y sus datos se presentan en minutos de entrenamiento.

Toma de muestras y su procesamiento

En el seguimiento de la nadadora durante su entrenamiento se tomó sangre capilar de un dedo por la mañana en estado de ayuno. Las muestras se centrifugaron dentro de la primera hora posterior a la toma y el suero se procesó de dos a tres horas después de ésta. En la prueba de 12 horas de nado continuo tomamos muestras antes de su inicio, al concluir la primera y la segunda horas y posteriormen-

te cada dos horas. En el nado continuo de 24 horas las muestras de sangre se tomaron antes de su inicio, cada seis horas durante su realización y al término del mismo. Las muestras se guardaron en hielo antes y después de la centrifugación y se procesaron dentro de las cuatro horas posteriores a la prueba.

Se determinaron los siguientes parámetros sanguíneos durante el entrenamiento: hemoglobina (Hb), glucosa (Glu), urea, triglicéridos (TG), colesterol total (CT), colesterol de proteínas de alta (HDL), baja (LDL) y muy baja (VLDL) densidad y las enzimas creatinincinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH). El coeficiente del riesgo de aterosclerosis (Coef.) se calculó como la proporción entre la suma de LDL-colesterol + VLDL - colesterol dividida entre HDL colesterol (con rango de referencia de 2-6).

Los parámetros sanguíneos se determinaron con micrométodo por medio de un fotómetro Microlab 200 semiautomático ("Merck") y reactivos enzimáticos de la misma marca (excepto los reactivos químicos para determinación de Hb y para precipitar las diferentes lipoproteínas). Para medir microcantidades de suero utilizamos tubos de vidrio graduados (0.005 mL de suero ocupaban 90 mm del tubo). El coeficiente de variación de las mediciones estuvo entre 1 y 3%, dependiendo del parámetro. Todas las determinaciones se realizaron con los estándares respectivos. En el caso de las enzimas y de HDL y LDL colesterol se utilizaron sueros de control. El ácido láctico fue determinado con un reactivo especial para deportistas (Likside) con previa precipitación de las proteínas del suero por medio de ácido perclórico 8%.

La alimentación durante ambos NLD se realizó según el siguiente esquema: en las horas nones 500 mL de bebida con aproximadamente 30 gramos de carbohidratos (CHO) y en las horas pares 500 mL de bebida comercial con electrolitos, que contenía aproximadamente siete gramos de CHO. En el nado de 24 horas la cantidad de CHO en las horas nones fue de aproximadamente 40 gramos. Durante estos NLD hubo variación (de aproximadamente 15%) en el esquema de alimentación por varias razones. La nadadora no aceptó nuestros intentos de incluir proteínas en la alimentación en los NLD previos al estudio,

porque sentía molestias gastrointestinales. En todos estos NLD ella usó sólo CHO como componente principal de su alimentación.

El análisis estadístico se realizó con un programa de computadora (Microsta) que nos permitió obtener una matriz de los coeficientes de correlación entre todos los parámetros sanguíneos y de entrenamiento. En este programa se usó el criterio estadístico de t de Student para determinar la confiabilidad de los coeficientes de correlación. En el análisis se consideraron 10 tomas de sangre (semanas 5, 6, 8 y 15 a 21) en las cuales se midieron todos los parámetros sanguíneos. Se hizo el análisis estadístico de correlación de CK, LDH y urea con los parámetros de entrenamiento. El análisis estadístico de los coeficientes de correlación de hemoglobina con los parámetros de diferentes tipos de entrenamiento se realizó por separado porque estas determinaciones no coincidieron con la medición de los otros parámetros.

Como los datos obtenidos durante las pruebas de 12 y 24 horas de nado continuo se presentan en cambios porcentuales de los parámetros sanguíneos, en el cuadro 1 se presentan las cifras iniciales de dichos parámetros.

RESULTADOS

Respuesta metabólica durante las pruebas de 12 y 24 horas de natación

En la Fig. 1A se presentan los cambios porcentuales de los tres parámetros sanguíneos directamente relacionados con el metabolismo energético durante el nado de 12 horas (Glu, TG y urea). Podemos ver que después de un aumento significativo de los valores de Glu y TG en las primeras dos horas de nado, sus niveles comenzaron a disminuir hasta alcanzar su valor más bajo a las 4-8 horas. A partir de la 8a. hora hubo un aumento significativo hasta el final de la prueba. Por su parte, la urea se comportó estable hasta aproximadamente la 6a. hora de nado y después aumentó significativamente.

Como podemos ver en la Fig. 1B, la CK subió durante toda la prueba hasta alcanzar un incremento de 500% al

Cuadro 1. Valores iniciales de los parámetros sanguíneos.

Nado	Glucosa mg/d	Triglicéridos mg/dL	Urea mg/dL	Creatinincinasa u/L	Deshidrogenasa láctica u/L	Lactato mmol/L	Colesterol total mg/dL	HDL mg/dL	LDL mg/dL	VLDL mg/dL	Coeficiente
12 h	82	114	21	20	238	1.3	208	44	135	29	3.7
24 h	122	50	19	32			200	47	100	53	3.3

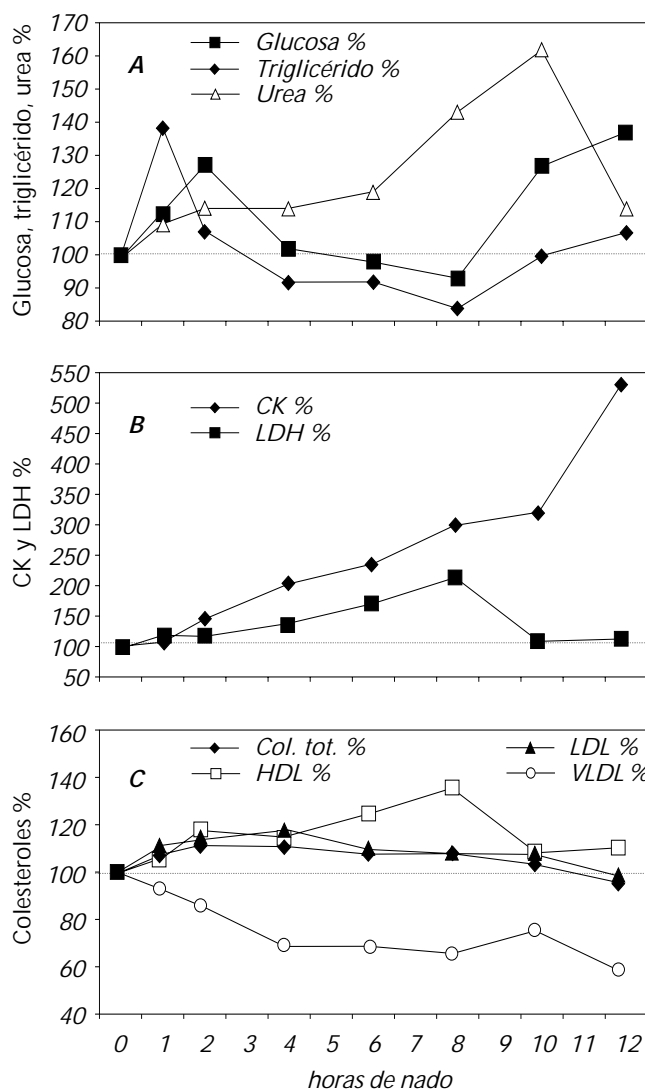


Figura 1. Comportamiento de los parámetros metabólicos durante el nado de 12 horas.

término de ella. La LDH aumentó fuertemente hasta la 8a. hora y posteriormente disminuyó hasta su nivel inicial en la 10a. hora. Esta disminución coincidió con el periodo de recuperación de los niveles de Glu y TG en sangre.

El colesterol total y el LDL colesterol sanguíneos aumentaron 15% en las primeras dos horas y a partir de este momento disminuyeron continuamente hasta el final de la prueba (Fig. 1C). El HDL colesterol fue aumentando significativamente hasta la 8a. hora y disminuyó drásticamente a partir de este momento y hasta la 10a. hora de nado. Esta disminución también coincidió con la recuperación de los niveles de Glu y TG. En el mismo periodo también disminuyó notablemente (35%) el VLDL coleste-

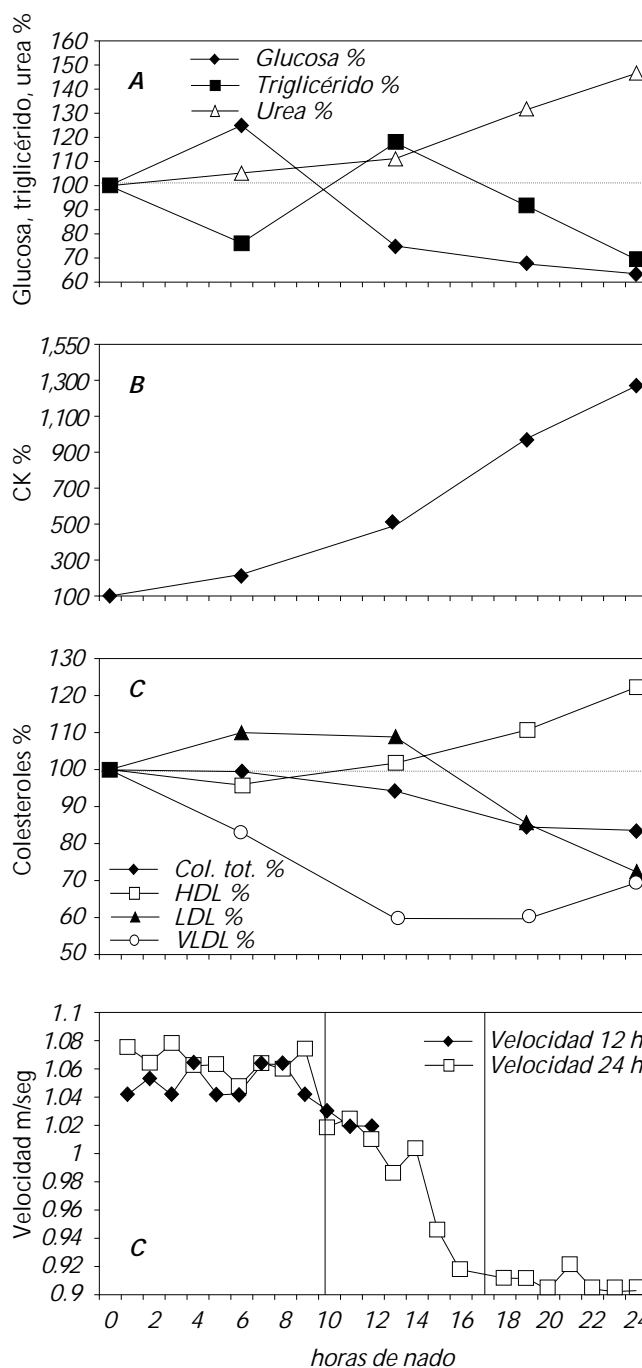


Figura 2. Comportamiento de los parámetros metabólicos durante el nado de 24 horas.

rol. La proporción LDL + VLDL/HDL tuvo un comportamiento parecido al del VLDL colesterol.

Durante la misma prueba el cambio del lactato sanguíneo fue significativo en la primera hora del nado (subió

de 1.2 a 4.6 mmol/L) y, posteriormente, se estabilizó en cerca de 3 mmol/L hasta el término de la prueba (no se presenta).

En la Fig. 2A se presentan los cambios porcentuales de Glu, TG y urea sanguíneos durante el nado continuo de 24 horas en una alberca de 25 metros (se registró como récord Guinness). Como podemos ver, el comportamiento de la Glu es diferente al de la prueba de 12 horas, ya que su disminución apareció mucho más tarde (entre ocho y 10 horas de nado) y no se observó su aumento al final de la prueba.

El comportamiento de los TG resultó opuesto al de la Glu y en las primeras 12 horas fue parecido al observado en el nado de 12 horas. El comportamiento de la urea también fue igual al de dicho nado, pero su aumento importante apareció mucho más tarde (a las 12 horas), comparado con el observado en el nado de 12 horas, en el cual el aumento se presentó a partir de la 6a. hora).

Es probable que estas diferencias estén determinadas por el aumento en el consumo de carbohidratos (CHO) (20%) durante la prueba de 24 horas, ya que no hubo diferencia significativa ni en las condiciones del nado ni

en el promedio de las velocidades durante las 12 horas valoradas en ambas pruebas).

El aumento de la CK en sangre (Fig. 2B) fue parecido al de la prueba de 12 horas de nado (Fig. 1B), alcanzando al final de la prueba un aumento de 1,200%. En esta prueba no se midieron la LDH y el lactato.

Los cambios de las diferentes modalidades de colesterol resultaron semejantes a los obtenidos en la prueba de 12 horas, pero aparecieron más tarde: a las 12 horas de nado el HDL colesterol comenzó a aumentar, el LDL colesterol a disminuir y el VLDL colesterol alcanzó su mínimo nivel (Fig. 2C).

En la Figura 2D se presentan los cambios de la velocidad de la nadadora durante estas pruebas. Podemos ver que la velocidad empezó a bajar notablemente a partir de la 9a. hora de nado en ambas pruebas. En el nado de 24 horas hubo una disminución gradual de la velocidad entre la 9a. y la 16a. hora y después se mantuvo durante las últimas ocho horas de prueba.

El análisis estadístico del comportamiento de la velocidad de la nadadora y de los diferentes parámetros sanguíneos en ambas pruebas se presenta en el cuadro 2, en

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre los parámetros sanguíneos en los nados de larga duración.

NL de 12 horas (siete casos)		Rango para p < 0.05: 0.67-0.75										
	Velocidad	Glucosa	Triglicérido	Urea	CK	LDH	Lactato	Col. total	HDL	LDL	VLDL	LDL + VLDL/HDL
Velocidad	1											
Glucosa	-0.73	1										
Triglicérido	-0.38	1.42	1									
Urea	-0.07	-0.02	-0.43	1								
CK	-0.6	0.42	-0.32	0.27	1							
LDH	0.57	-0.83	-0.64	0.22	-0.01	1						
Lactato	0.18	-0.41	0.63	-0.28	-0.63	-0.03	1					
Col. total	0.87	-0.61	-0.15	-0.11	-0.88	0.32	0.32	1				
HDL	0.59	-0.67	-0.77	0.21	0.04	0.93	-0.33	0.35	1			
LDL	0.76	-0.47	-0.06	-0.19	-0.86	0.04	0.36	0.93	0.07	1		
VLDL	0.13	0.09	0.72	-0.18	-0.81	-0.41	0.61	0.49	-0.45	0.49	1	
LDL + VLDL/HDL	-0.11	-0.73	0.74	-0.23	-0.55	-0.75	0.59	0.21	-0.84	0.45	0.76	1

NL de 24 horas (cinco casos)		Rango para p < 0.05: 0.82-0.88.										
	Velocidad	Glucosa	Triglicérido	Urea	CK	Col. total	HDL	LDL	VLDL + VLDL/HDL			
Velocidad	1											
Glucosa	0.85	1										
Triglicérido	0.29	-0.14	1									
Urea	-0.93	-0.69	-0.6	1								
CK	-0.98	-0.82	-0.42	0.98	1							
Col. total	0.99	0.85	0.33	-0.94	-0.98	1						
HDL	-0.88	-0.81	-0.46	0.94	0.95	-0.91	1					
LDL	0.79	-0.7	0.55	-0.89	-0.88	0.87	-0.95	1				
VLDL	0.8	-0.69	-0.15	-0.58	-0.68	0.71	-0.45	0.27	1			
LDL + VLDL/HDL	0.97	0.87	0.36	-0.95	-0.99	0.98	-0.97	0.91	0.64	1		

Cifras negritas: p < 0.05

donde se muestra que hubo correlación tanto entre la velocidad de la nadadora y los parámetros metabólicos como entre diferentes parámetros sanguíneos.

Respuesta metabólica en el seguimiento de la nadadora durante su entrenamiento

Los datos obtenidos en el seguimiento de la nadadora durante su entrenamiento se presentan en el cuadro 3. El periodo del entrenamiento de la nadadora puede ser dividido por lo menos en tres etapas: inicio de la preparación (semanas 1 a 6, 30 km/semana), preparación básica (semanas 7 a 18, 50-60 km/semana) y preparación precompetitiva (semanas 19 a 22, 40 km/semana). Es decir, que la principal carga de entrenamiento estuvo en el segundo periodo. El primer y tercer periodos corresponden a cargas disminuidas. Entonces es posible esperar una diferencia en la respuesta metabólica durante dichos periodos.

Por eso realizamos el análisis estadístico de las mediciones de peso corporal, modalidades de entrenamiento (natación, carrera y trabajo de fuerza) y parámetros sanguíneos (CK, LDH, urea) en las semanas 8 a 17, donde el entrenamiento fue máximo. Se encontró correlación de varios parámetros sanguíneos con diferentes modalidades de carga de entrenamiento. La urea tuvo una correlación positiva con la actividad física realizada en la carrera ($r = 0.88$, $p < 0.01$) y con el trabajo de fuerza ($r = 0.6$, $p < 0.05$). La CK tuvo una correlación positiva con el ejercicio de natación aeróbico medio ($r = 0.68$, $p < 0.05$) y negativa con ejercicio anaeróbico aláctico ($r = -0.67$, $p < 0.05$), en tanto que la LDH tuvo una correlación negativa con el ejercicio aeróbico medio ($r = -0.74$, $p < 0.05$). Al interior de los parámetros sanguíneos se encontró una correlación negativa entre CK y LDH ($r = -0.83$, $p < 0.01$). Asimismo, hubo una correlación negativa entre el peso corporal y la natación aeróbica media ($r = -0.6$, $p < 0.05$) y positiva con el trabajo de fuerza ($r = 0.79$, $p < 0.05$).

En diez semanas de entrenamiento (5, 6, 8 y 15 a 21) logramos medir por separado el perfil de colesterol. Los resultados del análisis estadístico de estos datos mostraron que sólo el HDL colesterol tuvo una correlación positiva con el kilometraje total de entrenamiento ($r = 0.59$, $p < 0.05$). El colesterol total presentó una clara tendencia a una correlación positiva con el kilometraje total de natación ($r = 0.51$; $p > 0.05$). La CK y la urea en estas semanas mostraron el mismo tipo de correlación que con las modalidades de entrenamiento, pero la urea presentó, además, una correlación negativa con el kilometraje total, nado aeróbico ligero y nado aeróbico medio, al igual que con el peso corporal. La LDH correlacio-

nó positivamente sólo con el nado anaeróbico aláctico y no se observó ninguna correlación entre la CK y la LDH.

En el análisis estadístico de los datos tampoco encontramos correlación entre la hemoglobina (ocho mediciones) y las modalidades de entrenamiento. Sin embargo, hubo tendencia a una correlación positiva con el kilometraje de los ejercicios aeróbico ligero, aeróbico medio y aeróbico intenso ($r = 0.30$; 0.35 ; 0.36 ; $p > 0.05$, respectivamente) y a una correlación negativa con el kilometraje de la carrera ($r = -0.41$, $p > 0.05$).

La CK tiene mucha importancia en el seguimiento del entrenamiento tanto por su procedencia (principalmente muscular) como por sus cambios drásticos en atletas de alto rendimiento (hasta 30 veces del rango normal). Se presenta la comparación del comportamiento de la CK relacionado con la LDH y la urea, ya que anteriormente hemos observado en atletas de élite de diversos deportes una correlación tanto positiva como negativa entre estos tres parámetros, dependiendo de la etapa de preparación del atleta.¹⁵ En la Fig. 3A se presenta el comportamiento de la CK y la LDH durante un seguimiento de la nadadora durante 23 semanas de preparación para el nado de 24 horas. Podemos ver que al inicio y al final de la preparación se observaron cambios sincronizados de estos dos parámetros. Sin embargo, al interior de la preparación, durante las semanas con máxima carga de entrenamiento

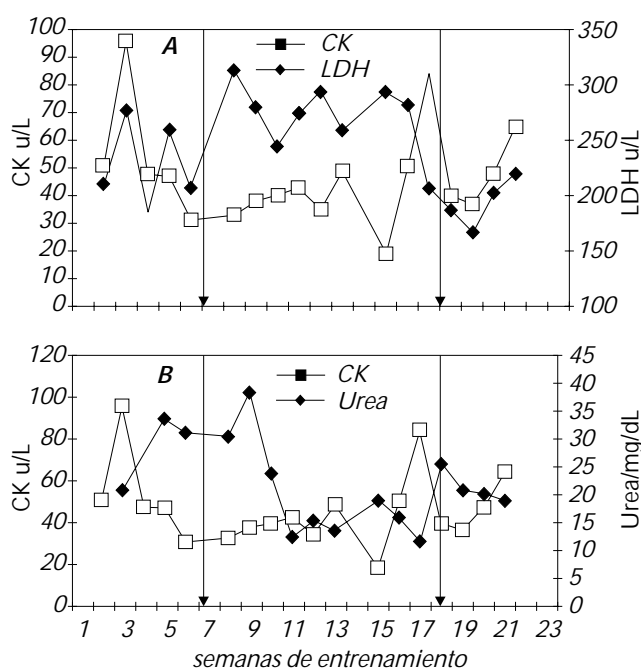


Figura 3. Comportamiento de los parámetros metabólicos durante el seguimiento del entrenamiento de la nadadora.

Cuadro 3. Datos del seguimiento de la nadadora durante el entrenamiento previo al nado de 24 horas.

Parámetros de los diferentes medios del entrenamiento									
Semana	km Total	km AEM	km AEL	km Aerint	km AnLac	km AnAlac	km Carrera	min Fuerza	
1	32.6	1.5	30.2	0.1	0	0	33	60	
2	35.4	2	28.7	0.1	0	0.825	44.7	40	
3	28.9	3	20.5	0.1	0	1.25	48.83	40	
4	33.8	4.6	23.9	0.1	0	0.775	51.9	75	
5	20.7	3.4	14.4	0.1	0	0.27	29	90	
6	28.7	4.8	18.1	1.5	0	1	11	204	
7	49.2	5.3	34.3	2.5	0.6	1.27	3.3	90	
8	49.7	7	30	2.2	0	1.5	8.1	90	
9	48.6	6.6	32.5	2.6	0.4	1.41	21.43	90	
10	53.6	7.4	34	4.4	0.3	1.6	12.5	90	
11	44	5.4	27.7	0.1	0	1	0	60	
12	58.7	3.6	45.1	3.9	0	1.05	2.5	60	
13	60.2	9	42	1.6	0	1.35	5	60	
14	70.5	2.4	36.6	1.2	0.4	1.84	3	0	
15	58.2	9.7	37.5	2.8	0	2.3	0	0	
16	52	5.9	36.5	1.6	0	1.36	3.3	60	
17	67.8	16.8	42.3	2.6	0.55	0.95	0	0	
18	70.4	4.8	20.4	0.1	0	0.8	0	0	
19	40.1	5.4	32	0.1	0	0.4	0	30	
20	54.7	8.7	38.9	1	0	0.85	0	30	
21	50.3	8.4	32.3	1.6	0	1.35	5	30	
22	49.8	8	27.7	1.6	0	1.35	5	30	
23	15	0	12	0.1	0	0.6	0	0	
Parámetros del seguimiento bioquímico									
Semana	u/L CK	u/L LDH	g/dL Hb	mg/dL urea	mg/dL Col. tot.	mg/dL HDL	mg/dL LD+ VL	Relat. Coef.	kg Peso
1									62.5
2	51	211							62.5
3	96	277	13.8	21					62
4	48	185	14.5						61
5	47	259	14.5	33.6	173	41	132	3.2	62
6	31	207	14.6	31.2	172	37	135	3.6	61.5
7									
8	33	313	14.2	30.6	250	30	220	7.3	61.5
9	38	280		38.4					60.5
10	40	245		24					60.5
11	43	275	14.9	12.6				4.5	60
12	35	294	15.1	15.6					60.8
13	49	260		13.8					60.5
14									60
15	19	294		19.2	162	47	115	2.4	59.5
16	51	283	15.6	16.2	177	53	124	2.3	59.5
17	85	207		12	202	53	149	2.8	59
18	40	187		25.8	234	55	179	3.3	
19	37	167		21	146	31	115	3.7	59.3
20	48	203		20.4	184	38	146	3.8	59.3
21	65	220		19.2	202	47	155	3.3	
22									58.8



se observaron cambios opuestos entre las dos enzimas ($r = -0.82$, $p < 0.01$). Con frecuencia hemos observado el mismo tipo de correlación (o cuando menos una tendencia clara) en atletas de deportes de resistencia.

Durante casi todo el seguimiento se observaron claramente cambios opuestos entre la CK y la urea (Fig. 3B). En las 15 mediciones realizadas se obtuvo una $r = -0.21$ ($p > 0.05$), que en las semanas 8-17 alcanzó el valor de -0.4 ($p > 0.05$). Este tipo de correlación (o tendencia) lo hemos observado en varios atletas de élite durante la carga máxima del entrenamiento. Además en la mayoría de los casos al inicio y al final de la preparación general se observó una correlación positiva entre estos dos parámetros (no se presenta).

DISCUSIÓN

Natación de extrema duración

Suponemos que los cambios significativos (de más de 10%) de los parámetros sanguíneos durante los nados de larga duración de la nadadora no estuvieron relacionados con el efecto de hemoconcentración, porque en algunos de nuestros trabajos previos,^{13,14} con otros nadadores el hematócrito, la hemoglobina y las proteínas totales tuvieron cambios entre 2 y 8%. Además es sabido que este tipo de efectos se presentan más en los ejercicios intensos que en los aeróbicos. Entonces lo registrado fueron los cambios de los parámetros metabólicos relacionados con el ejercicio.

La comparación de los dos NLD (12 y 24 horas) es válida, ya que fueron realizados por la misma nadadora a una velocidad semejante y en condiciones similares. La diferencia formal estuvo en la alimentación, ya que con el mismo esquema se consumió 20% más de CHO durante el nado de 24 horas. La otra diferencia se presentó en la frecuencia de la toma de las muestras, que fue mayor en el nado de 12 horas. Por eso se obtuvo más información del comportamiento de los parámetros durante las primeras 12 horas de natación en el nado de 12 horas que en el de 24 horas.

Logramos observar por lo menos cuatro etapas de adaptación metabólica al NLD en la nadadora: en las primeras cuatro horas, entre cuatro y ocho horas, entre ocho y 12 horas y entre 12 y 24 horas. En la primera etapa la Glu y los TG alcanzaron su concentración máxima en sangre y después disminuyeron continuamente hasta llegar a su nivel inicial en la 4a. hora del nado. En este periodo también aumentaron gradualmente la CK y la LDH, en tanto que la urea se comportó estable, descontando un aumento moderado en las primeras dos horas. Por su parte, el

lactato aumentó en la primera hora y se estabilizó en cerca de 3 mmol/L hasta el final de la prueba. También hubo un aumento de HDL y LDL colesterol y una disminución fuerte de VLDL colesterol. Suponemos que en este periodo de adaptación aguda los carbohidratos y las grasas son las fuentes principales de energía y hay cierta participación del metabolismo anaerobio en la producción energética.

En la segunda etapa (entre cuatro y ocho horas) la Glu y los TG no mostraron cambios significativos y permanecieron en su nivel mínimo. Esto es importante porque en otro nadador,¹⁴ incluso, observamos hipoglucemia (30 mg/dL de Glu) y un nivel muy bajo de TG (50 mg/dL) durante este periodo. De las diferentes variedades de colesterol sólo aumentó el relacionado con las HDL. También aumentó drásticamente la actividad de la LDH y la CK y dio comienzo un aumento considerable de la urea. Según datos reportados¹⁵ el organismo humano consume hasta 400 g (80%) de glucógeno durante las primeras seis horas de ejercicio de moderada intensidad. Por lo tanto, es probable que el aumento de la urea en este periodo sea un reflejo de la participación más activa de las proteínas como fuente adicional de energía. Suponemos que es menos probable que haya problemas para eliminar la urea a través de riñones. En este periodo también debe aumentarse el uso de grasa como fuente de energía¹⁶⁻¹⁹ y a disminuirse el uso de CHO gracias al descenso de las reservas de glucógeno (comienza a incrementarse el nivel de Glu en sangre).

En el tercer periodo (entre ocho y 12 horas) se observó un aumento sanguíneo de las principales fuentes de energía (Glu y TG), el cual coincidió con una disminución drástica de urea y LDH al final de la prueba. Igualmente, las diferentes clases de colesterol disminuyeron (Fig. 1C) y también se observó que comenzó a disminuir gradualmente la velocidad del nado en las pruebas de 12 y 24 horas. Una de las posibles explicaciones es que en este periodo la grasa se convierte en la fuente principal de energía y disminuye tanto la participación de los carbohidratos (aumento de Glu sanguínea) como de las proteínas (disminución de urea en sangre) en el proceso energético.

En el cuarto periodo (NL de 24 horas) se pudo observar una disminución de la Glu y los TG y un aumento de la urea y la CK. También hubo cambios positivos en el perfil de lípidos como: disminución de colesterol total, LDL colesterol y proporción LDL + VLDL/HDL y aumento de HDL colesterol. En este periodo la velocidad de la nadadora llegó a su mínimo nivel.

La correlación de la velocidad durante la natación (en los NL de 12 y 24 horas) con los parámetros sanguíneos confirmó indirectamente que el comportamiento de di-

chos parámetros está relacionado con el metabolismo energético. La mayoría de las correlaciones fueron parecidas en ambos NLD; excepto en el caso de la Glu que resultó opuesta. Suponemos que esta diferencia está relacionada con la duración de las pruebas y la frecuencia en la toma de las muestras.

La nadadora consumía sólo CHO como componente principal de su alimentación durante los NLD. Se puede comparar la respuesta metabólica de esta nadadora con la de otro nadador que consumió una mezcla proteínas/CHO (70/30%), como componente principal de su alimentación durante nados largos de 12 horas.¹³ Si la nadadora, durante el nado de 12 horas, recibió 30 g de CHO en las horas noches y no presentó problemas, el nadador, con el mismo esquema de alimentación, tuvo hipoglucemia en dos NLD con una cantidad de más de 10 g de CHO.¹⁴ Sin embargo, encontramos más coincidencias que diferencias en la comparación de la respuesta metabólica de estos dos nadadores con diferente sexo, edad, alimentación durante el NLD y temperatura del agua. La diferencia más notable se observó en los parámetros relacionados directamente con el metabolismo energético (Glu y LA). El nadador tuvo un nivel inicial de Glu en sangre más bajo y su movilización máxima también fue más baja, pero su comportamiento durante el NLD fue parecido al de la Fig. 1A. El LA del nadador alcanzó su nivel máximo durante la primera hora, al igual que en la nadadora, pero después bajó hasta la mitad de su nivel inicial (1 mmol/L). Es decir, que los procesos aeróbicos en el metabolismo energético del nadador dominaron a partir de 2-3 horas de NLD, en tanto que en la nadadora el LA se mantuvo durante todo el NLD por arriba de su nivel inicial (3 mmol/L en promedio). El comportamiento de los TG fue parecido, pero no presentaron el máximo de movilización en la primera hora. Otros parámetros del nadador tuvieron un comportamiento parecido al encontrado en este estudio.

Entrenamiento

Existen varios estudios publicados sobre el seguimiento de los atletas de élite a lo largo del entrenamiento.²⁰⁻²⁷

Como en el entrenamiento prevalecen trabajos aeróbicos y de intensidad media (comparando con los nadadores de élite en distancias olímpicas), las relaciones observadas son específicas para la natación de extrema duración.

En nuestros trabajos hemos encontrado correlación entre varios parámetros sanguíneos y los diversos tipos de entrenamiento. Por ejemplo, en la nadadora que estudiamos la urea se incrementó en sangre durante la carrera y el trabajo de fuerza, en tanto que el kilometraje total y

el trabajo aeróbico medio en la natación disminuyeron los niveles de urea y aumentaron los niveles de CK en sangre. El coeficiente de correlación más alto de esta última fue con el trabajo aeróbico medio. Este tipo de entrenamiento aumentó el umbral de lactato en el atleta, lo que le permitió mantener una velocidad alta durante más tiempo. Esto tiene consecuencias prácticas, ya que, por ejemplo, en condiciones similares de corrientes marinas y temperatura del agua, diferentes nadadores han cruzado el canal de La Mancha en un tiempo de entre 8.5 y 14 horas.

El colesterol total tuvo tendencia a una correlación positiva con el kilometraje total de la natación. Este efecto lo hemos observado durante la máxima carga de entrenamiento en atletas de élite de diferentes deportes, en particular durante el seguimiento de los marchistas de élite.²⁸ Esto significa que el colesterol total puede ser el indicador de la suficiencia de la carga del entrenamiento en deportes de resistencia, sobre todo durante los campamentos precompetitivos.

La CK, enzima de procedencia muscular, siempre aumenta drásticamente (hasta 30 veces) durante los ejercicios de extrema duración.¹² Dicho aumento ha sido interpretado como resultado de la destrucción de las células musculares, lo cual no es tan obvio, ya que el cambio de la permeabilidad de las membranas musculares podría ser responsable de una parte significativa del aumento de la CK en sangre. Además, suponemos que el proceso de destrucción de células musculares debe acompañarse de un incremento de urea en sangre. Por lo tanto, si sólo tomamos en cuenta la destrucción celular, es difícil explicar los cambios opuestos entre la CK y la urea durante la máxima carga de entrenamiento (Fig. 3B). Sin embargo, hemos observado frecuentemente este tipo de comportamiento en atletas de élite (no se presenta).

Resulta más complicado explicar el comportamiento opuesto entre la CK y la LDH durante la máxima carga de entrenamiento tomando en cuenta sólo la destrucción de las células musculares, ya que en este caso debe haber cambios sincronizados entre estas dos enzimas. La interpretación se dificulta porque la LDH procede sólo parcialmente del músculo. Una parte significativa de esta enzima proviene de otros tejidos, en particular de los eritrocitos. En diversas ocasiones hemos observado cambios opuestos entre la actividad de la CK y la fragilidad de los glóbulos rojos. Según cálculos realizados con base en datos referentes a la cantidad de LDH presente en los eritrocitos,²⁹ estas células deben dejar salir más de 10% de la enzima que contienen para que se pueda detectar un aumento de su actividad en la sangre. Por nuestra experiencia con atletas de élite, hemos observado que fre-



cuentemente se presenta hemólisis en las muestras de sangre capilar tomadas durante la máxima carga de entrenamiento, a pesar de las precauciones que se tienen para evitarlo. Por lo tanto, es probable que el aumento de la actividad de la LDH paralelo a la disminución de la CK en sangre pueda estar relacionado con la salida de la LDH de los eritrocitos por el hecho arriba mencionado.

Suponemos que el comportamiento de la hemoglobina depende de la cantidad de trabajo intenso realizado durante el entrenamiento, porque el año anterior a la realización de las pruebas aquí estudiadas, la misma nadadora se preparó para un maratón internacional de natación y su ritmo del entrenamiento aeróbico fue más alto que el desarrollado para este estudio (1 m 33 s contra 1 m 25 s por cada 100 m, respectivamente) y también fue más alto el porcentaje de natación intensa (ejercicio aeróbico medio y aeróbico intenso). En este caso observamos una disminución fuerte de la hemoglobina durante la máxima carga del entrenamiento, lo que requirió tratamiento con hierro.

Finalmente, creemos que la acumulación de conocimientos sobre la respuesta individual al entrenamiento ayudará a profundizar lo que sabemos actualmente sobre la adaptación metabólica al ejercicio con el fin de elaborar un sistema científico de seguimiento bioquímico del entrenamiento de los atletas de élite, lo cual podría ser útil para aumentar su rendimiento sin producir efectos negativos para su salud, además de servir como una alternativa contra el uso de doping.

REFERENCIAS

- McArdle WD, Glaser RM, Magel JR. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J Appl Physiol* 1971; 30: 733-8.
- Nagao N, Imai Y, Arie J, Sawada Y. The Kaike triathletes hematocrit values. *J Sport Med Phys Fitness* 1992; 32: 201-5.
- Bonifazi M, Bela E, Martelli G, Zhu B, Carli G. Blood levels of cortisol and testosterone before and after swimming exercise during training season. *Medicine and Sport Science* 1993; 39: 94-9.
- Gounsilmen D. La ciencia se ocupa de la natación. *Fiskultura y sport (Moscu)*; 1972.
- Allen DG, Westerblad H, Lännergren A. Muscle cell function during prolonged activity. *Cellular mechanisms of fatigue. Exp Physiol* 1997; 80: 587-600.
- Oberholzer F, Classen H, Moesch H, Howald H. Ultrastructural, biochemical and energy analysis of extreme duration performance (100 km run). *Schweizerische Zeitschrift fuer Sportmedizin* 1976; 24(3): 71-98.
- Pesquies PC, Morville R, Fuezennec CY, Serrurier BD. Effects of prolonged physical exercise on blood concentrations of adrenal and testicular androgens. In: Poortmans J, Niset G. (eds). *Biochemistry of exercise IV-B*. Baltimore: University Park Press; 1981, p. 245-51.
- Vuori I, Marniemi J, Rahkila P, Vainikka M. Plasma catecholamine concentrations and their responses to short-term physical exercise during and after a six-day ski-hike. In: Poortmans J, Niset G. (eds). *Biochemistry of exercise IV-B*. Baltimore: University Park Press; 1981, p. 107-14.
- Farber H, Arbetter J, Schaefer E, Hill S, Dallal G, Grimaldi R, Hill N. Acute metabolic effects of endurance triathlon. *Annals of Sports Medicine (North-Hollywood, CA)* 1987; 3(2): 131-8.
- Raffa N, Rumley AG. Clinical and biochemical changes during ninety hours of continuous basketball. *Scandinavian J of Sports Sci* 1987; 9(1): 15-9.
- Ángel D, Sèller D, Franz H, Jung K. Ultra long-distance running and the liver. *Int J of Sports Med (Auckland)* 1987; 4(4): 245-67.
- Lutoslawska G, Sendeki W. Plasma creatinase, CK-MB and lactate dehydrogenase isoenzymes in response to ironman triathlon competition. *Biology of Sports (Warsaw)* 1990; 7(3): 219-30.
- Kormanovski A, Lara E, Castañeda F, Campos R, Piñera F, Licea J. Respuesta metabólica del organismo humano durante el nado largo. *Rev Hosp Jua Mex* 2001; 68(2): 57-62.
- Kormanovski A, Lara PE, Díaz FE, Licea MJ, Piñera LF, Castañeda IF. Hipoglicemia durante el nado largo: el factor alimentario. *Revista de Hospital General* 2002, 65(3): 121-7.
- Edwards HT, Margaria R, Dill DB. Metabolic rate, blood sugar, and the utilization of carbohydrate. *Am J Physiol* 1932, 108: 203-9.
- Holloszy JO, Booth FW. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Ann Rev Physiol* 1976, 38: 273-91.
- Hochachka PW, Somero GN. *Biochemical adaptation*. Princeton University Press 1984.
- McGilvery RW. The use of fuels for muscular work. In: *Metabolic adaptation to prolonged physical exercise*. Howald H, Poortmans JR. (eds). Basel: Birkhauser Verlag; 1975, p. 12-30.
- Gollnick PD. Metabolism of substrates: energy substrate metabolism during exercise modified by training. *Fed Proc* 1985; 44: 353-7.
- Yakovlev NN. *Bioquímica deportiva. Fiskultura I sport (Moscu)* 1974.
- Gandelman AB, Ponomarev VM, Shipilov OP. Criterios bioenergéticos del entrenamiento especial de los deportistas. *Bases científicas del control médico en el sistema de educación física (Moscu)*, 1975: 72-82.
- Aylik IV. Determinación de la capacidad física de trabajo en la clínica y en el deporte. *(Moscu) Medicina* 1979.



23. Razvodovski VS. Preparados médico-biológicos destinados a elevar la capacidad deportiva de trabajo. Moscú: Edit. "DOSAAF"; 1982, p. 114-48.
24. Zalessky M. Biochemical control of endurance training. Modern athlete and coach, 1983; 21(4): 13-6.
25. Volkov NI. Biochemical adaptation during training. Moscú, 1989 (ruso).
26. Gleeson M, McDonald WA, Gripps AW, Pyne DB, Clancy RL, Fricker PA. The effect on immunity of long-term intensive training in elite swimmers. Clin Exp Immunol 1995; 102: 210-16.
27. Gleeson M, McDonald WA, Pyne DB, Clancy RL, Cripps AW, Francis JL, Friker PA. Immune status and respiratory illness for elite swimmers during a 12-week training cycle. Int J Sports Med 2000; 21(4): 302-7.
28. Kormanovski A, Licea MJ, Piñera LF, Ramírez J. Efectos del entrenamiento de altura en la preparación de los marchistas. Deporte, Ciencia, Técnica 1999; 8: 15-22.
29. Wilkinson JH. The principles and practice of diagnostic enzymology. London: Edward Arnold; 1976, p. 121.

Solicitud de sobreiros:

Dr. Alexander Kormanovski Kovsova
Instituto Politécnico Nacional
Plan de San Luis y Díaz Mirón.
Colonia Santo Tomás. 13440, México, D.F.
Tel. 5729-6000 Ext. 62826
E-mail: kormanovski@yahoo.com.mx