



# Respuesta metabólica del organismo humano durante el nado largo

Alexandre Kormanovski,\* Eleazar Lara Padilla,\*\* Francisco J. Castañeda Ibarra,\*\*  
Rafael Campos Rodríguez,\*\* Fileno Piñera Limas,\* Jacinto Licea Mendoza\*

## RESUMEN

La investigación de la respuesta metabólica por medio de análisis de la sangre durante nado largo (NL) en nadadores con diferente tipo de alimentación podría proporcionar información importante sobre los criterios de alimentación adecuada de acuerdo al comportamiento de los parámetros sanguíneos durante el ejercicio largo.

En este estudio se investiga la respuesta metabólica por medio de análisis de sangre capilar antes, durante (cada hora) y después del nado de 12 horas en un nadador alimentado con una mezcla de proteínas/hidratos de carbono como componente principal. Se midieron los siguientes parámetros: glucosa, triglicéridos, urea, ácido láctico, creatinina, proteínas totales, albúmina, globulinas, colesterol total, colesterol de alta, baja y muy baja densidad. Es posible dividir el proceso de adaptación metabólica en cuatro periodos según los cambios de los parámetros: 1) adaptación aguda (una hora); 2) intermedia (entre dos y cuatro horas); 3) avanzada (entre cuatro y ocho horas), y 4) crónica (después de ocho horas).

La secuencia de los cambios de los parámetros refleja la disminución del uso de glucosa (reservas limitadas), aumento del uso de triglicérido (reservas sin límite) y aumento del uso de las proteínas (reserva adicional) como fuentes de energía en el tercer periodo de adaptación. La creatinina, después de dos horas de nado, aumenta gradualmente hasta el fin de la prueba. La albúmina aumenta y las globulinas disminuyen durante el nado. Del perfil de colesterol se observan incremento del HDL colesterol, disminución del VLDL y LDL colesterol durante la prueba. La proporción entre HDL y LDL + VLDL colesterol disminuye durante la prueba, igual que el colesterol total. El siguiente paso del estudio es investigar la respuesta metabólica en el nadador con una alimentación exclusiva en hidratos de carbono y comparar los parámetros sanguíneos durante nado largo con el presente trabajo.

**Palabras clave:** Respuesta metabólica, organismo humano, nado largo.

## ABSTRACT

Scientific research about metabolic response, by means of blood tests, during large swimming (LS), in swimmers with several kinds of nutrients, could give us important information about suitable diet, in accordance with the variability of blood parameters during LS.

The metabolic response quantified by means of capillary blood tests, before, during (each hour) and after 12 hours of swimming, in a swimmer who was feeded with a mixture of proteins/carbohydrates, was studied. Blood parameters: glucose, triacylglycerols, urea, lactic acid, creatine kinase, total proteins, albumin, globulins, total cholesterol, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol and VLDL-cholesterol, were quantified. It is possible to separate the metabolic adaptation in four periods, in accordance with the changes in such parameters: acute (1 hour), intermediate (2-4 hours), advanced (4-8 hours) and chronic (after 8 hours) adaptation.

\* Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Medicina del IPN.

\*\* Depto. de Bioquímica, ESM del IPN.

In sequence, the changes we found were: glucose used decreased (limited storage), triacyglycerols used decreased (unlimited storage) and proteins used increased (supplementary storage), as energetic sources during advanced adaptation. Creatine kinase, after 2 hours of swimming, increased step by step until the even was finished. Albumin increased and globulins decreased during the swimming. HDL-cholesterol increased and LDL + VLDL-cholesterol decreased during the swimming, as well as total cholesterol. We are going to research the metabolic response in the same swimmer with a diet which contains just carbohydrates, in order to compare the blood parameters during the swimming with the results we obtained in this work.

**Key words:** Large swimming, diet, metabolic response, blood parameters.

## INTRODUCCIÓN

Durante los ejercicios que duran muchas horas, la alimentación es muy importante. Al trabajar con nadadores que realizan este tipo de eventos, encontramos que algunos tienen éxito consumiendo sólo hidratos de carbono (HC) como componente principal de alimentación, mientras que otros alcanzan el mismo éxito con una alimentación que contiene más proteínas que HC. Por lo regular, no es posible cambiar un esquema alimenticio por otro sin causar molestias al atleta, lo cual refleja la existencia de las diferencias individuales en el metabolismo general. Suponemos que es posible encontrar los criterios para una alimentación adecuada estudiando el comportamiento de los parámetros sanguíneos durante el ejercicio largo.

La investigación de la respuesta metabólica por medio del análisis de sangre durante el nado largo (NL) en atletas con diferente tipo de alimentación podría proporcionar información importante sobre estos criterios. En las pocas publicaciones científicas que hemos encontrado sobre la respuesta metabólica del organismo humano al nado largo<sup>1-5</sup>, casi siempre se realizan mediciones de los parámetros sanguíneos antes, después y en la recuperación de un evento de natación, pero no durante el mismo.

Con el desarrollo explosivo de los deportes de supervivencia (aventura), aumenta la demanda de estudios que resuelven los problemas de este tipo. Sin embargo, hay un retraso importante en esta rama de las ciencias aplicadas al deporte. Nuestra experiencia de trabajo en deportes de resistencia aeróbica nos permite suponer que uno de los factores determinantes tanto de la alimentación como del entrenamiento, es la capacidad individual del metabolismo energético, para usar las diferentes fuentes de energía. Esta capacidad está determi-

nada tanto hereditariamente como por el entrenamiento realizado durante años.<sup>6,7</sup> Existen varios estudios para buscar los criterios metabólicos de la capacidad física, de la adaptación adecuada al entrenamiento.<sup>8-10</sup> También se ha investigado la respuesta metabólica durante el entrenamiento en condiciones diferentes.<sup>11,12</sup> En este trabajo investigamos los cambios de varios parámetros de sangre capilar (cada hora) durante un NL de 12 horas de un nadador con alimentación basada en una mezcla de proteínas 70% e HC 30%.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras se tomaron por microtécnica, por punción en dedo, antes, durante (cada hora) y después de 12 horas de natación de un nadador de alto rendimiento de 38 años de edad. Las muestras se obtuvieron durante los tiempos de alimentación (2-3 minutos antes de tomar líquidos). Las muestras se guardaron en hielo y se centrifugaron en un tiempo no mayor de una hora después de la toma. Los sueros obtenidos se guardaron en hielo y se procesaron seis horas después del NL.

Con el uso de los tubos graduados de vidrio se midieron microvolúmenes de suero (0.001-0.005 mL) con la exactitud necesaria para minimizar la variación de la medición dentro de 1-3% (dependiendo del parámetro). Las determinaciones se realizaron por reacción enzimática, en las que se usaron estándares, sueros de control, o ambos. Con esta tecnología es posible medir más de 20 parámetros sanguíneos en 0.2 mL de suero.

El esquema de alimentación se realizó de siguiente manera: 1. Desayuno: un café y pan dulce una hora antes de nadar. A la primera hora de nado se ingirieron 250 mL de mezcla (MetRX) de proteínas (70%) e HC (30%) y 150 mL de agua. A la segunda hora de nado se ingirieron aproximadamente 400 mL de líquido (200 mL



de agua y 200 mL de líquido comercial con electrolitos diluidos con agua, a partes iguales. Esta secuencia de alimentación se repitió durante todo el NL (una hora la mezcla y otra hora el agua y los electrolitos).

El umbral anaerobio del nadador (determinado en el test 5 x 400 m) fue 1.18 m/s (1 min 25 seg/100 m). La velocidad promedio durante el NL fue 0.97 m/s (1 min 45 seg/100 m). Esta velocidad no es alta relativamente, porque el tiempo récord del nadador en el canal de La Mancha es de 1.25 m/s. Este NL de 12 horas, que inició a las 5 A.M. en el mar, con temperatura del agua de 20 °C, fue el décimo (más de seis horas) que el nadador realizó en su preparación para cruzar el canal de La Mancha. Llevaba dos años del entrenamiento especial y estaba en buena forma atlética.

## RESULTADOS

La respuesta metabólica es el resultado del proceso de adaptación metabólica del organismo al ejercicio de acuerdo con el tipo de la alimentación que recibe el nadador durante el esfuerzo. Como ya hemos mencionado, la alimentación de los nadadores que realizan NL es diferente. Nuestro nadador recibió como componente principal una mezcla de las proteínas e HC.

En la fig. 1 se presentan los cambios de glucosa (Glu, metabolismo de HC), triglicéridos (TG, metabolismo de grasa) y urea (metabolismo proteínico) durante 12 horas de nado.

Como podemos ver, la Glu aumentó en la primera hora en 12% y se mantuvo así hasta por tres horas. Hubo un decremento de 15% entre la 4ª y la 6ª hora, recuperándose después. La Glu estuvo dentro del rango normal todo el tiempo de la prueba. Los TG (fuente de ácidos grasos libres) disminuyeron progresivamente hasta la 4ª hora (50%), manteniéndose en un nivel

bajo hasta la 7ª hora, recuperándose progresivamente a partir de este momento. La urea, el producto del metabolismo proteínico, descendió en la primera hora, aumentó progresiva y muy levemente hasta la 8ª hora para, a partir de este momento, aumentar significativamente, de modo que al final de la prueba estuvo fuera del rango normal.

Analizando el comportamiento de las tres principales fuentes de energía dividimos la respuesta metabólica en cuatro periodos de adaptación durante el NL de 12 horas:

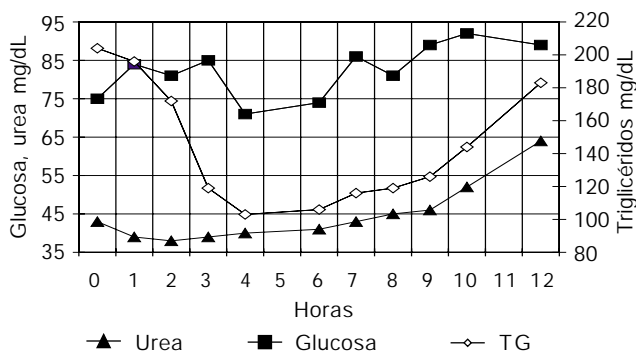
1. Adaptación aguda al inicio del ejercicio (en la primera hora, con cambios significativos de los parámetros).
2. Adaptación intermedia (entre una y cuatro horas, con disminución de Glu y TG y urea estable).
3. Adaptación avanzada (entre cuatro y ocho horas, con Glu, TG y urea estables en su nivel mínimo).
4. Adaptación crónica (después de ocho horas, con aumento moderado de Glu y aumento drástico de TG y urea)

Los cambios de los parámetros de las tres fuentes principales de energía (HC, grasa y proteínas) en la primera hora pueden ser atribuidos al inicio del ejercicio, que requiere una rápida adaptación del metabolismo energético. El decremento de Glu y TG que se presenta entre la 1ª y la 4ª hora se puede explicar por que su gasto en el proceso energético prevalece sobre la movilización de sus reservas (glucógeno y tejido adiposo). Cabe mencionar que el decremento de TG comienza más temprano que el de Glu.

En el tercer periodo, las principales fuentes de energía están en su concentración mínima, con urea estable, lo que podemos interpretar como el balance equilibrado entre el gasto y la movilización de estas fuentes de energía. Suponemos que en este periodo comienza a aumentar el uso de TG y disminuir el de HC, porque es sabido que las reservas de HC están limitadas (500 g en forma de glucógeno y Glu). Por ello, se presenta la necesidad de una fuente adicional de energía.

En el cuarto periodo, comienza a aumentar la urea significativamente, reflejando el incremento del uso de proteínas como fuente de energía. Al mismo tiempo, comienzan a aumentar paulatinamente las concentraciones de Glu y TG, probablemente por el aumento de catabolismo proteínico. Esta interpretación coincide con el conocimiento existente sobre el metabolismo energético humano.<sup>13-15</sup>

En cuanto al ácido láctico (Lactato, Fig. 2), aumenta ligeramente en la primera hora y posteriormente dismi-



**Figura 1.** Glucosa, triglicéridos y urea durante el nado.

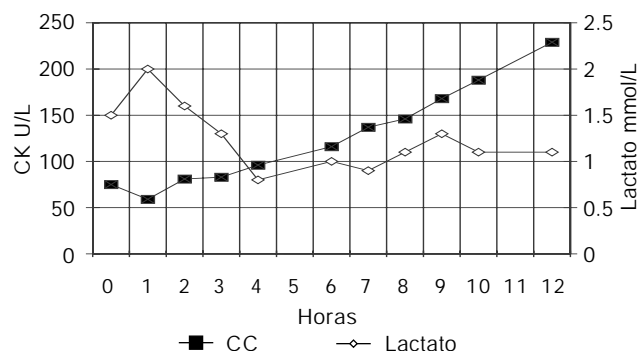


Figura 2. Creatinina y lactato durante el nado.

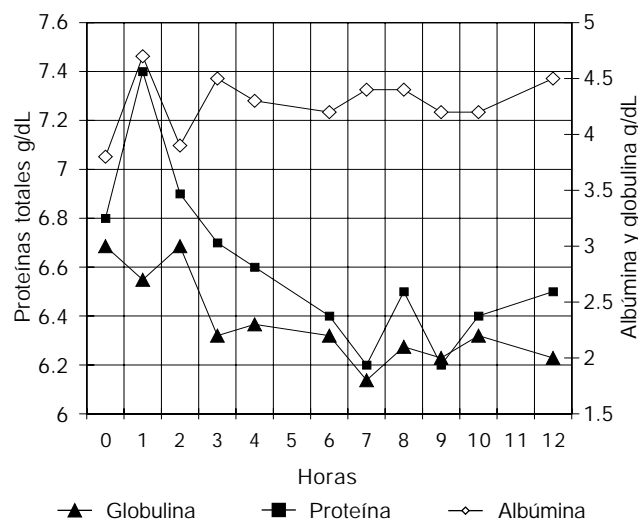


Figura 3. Perfil de proteínas durante el nado.

nuye para mantenerse en niveles bajos, reflejando el carácter aeróbico del ejercicio. Es decir, que la glucólisis anaeróbica (con producción de lactato) participa en el abastecimiento energético sólo en el periodo de la adaptación aguda, si la velocidad se mantiene constante durante el nado.

En la misma figura 2 podemos observar que la enzima muscular creatinina (CC) baja en la primera hora y después de tres horas comienza a aumentar gradualmente hasta 230 U/L (casi cuatro veces más de lo inicial y fuera del nivel superior del rango normal de 80 U/L). Suponemos que el aumento de esta enzima muscular en sangre refleja el aumento de la permeabilidad de las membranas de las células musculares, más que la destrucción de las mismas. Esto podría tener como objetivo una adaptación estructural que aumente el intercambio pasivo (por gradiente de concentración) de los compo-

nentes de peso molecular bajo entre los miocitos y la sangre, favoreciendo la eliminación de los productos tóxicos y la entrada más rápida de los nutrientes.

Entonces, si nuestra interpretación es correcta, a partir del tercer periodo de adaptación aumenta la permeabilidad de las membranas musculares. Lo interesante es que el incremento de CC coincide con los niveles estables de las principales fuentes de energía.

En el perfil de proteínas se observan cambios contrarios a los de los principales componentes (Fig. 3): la albúmina tiene una clara tendencia al incremento y las globulinas al decremento.

La albúmina es el transporte principal de los componentes liposolubles en sangre (ácidos grasos libres y esteroides, por ejemplo), por lo que está estrechamente relacionada con el metabolismo energético. Suponemos que su aumento es necesario para la adaptación metabólica (facilitar el transporte de ácidos grasos libres de tejido adiposo al músculo).

Las globulinas no están relacionadas directamente con el proceso energético. Su disminución muestra probablemente el uso de las reservas de los sistemas no ligados directamente con la producción de energía para el metabolismo energético. Entonces, la disminución de las proteínas totales está determinada por las globulinas.

El perfil de colesterol también muestra cambios opuestos (Fig. 4): El "buen" colesterol de alta densidad (HDL) aumentó importantemente (40%) en las primeras dos horas, para luego disminuir hasta la cuarta hora y terminar en un nivel elevado al final de la prueba. El colesterol de baja densidad (LDL), aunque se mantiene varias horas en su nivel, presenta una tendencia a la

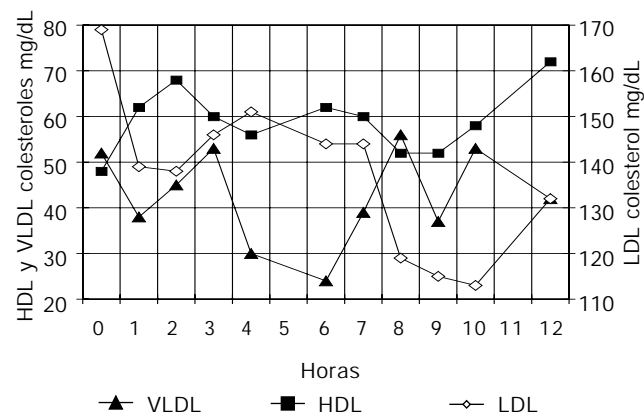
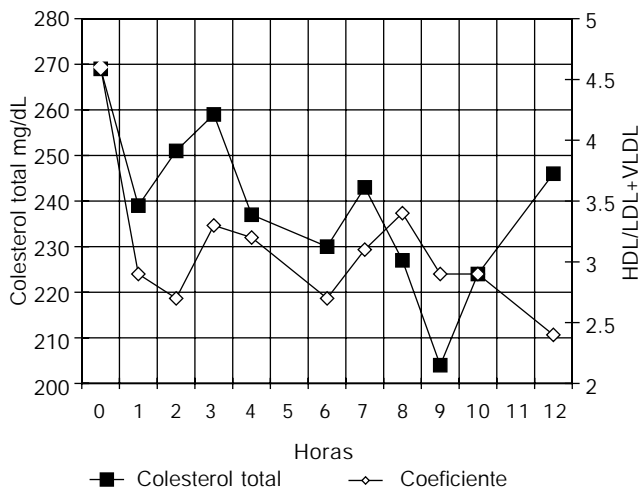


Figura 4. Perfil de colesterol durante el nado.



**Figura 5.** Colesterol total y coeficiente de riesgo de aterosclerosis durante el nado.

baja y el colesterol de muy baja densidad (VLDL) está disminuido durante casi todo el NL.

Entonces, el colesterol total y la proporción entre el colesterol "bueno" y "malo" (coeficiente de riesgo de aterosclerosis) muestra un decremento continuo durante la prueba (Fig. 5).

## DISCUSIÓN

Podemos observar claramente el efecto positivo sobre la salud del ejercicio continuo, en relación con el perfil de colesterol al disminuir significativamente el coeficiente de riesgo de aterosclerosis. El aumento del colesterol total en la última hora probablemente está relacionado con la velocidad por arriba del promedio debido a la motivación que se presenta al acercarse el fin de la prueba.

En conclusión, el HDL y VLDL colesterol tienen cambios opuestos durante el NL. Sin embargo, hay una observación interesante relacionada con este nadador: la disminución moderada del colesterol total durante tres años de entrenamiento estuvo determinada principalmente por la disminución del colesterol de muy baja densidad (VLDL), sin cambios significativos de HDL colesterol. Es decir, que el VLDL colesterol es más sensible por lo que disminuye primero como resultado del entrenamiento aeróbico.

El nadador realizó este NL de 12 horas muy tranquilo, sin ninguna molestia, por lo que podemos suponer que la alimentación fue correcta para este atleta.

Como ya contamos con su respuesta metabólica durante este NL, la comparación de estos resultados con la respuesta metabólica de otros nadadores, sobre todo los que usan con éxito solo HC como componente principal de alimentación, nos puede proporcionar información útil sobre los criterios bioquímicos de la alimentación adecuada.

## REFERENCIAS

- McArdle WD, Glaser RM, Magel JR. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J Appl Physiol* 1971; 30: 733-
- 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. *Med Sport Sci* 1993; 39: 94-9.
- Gounsilmén D. La ciencia se ocupa de natación. Trad. de inglés, Físcultura I Sport, Moscú: 1972.
- Allen DG, Westerblad H, Lännergren. Muscle cell function during prolonged activity cellular: mechanisms of fatigue. *Exp Physiol* 1997; 80: 587-600.
- Yakovlev NN. Bioquímica deportiva. Físcultura I Sport. Moscú: 1974.
- Volkov NI. Adaptación bioquímica normal en el proceso del entrenamiento deportivo. Moscú: 1989.
- Razvodovski VS. Preparados médico-biológicos destinados a elevar la capacidad deportiva de trabajo. Edit. Dosaaf; Moscú: 1982. p.114-48.
- Aylik IV. Determinación de la capacidad física de trabajo en la clínica y en deporte. Moscú: Medizina; 1979.
- Gandelsman AB, Ponomarev VM, Shipilov OP. Criterios bioenergéticos del entrenamiento especial de los deportistas. Bases científicas del control médico en el sistema de educación física. Moscú: 1975. P. 72-82.
- Zalessky M. Biochemical control of endurance training. *Modern athlete and coach*. 1983; 21(4): 13-6.
- Kormanovski A, Licea Mendoza J, Limas Pineda F, Ramírez J. Efectos de del entrenamiento en altura en la preparación de los marchistas. *Deporte, Ciencia, Técnica* 1999; 8:15-22.
- Jochachka OV, Somero D. Estrategia de la adaptación bioquímica. 1977.
- Miller WC. The biochemistry of exercise and metabolic adaptation. Brown & Benchmark; Dubuque, Iowa: 1992.
- Meerson FZ. Reglas principales de la adaptación individual. En "Fisiología de los procesos de adaptación. Edit. Nauka; Moscú: 1986. p.10-76.
- Knuttgen HG. (ed) et al. Biochemistry of exercise, Champaign, Ill. Human Kinetics Publishers; 1983.



17. Noble EG, Taylor AW. Biochemistry and physical activity. En: Bouchard C.(ed.) et al. Physical activity sciences. Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers; 1991, p. 51-5.

Solicitud de sobretiros:  
Alexandre Kormanovski  
Unidad de Medicina del Deporte  
Escuela Superior de Medicina del IPN

Plan de San Luis y Díaz Mirón  
Col. Sto. Tomás  
Deleg. Miguel Hidalgo  
11340 México, D. F.  
Tel: 5341-6039 y 5645-8569

Recibido para publicación: 1 de junio de 2001.  
Aceptado para publicación: 22 de junio de 2001.