

Función de la hormona del crecimiento en el continuum energético humano durante el ejercicio físico*

V. J. Fernández-Pastor**, J. M. Fernández-Pastor, A. M. Diego, J. R. Alvero, J. C. García y F. J. Guirado

Unidad de Fisiología
Fisiología del Ejercicio
Facultad de Medicina
Universidad de Málaga
29071 Málaga (España)

(Recibido el 12 de abril de 1991)

V. J. FERNÁNDEZ-PASTOR, J. M. FERNÁNDEZ-PASTOR, A. M. DIEGO, J. R. ALVERO, J. C. GARCÍA and F. J. GUIRADO. *Role of Human Growth Hormone on Energetic Continuum During Exercise*. Rev. esp. Fisiol., 47 (4), 223-230, 1991.

A study has been carried out in 18 healthy sedentary males (controls) and 15 trained handball players. It was programmed two different tests on cycle-ergometer: Test 1 aerobic of progressive increments of load (1 W/kg/3 min) and Test 2 (A) anaerobic (4 W/kg, during 1.5 min) and after resting 10 min., Test 2 (B) till exhaustion. The blood samples were 10 ml each collected by antecubital vein catheterization. Before, during and post-exercise recovery period HG hormone, glycaemia, lactate, and FFA were measured. It was found a correlation between HGH levels and substances of the energetic metabolism. The only exception was trained subjects test-2 possibly due to slower response of HGH. However FFA variation levels are correlated at the beginning with the increasing levels ($p < 0.001$). It is concluded that HGH can play an important role on the turn-over to get fuel to contractile process from carbohydrates to free fatty acids.

Key words: HGH, Sport, Energetic metabolism.

La somatotropa u hormona del crecimiento (HGH) posee una vida media en sangre de 30 minutos y es transformada

fundamentalmente en el hígado, en diferentes formas activas conocidas como somatomedinas, factores de crecimiento 1 y 2 y factor estimulante de la multiplicación celular, entre otros. La concentración de HGH en sangre suele ser inferior a 3 ng/ml en el varón presentando un ritmo cir-

* Trabajo realizado con Ayuda de Investigación del Consejo Superior de Deportes.

** A quien debe dirigirse la correspondencia.

cadiano con un máximo durante el primer sueño. La HGH favorece el crecimiento del músculo esquelético por su efecto anabolizante sobre el cartilago epifisario y el metabolismo proteico. El ejercicio físico eleva las concentraciones plasmáticas de HGH; a pesar de ello, su papel durante el esfuerzo no está suficientemente clarificado.

La administración de HGH se ha utilizado para la mejora del rendimiento deportivo. En el adulto entrenado da lugar a un aumento de la masa muscular, con hipertrofia y probablemente también hiperplasia. En el tejido adiposo, junto a la acción beta adrenérgica y cuando la insulina disminuye con el esfuerzo, ejerce un efecto lipolítico con liberación en el plasma de ácidos grasos no esterificados, reducción del cociente respiratorio y aumento de la cetogénesis. Posee un efecto diabético al administrarla poco antes de una sobrecarga de glucosa, cuya asimilación retrasa (11). Favorece la glucogenolisis hepática y disminuye la utilización de glucosa por la célula muscular activa alterando la función del receptor de insulina (14).

En base a las acciones de la HGH sobre los principios inmediatos, especialmente su efecto hiperglucemiante y lipolítico, así como su vinculación al ejercicio físico, se ha realizado un estudio en humanos adultos, con el fin de aportar datos que clarifiquen la función que la HGH puede desempeñar en el mantenimiento y/o relevo en el tipo de combustible aportado a las células musculares, durante diferentes formas de ejercicio.

Material y Métodos

El estudio se ha realizado en 18 varones sanos no practicantes habituales de ejercicio físico (grupo control «C») y en 15 jugadores de balonmano, de elite (entrenados «E»). Ambos grupos que tenían una edad comprendida entre los 19 y 20 años, se distribuyeron al azar para la realización

en cicloergómetro computarizado de dos tipos de pruebas de esfuerzo: Test-1) Test aeróbico máximo programado con aumentos progresivos de 1 W/kg/palier/3 min hasta 4 W/kg, con una duración total de 12 minutos. Test-2): (A) Test anaeróbico, de 1,5 min de duración a 4 W/kg, tras 2 min de calentamiento a 0,5 W/kg. (B) Finalizado el test anterior (2-A) tras un tiempo de recuperación de 10 min se les sometió a un «test máximo hasta el agotamiento», con una carga mantenida de 4 W/kg.

Las pruebas se realizaron siguiendo las normativas del ICSSPE (10), controlando en todos los casos la ingesta de una dieta estándar equilibrada durante la semana previa a la prueba que se realizó en ayunas, a las 10 am, a 60 rpm, bajo control de temperatura ambiental (20 ± 1 °C) humedad relativa (59 ± 2 %) y presión atmosférica (760 ± 2 mmHg). Durante toda la prueba se mantuvo la monitorización continua ECG en V_5 de los sujetos, controlando la frecuencia cardíaca central, la periférica mediante célula fotoeléctrica en el lóbulo de la oreja que detecta la frecuencia de los cambios de absorbancia del flujo sanguíneo periférico (12), y la presión arterial mediante esfigmomanómetro de mercurio, 0,5 min antes del cambio de cada palier.

Para la recogida de muestras sanguíneas, se cateterizó la vena antecubital, con catéter venoso (n.º 18), manteniéndola permeable y reponiendo el volumen de extracción sanguínea mediante perfusión con suero fisiológico controlado por dosificador uniendo el sistema con una llave de tres pasos (5) para evitar que el volumen de sangre extraído contribuya a la hemoconcentración (4). Un minuto antes de cada tiempo de extracción se cerró la entrada de suero, para evitar diluciones en las muestras, 30 s antes se extrajo 1 ml desechable, para retirar el suero del espacio muerto del sistema y, a continuación, se extrajeron 10 ml de sangre: 2,5 ml se mezclaron con EDTA y se centrifugaron a

3.000 rpm durante 10 min en frío (4 °C) congelando posteriormente a -40 °C el plasma sobrenadante en alícuota; los 7,5 ml restantes se centrifugaron, igualmente, y el suero obtenido se congeló de la misma forma.

Las extracciones de sangre se efectuaron en los tests 1 y 2, a los 30 min antes de la prueba, en posición de decúbito supino y las restantes muestras se obtuvieron en sedestación de la siguiente forma: en el test-1, a los 0, 3, 6, 9, y 12 min del comienzo; y en el test 2, a los 0, 2 y 3,5 min en (A). En la prueba rectangular hasta el agotamiento (B) se efectuaron tomas cada 2 min. En ambos tests, se analizó la recuperación a los 3, 15 y 30 min, igualmente en posición sentada.

En los plasmas obtenidos se determinaron por métodos enzimáticos las concentraciones de ácido láctico (13) y ácidos grasos libres (19), la glucemia se determinó por fotometría de reflectancia, en sangre total, con reactivos en fase sólida (16) y la HGH en suero, por RIA. Los datos se trataron estadísticamente realizando un análisis de la varianza y otro de regresión lineal y estudio de correlaciones en su caso, entre los parámetros en estudio.

Resultados

TEST I

HGH. — Los valores basales encontrados 30 minutos antes de comenzar el test han sido de $0,95 \pm 0,35$ en el grupo control y $0,78 \pm 0,10$ ng/ml en el grupo de entrenados (fig. 1) sin diferencia estadísticamente significativa entre ambos. Desde el comienzo del test la hormona del crecimiento se incrementa en el grupo control alcanzando un máximo al final del test de $15,2 \pm 2,87$ ng/ml. Esta elevación durante el ejercicio es estadísticamente significativa tanto en relación a la concentración de reposo ($p < 0,05$) como respecto de las concentraciones alcanzadas por el grupo de

los deportistas durante el test ($p < 0,005$). Sin embargo, la elevación de la concentración de HGH en el grupo de entrenados se produce más tardíamente a partir del

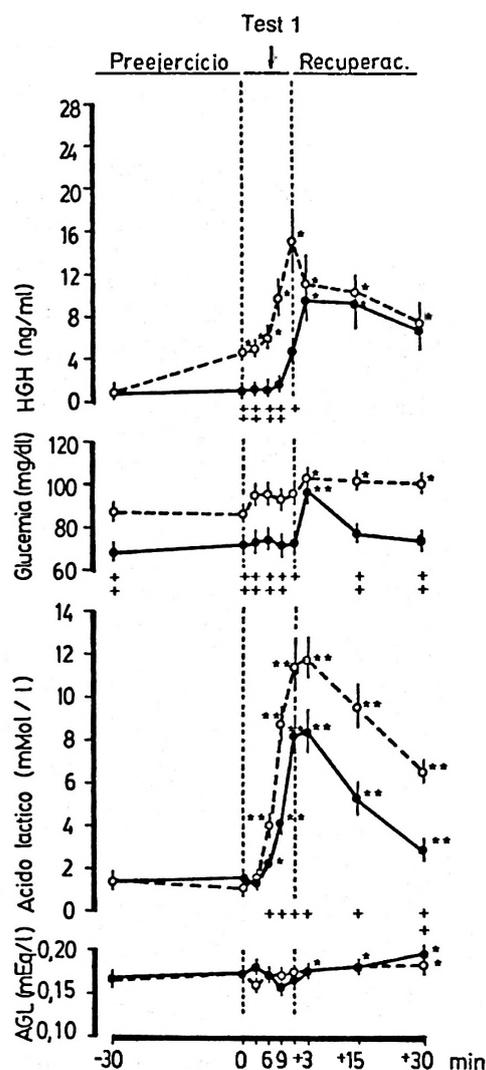


Fig. 1. Concentraciones de HGH, glucosa, ácido láctico y AGL durante el test 1 (↓).

Valores (medias \pm ESM) en relación al tiempo en minutos, del grupo control (C, - - -) y de los entrenados (E, —), sobre una población de 9 y 8, respectivamente. Significación: * $p < 0,05$ y ** $p < 0,005$ versus valor basal. Diferencia entre grupos + $p < 0,05$ y † $p < 0,005$ en eje de abscisas.

minuto 9 de ejercicio alcanzando un máximo de $9,73 \pm 1,65$ ng/ml a los 3 min de finalizado el test, con significación estadística ($p < 0,05$): A los 30 min del período de recuperación no se alcanzan los va-

lores de reposo en ninguno de los dos grupos de estudio.

Glucemia. — Los valores de reposo son mayores en el grupo control en relación con los entrenados ($p < 0,005$). Durante la realización del test no existen variaciones de la glucemia respecto del valor basal en ambos grupos pero persisten las diferencias entre ellos. A los 3 min de finalizar el test se observa un incremento significativo de la glucemia en ambos grupos en relación al reposo, que se mantiene durante toda la recuperación en los controles y se normaliza en los entrenados a los 15 min.

Ácido láctico. — Se incrementa durante el test en ambos grupos con una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,005$) respecto del valor basal, siendo este aumento mayor en el grupo control que en los entrenados ($p < 0,05$). El pico de láctico aparece a los 3 min de la recuperación y a los 30 min de finalizar el test aún no se han recuperado las concentraciones basales.

Ácidos grasos libres (AGL). — No presentan variación durante los 12 min que dura la prueba de esfuerzo, pero se incrementan en ambos grupos a partir del tercer minuto del inicio del período de recuperación ($p < 0,05$).

Análisis de regresión. — Se han encontrado correlaciones estadísticamente significativas en ambos grupos de estudio entre las concentraciones de HGH y los siguientes parámetros: glucemia ($p < 0,05$), ácido láctico ($p < 0,001$ (C) y $p < 0,05$ (E)), ácidos grasos libres ($p < 0,05$ y N.S. (E)) y AGL desde el min 9 del inicio del test ($p < 0,05$ (E)).

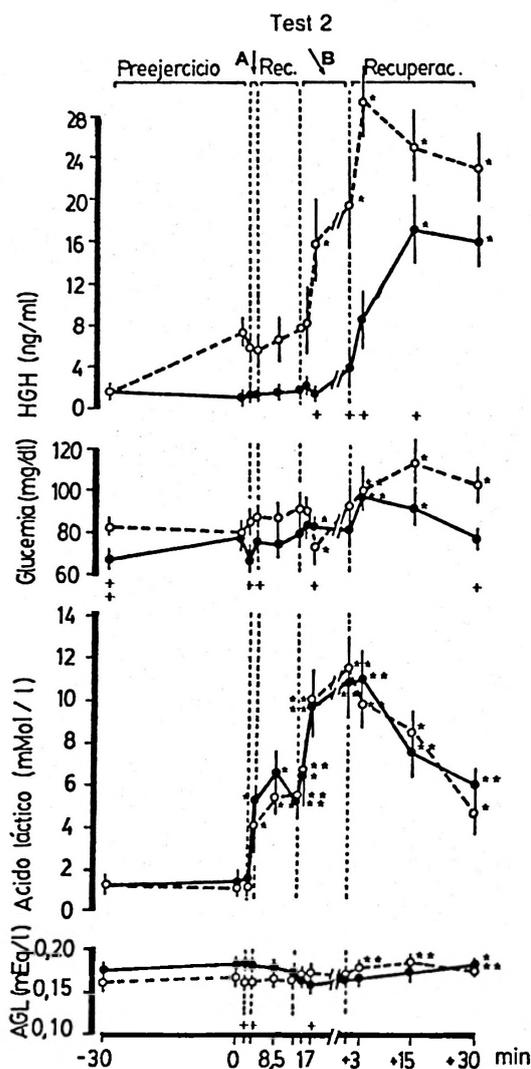


Fig. 2. Concentraciones de HGH, glucemia, ácido láctico y AGL durante el test 2 (A - B).

Valores (medias \pm ESM) en relación al tiempo en minutos, del grupo control (C, - -) y de los entrenados (E, —), sobre una población de 9 y 7 sujetos, respectivamente. Significación estadística como en la figura 1.

TEST 2

HGH. — La HGH (fig. 2) no varía en el test anaeróbico (A) en ninguno de los

grupos estudiados. En el test rectangular (B) se produce un gran incremento de la HGH en el grupo control desde los 3,5 min del inicio ($p < 0,05$) presentando un pico máximo a los 3 min de finalizar la prueba alcanzando la cifra de $29,3 \pm 2,6$ ng/ml sin llegar a recuperar los valores basales a los 30 min de la recuperación. Sin embargo, en el grupo de entrenados, no varía durante la prueba y se incrementa más tardíamente en el período de recuperación alcanzando su pico máximo a los 15 min.

Glucemia. — Existen diferencias en los valores basales entre ambos grupos ($p < 0,005$). Durante el test anaeróbico no hay variaciones de la glucemia. En el test rectangular (B) se observa un descenso significativo de la glucemia ($p < 0,05$) que coincide con el agotamiento de parte de los sujetos del grupo control (min 17), mientras que no se aprecian variaciones en los entrenados. En ambos grupos la glucemia se incrementa en el período de recuperación.

Ácido láctico. — Se incrementa en ambos grupos en los dos tests realizados sin recuperar los valores de reposo a los 30 min de finalizar el test.

Ácidos grasos libres. — No se encuentran variaciones durante los tests realizados en ambos grupos. Los ácidos grasos no esterificados se incrementan durante el período de recuperación.

Análisis de regresión. — Se han encontrado correlaciones estadísticamente significativas entre las variaciones de HGH y el resto de variables estudiadas en el grupo control y entre la HGH y los AGL desde el minuto 17 en los entrenados ($p < 0,001$).

Las frecuencias cardíacas máximas alcanzadas se encontraron en: Test-1 (C): $189 \pm 3,3$; Test-1 (E): $171 \pm 4,9$; Test-2A

(C): $155 \pm 6,1$; Test-2A (E): $159 \pm 2,1$; Test-2B (C): $183 \pm 5,1$ y Test-2B (E): $178 \pm 2,9$ lat/min.

Discusión

HGH. — Los resultados obtenidos en el test-1, indican una elevación significativa de la concentración plasmática ya desde el momento de sentarse el sujeto control en el cicloergómetro (min 0), tanto en relación con el valor basal como con los sujetos entrenados, que podría explicarse por la mayor actividad simpático-adrenal en los no entrenados. La menor respuesta de la HGH, en ambos tests al ejercicio en los sujetos entrenados sugiere una posible mejor adaptación hormonal al ejercicio ante los mecanismos estimuladores de la HGH en los deportistas.

Existe un pico máximo de HGH al finalizar el test-1 y a los 3 min de terminar el test-2 en controles, mientras que los picos máximos del grupo de entrenados se presentan siempre posteriormente al de los controles, posiblemente debido a la respuesta más tardía de la HGH en entrenados, cuya célula muscular activa se adapta mejor a las necesidades metabólicas-energéticas.

Durante la fase de recuperación, no son suficientes 30 minutos para normalizar los valores de HGH, quizá debido a que el ejercicio fue máximo. También DOBRZANSKI *et al.* (3), refiere una normalización a los 45 min de acabado el ejercicio.

Glucemia. — Las diferencias de la glucemia basal entre ambos grupos podría explicarse por una mayor actividad simpático-adrenal en sujetos controles. La glucemia tiende a mantener sus niveles y elevarse significativamente después del ejercicio en todos los casos obteniendo una más rápida recuperación los sujetos entrenados que los controles.

Las correlaciones significativas entre la HGH y la glucemia en todos los casos y

la relación inversa que existe a partir del minuto 13,5 (test 2), en que se aprecian los mayores incrementos de HGH junto con los mayores descensos de glucemia observados en sujetos controles que entran en agotamiento, sugieren que la HGH es muy probablemente estimulada durante el ejercicio, entre otros factores, por el descenso de glucemia. Esta correspondencia entre HGH-glucemia se relaciona con los hallazgos de JOHANNESSEN (8) que encuentra que la ingesta previa al esfuerzo de dietas ricas en hidratos de carbono o de infusiones de glucosa, al producir hiperinsulinemia, pueden inhibir la secreción de HGH en el ejercicio. Así mismo, hay referencias que indican que la HGH parece alterar la función de los receptores de insulina, lo cual explicaría el carácter hiperglucemiante de la HGH que favorece la producción hepática de glucosa, pero reduce la captación de glucosa por la célula muscular activa (14), lo que también es sugerido por la relación de la diabetes con la acromegalia (1).

Ácido láctico. — El incremento de ácido láctico es mayor en los sujetos controles durante el test-1, lo que indica una mejor adaptación de la célula muscular activa en los entrenados, al metabolismo aeróbico. Durante el test-2 no existen diferencias significativas entre el grupo control y el de entrenados, por lo que en ejercicios anaeróbicos y aeróbicos máximos hasta el agotamiento no existen diferencias de rendimiento metabólico-energéticas entre los grupos estudiados.

Algunos autores (15), tras detectar la presencia de receptores de ácido láctico, sugieren que éste podría ser un estímulo para la secreción de HGH durante el ejercicio. En el presente estudio, no se puede negar su posible participación en ejercicios aeróbicos (test 1) donde el ácido láctico se correlaciona significativamente con la HGH. Sin embargo, no existen evidencias al respecto en los tests anaeróbicos (test 2A) donde el ácido láctico aumenta sin va-

riación de la HGH. Además, la lenta respuesta relativa de la HGH en los individuos entrenados (test 2B) no presenta una correlación significativa con la del ácido láctico.

Ácidos grasos libres. — Se han encontrado correlaciones significativas en ambos tests entre la HGH y los AGL del grupo control, donde el aumento de la HGH es rápido y mayor. Por otro lado, como el incremento de la HGH en los entrenados es más lento (desde el min 9 en el test-1 y desde el min 17 en el test-2), cabría esperar que su posible relación con los AGL fuese más tardía, por lo que se realizó otro análisis de regresión y estudio de correlación desde el momento en el que la HGH se incrementa en los entrenados, encontrando correlaciones significativas en ambos tests. Esto plantea la existencia de una clara influencia de la HGH sobre el relevo energético, pudiendo ser ésta aún más rápida que la conocida hasta ahora (6). Por otra parte, la liberación de los AGL se puede producir incluso durante el período de recuperación (2), porque la actividad de las fuentes energéticas en el ejercicio se establecen o desaparecen de forma progresiva.

HARTOG *et al.* (7) refiere la relación HGH-AGL en ejercicios de larga duración, al encontrar tras el aumento de la HGH, un incremento del glicerol, por hidrólisis de los triglicéridos. Parece que esta relación puede establecerse a partir de unos 5 min de ejercicio (14). También parece demostrado un papel clave de la HGH en el relevo energético del metabolismo glucídico, para la obtención de energía desde los AGL (14), de forma que la HGH favorece la producción hepática de glucosa y descende la utilización de la glucosa por la célula muscular durante el ejercicio al alterar la función de los receptores de insulina, obligando indirectamente a la célula muscular activa a la obtención de energía a partir de los AGL y manteniendo los niveles de glucemia como apor-

te energético fundamental del tejido nervioso.

Resumen

Se estudia en 18 varones sanos (controles) no practicantes habituales de ejercicio físico y en 15 deportistas de balonmano (entrenados) distribuidos al azar para practicar dos tipos de tests de esfuerzo: test-1 programado en cicloergómetro con aumentos progresivos de 1 W/kg/ 3 min, test-2(A) a 4 W/kg mantenidos durante 1,5 min y tras 10 min de recuperación, y a 4 W/kg hasta el agotamiento, test-2(B). Se cateteriza la vena antecubital para proceder a la extracción de muestras sanguíneas antes, durante y tras la realización de los tests de esfuerzo. Se determinan la HGH, la glucemia, el ácido láctico y los AGL. La HGH se correlaciona significativamente con los tipos de sustancias energéticas estudiadas, a excepción del grupo de deportistas sometidos al test-2, posiblemente debido a la lenta respuesta de la HGH, concluyendo con que la HGH poseería una función clave en el relevo energético durante el esfuerzo, desde los hidratos de carbono a los AGL.

Palabras clave: HGH, Deporte, Metabolismo energético.

Bibliografía

1. Bolinder, J., Ostman, J., Werner, S. y Arner, P.: *J. Clin. Invest.*, 77, 1201-1206, 1986.
2. Bulow, J.: *Can. J. Sport Sci.*, 12, 117-119, 1987.
3. Dobrzanski, T., Zurowski, S. y Graban, W.: *Acta Physiol. Pol.*, 32, 529-536, 1986.
4. Fernández-Pastor, V. J., Diego, A. M. y Fernández-Pastor, J. M.: *Rev. esp. Fisiol.*, 44, 331-336, 1988.
5. Fernández-Pastor, V. J., Noguera, N. y Fernández-Pastor, J. M.: *Rev. Rol.*, 123, 17-19, 1988.
6. Galbo, H., Hummer, L. y Petersen, I. B.: *J. Appl. Physiol.*, 36, 101-106, 1977.
7. Hartog, M., Havel, R. J., Copinschi, G., Earll, J. M. y Ritchie, B. C.: *Quart. J. Exp. Physiol.*, 52, 86-96, 1967.
8. Johannessen, A., Hagen, C. y Galbo, H.: *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 52, 56-61, 1981.
9. Kushiro, H., Takano, K. y Fukui, I.: *Jap. J. Clin. Path.*, 15, 191, 1971.
10. Mellerowicz, H.: *Ergometría*. Panamericana. Buenos Aires, 1984.
11. Meyer, P.: «Fisiología Humana», Salvat, Barcelona, 1985.
12. Müller, E. A.: en «Ergometría» (3.ª ed.) (Mellerowicz, H., ed.), Panamericana, Buenos Aires, 1984, p. 24.
13. Noll, F.: En «Methoden der Enzymatischen Analyse» (3.ª ed.) (Bergmeyer, H. U. ed.), Verlag Chemie, Weinheim, 1974, 2, p. 1521.
14. Rizza, R. A., Mandarino, L. J. y Gerich, J. E.: *Diabetes*, 31, 663-669, 1982.
15. Rotto, D. M. y Kaufman, M. P.: *J. Appl. Physiol.*, 64, 2306-2313, 1988.
16. Stevens, J. F., Tsang, W. y Newal, R. G.: *J. Clin. Pathol.*, 36, 598-601, 1983.

