

## **Modificaciones fisiológicas inducidas por el ejercicio en adolescentes y su repercusión sobre la talla definitiva**

**Dr. Gutiérrez Sainz. A.**

Dpto. Ciencias Apoyo a la E.F.  
Instituto Nacional de Educación Física de Andalucía. Granada.

### **INTRODUCCIÓN**

La problemática de la detección precoz del talento deportivo y la predicción de su performance, nos ha llevado a ver a jóvenes de 8 a 10 años entrenarse de 20 a 25 horas por semana, 11 meses al año con el consiguiente riesgo para su salud actual y las repercusiones que a corto, medio y largo plazo puedan derivarse. Una vez más salta a la palestra el debatido tema de la especialización precoz y el entrenamiento intensivo en edades tempranas. Nuestro propósito ha sido el recoger los datos existentes en la literatura y realizar un meta-análisis en lo referente a las repercusiones del entrenamiento intenso y prolongado en un adolescente sobre el desarrollo de su estructura ósea, y por ende sobre el crecimiento y la talla definitiva.

Para tener una idea certera de las capacidades atléticas futuras es necesario esperar a que las transformaciones derivadas del crecimiento y desarrollo de un joven estén terminadas. Así, la predicción y detección de un talento deportivo se basan esencialmente en dos aspectos principales: 1) Desarrollo final resultante del crecimiento, y 2) de la calidad y cantidad del entrenamiento. Por tanto conocer los límites de su crecimiento, y las repercusiones que el entrenamiento tendrá sobre él, permite conocer los límites físicos del joven atleta.

### **MODELO DE PREDICCIÓN DE LA PERFORMANCE**

Las condiciones que se han de dar para que un atleta llegue a su máximo rendimiento son: 1) El entrenamiento, 2) un ambiente favorable, 3) factores heredados en función del deporte escogido, 4) el tiempo necesario para el desarrollo de las cualidades requeridas para la realización de su performance.

Para construir un modelo de referencia con arreglo a la predicción de un talento deportivo, primero habrá que identificar y definir los

elementos que requiere una determinada práctica deportiva, como son: a) la herencia, determinada por el genotipo, investigando en los antecedentes familiares. b) el ambiente familiar y social en el que se desenvuelve: entrenamiento, alimentación, clima, etc. c) aspectos morfo-funcionales del sujeto, evaluables en laboratorio, d) los resultados obtenidos a lo largo de su práctica deportiva. Todos estos factores van a producir cambios en el organismo del atleta, modulados por el entrenamiento y teniendo en cuenta la herencia a la que está sometido. Uno de estos cambios repercute sobre las estructuras óseas, y en función del entrenamiento será mayor o menor, y esta influencia puede ser positiva o negativa en función del momento y la intensidad con la que se lleven a cabo los entrenamientos y las cargas de trabajo a que se vean sometidos los atletas.

Durante el crecimiento la formación ósea está netamente más solicitada que su reabsorción, fenómeno imperativo al crecimiento del hueso. Son varios los factores que influyen sobre él: a) El control hormonal, b) la alimentación, c) la circulación intraósea, d) la influencia de las fuerzas mecánicas aplicadas al hueso, y e) la herencia.

La regulación del crecimiento del hueso está íntimamente ligada a la regulación de la calcemia, que se hace por dos mecanismos: uno por simple difusión entre el hueso y la sangre, suficiente para mantener una calcemia de 7 mgr/100 ml de sangre (siendo 10 el valor normal)<sup>(1)</sup>, y otro por control hormonal, siendo las principales implicadas la calcitonina, la parathormona y la vitamina D<sup>(2,3,4)</sup>.

### **REGULACION HORMONAL DEL CRECIMIENTO**

Las principales hormonas implicadas en el crecimiento óseo son: la STH (HGH) y su mediador la somatomedina-C, las hormonas tiroideas, T3, T4, el Cortisol, las hormonas sexuales y la Insulina<sup>(5,6,7,8)</sup>.

La STH es necesaria para un desarrollo tanto estatural como ponderal, estimulando la síntesis proteica y la actividad mitótica de las células. La extirpación de la hipófisis en el animal de experimentación determina un stop en el crecimiento<sup>(9,10)</sup>. Si por el contrario se le administran dosis elevadas de la misma responde con un crecimiento excesivo. Si esto se lleva a cabo en un animal adulto aparece la acromegalia, crecimiento más en espesor que en longitud de casi todos los huesos largos del organismo, salvo en algunos animales como la rata que puede desarrollar un importante crecimiento longitudinal<sup>(11)</sup>.

Las hormonas tiroideas tienen efectos similares, promoviendo la síntesis proteica y activando la síntesis de RNA mensajero<sup>(3)</sup>. Su influencia es mayor en el crecimiento de los huesos largos. En los sujetos hipotiroideos, el crecimiento está alterado fundamentalmente a nivel de los huesos largos, mientras que cabeza y tronco siguen un desarrollo normal<sup>(4,10)</sup>.

Algunos trabajos han mostrado que las hormonas tiroideas actúan aumentando el efecto de la STH, y en su ausencia, el hueso madura sin producirse un crecimiento lineal<sup>(12)</sup>. El cortisol actúa incrementando la formación de RNAm y la síntesis proteica, sin embargo a nivel periférico favorece la reabsorción ósea<sup>(3,12)</sup>, así la hipercortisolínemia engendra un retraso en el crecimiento y la maduración ósea<sup>(12)</sup>.

El principal andrógeno circulante en el adulto es la Testosterona, potente estimulador de la síntesis proteica y del crecimiento durante la adolescencia en los dos sexos, que le confiere un gran poder anabolizante<sup>(13)</sup>. Sin embargo también actúan a nivel del cartílago de conjugación, deteniendo el desarrollo de las placas de crecimiento óseo. Así, inyecciones de andrógenos a sujetos jóvenes producen rápidos incrementos de estatura que se detienen también rápidamente, teniendo como resultado final una aparición precoz de los caracteres sexuales secundarios y un freno en el desarrollo de su potencial óseo.

En la mujer los estrógenos y la progesterona parecen tener un efecto anabolizante menor, sin embargo favorecen el cierre de las placas de crecimiento, lo que explicaría por qué terminan su período de crecimiento antes que los hombres<sup>(4,9,10)</sup>.

La insulina es un mediador obligatorio para que la STH manifieste su poder anabolizante. Es probable que estas dos hormonas obren sinérgicamente en la regulación del crecimiento a pesar de su efecto opuesto en la regulación de la glicemia.

Si bien existen muchas otras hormonas que influyen el crecimiento (aldosterona, vasopresina, prolactina, etc.) las citadas hasta ahora parecen ser las que más se influyen por el entrenamiento.

## **EFECTO DEL EJERCICIO SOBRE EL CRECIMIENTO OSEO**

Se admite de forma general que el ejercicio físico es esencial para el desarrollo armónico del cuerpo, y produce una mejora significativa en el sistema cardiorrespiratorio, metabolismo, músculos..., pero falta por determinar con precisión los efectos sobre la talla definitiva si se realizan ejercicios intensos en edades tempranas.

El modelo animal ha sido utilizado con frecuencia, y ya desde el año 1933 encontramos referencias sobre ello<sup>(14)</sup>. Mientras que Steinhaus describe una osteoporosis en el animal inmovilizado con un yeso, Lamb<sup>(15)</sup> observa un incremento en la longitud de la tibia y del fémur en ratas sometidas a entrenamiento forzado de natación, mientras que el mismo entrenamiento antes de la pubertad generaba tibias más cortas. Tripton en 1972<sup>(16)</sup> describe también un retraso en el proceso de crecimiento sobre el hueso largo de la rata sometida a entrenamiento. El mismo resultado fue observado por Ho y cols<sup>(17)</sup>, sometiendo a ratas a un entrenamiento prolongado de carrera continua y sprint. El mismo resultado desfavorable sobre perros y ratones fue hallado por Gelbeck<sup>(18)</sup> y Kuskinen<sup>(19)</sup>. Sin embargo, otros autores han encontrado datos contradictorios, constatando incrementos en la talla con el ejercicio, en hamsters, lo cual se ha atribuido a una diferencia interespecie<sup>(20,21,22)</sup>. Cuando el ejercicio es menos intenso, parece haber consenso general en que favorece el crecimiento óseo<sup>(18,23)</sup>. Parece pues probable que el efecto sobre el crecimiento esté en función de la intensidad y duración del ejercicio<sup>(17,18,19,24)</sup>. Se cumple entonces en este caso la ley enunciada por Wolf: cuando el hueso sufre un stress o una tensión, produce un reflejo de adaptación (1892). Gelbeck<sup>(18)</sup> enuncia del mismo modo que cuando un hueso es sometido a una fuerte tensión, sacrificaría su potencial de crecimiento para conservar su configuración y su estabilidad.

## **EFFECTOS SOBRE EL HOMBRE**

En él los resultados son aún más contradictorios. Adams<sup>(25)</sup> dedujo de sus investigaciones ya en 1933 que un trabajo físico pesado generaba huesos más largos y pesados que en sedentarios. Buskirik<sup>(26)</sup> comprobó cómo los

jugadores de tenis de un grupo de militares tenían el brazo dominante más largo comparados con un grupo control, efecto atribuido al desarrollo muscular, que estimularía el crecimiento óseo. Kato e Isiko<sup>(18)</sup> citados por Bailey, comprobaron un cierre precoz de las epífisis terminales de las extremidades inferiores en 116 jóvenes japoneses sometidos desde su infancia a un trabajo consistente en transportar cargas muy pesadas. Larson y Shuck<sup>(27,28)</sup> describen también una disminución del crecimiento de las EE.LI. tras un entrenamiento consistente en carrera y saltos. Hasta aquí parece pues claro que un entrenamiento importante y prolongado puede disminuir e incluso detener el crecimiento de los huesos largos.

Trueta (1968), citado por Bailey<sup>(18)</sup> menciona sin embargo que una compresión enérgica intermitente del cartílago, ayudada por la gravedad, el peso del niño y la contracción muscular, son esenciales para que éste pueda tener un desarrollo óseo normal.

Hasta el momento parece imposible determinar con precisión la cantidad de stress necesaria para un desarrollo óptimo de la estructura ósea. Donde no parece haber discusión es en lo referente al aumento de la densidad y diámetro de los huesos sometidos a un stress físico, aumentando su contenido en minerales y disminuyendo su reabsorción<sup>(29,30,31,32)</sup>. La inactividad física tiene efectos opuestos, habiendo constatado hasta un 5% de pérdida de calcio y un 45% de desmineralización tras 30 semanas de reposo en cama en determinados pacientes<sup>(18)</sup>.

## **MODIFICACIONES DE LA RESPUESTA HORMONAL AL EJERCICIO**

La STH se incrementa de forma significativa durante el ejercicio, a condición de que éste sea de al menos el 60% del  $VO_2$  max y no inferior a 20 minutos<sup>(33,34)</sup>. Isgaard, en 1986<sup>(35)</sup> comprueba cómo la inyección in vivo de STH directamente sobre el cartílago de crecimiento, produce un incremento significativo sobre el mismo cartílago de la pata opuesta en el animal de experimentación. Es pues raro el hecho de que siendo tan grande la influencia de la STH, y produciéndose ésta en tan gran cantidad durante el ejercicio (incrementos de hasta un 1000%)<sup>(36)</sup> frene éste sin embargo el crecimiento longitudinal. Parece que la respuesta está en que el ejercicio inhibe también la producción de insulina<sup>(5,10,37)</sup> disminuyendo de forma concomitante la concentración de somatomedina C e IGF1, acarreando una disminución de su actividad a nivel de las placas de crecimiento epifisario.

Por otro lado, el ejercicio provoca un aumento de  $T_3$ ,  $T_4$ , que si bien tienen un efecto favorable sobre el crecimiento, dada su acción sinérgica con la STH, provocan un cierre precoz de las placas de crecimiento. La concentración de andrógenos aumenta también durante el ejercicio intenso<sup>(38,39,40)</sup> pero esto no parece ocurrir en los pre-púberes. El ejercicio parece pues favorecer por este mecanismo el desarrollo longitudinal gracias a la testosterona, pero los estrógenos, secretados en parecida proporción, aceleran el cierre de los cartílagos de crecimiento. El cortisol también sufre grandes incrementos durante el ejercicio, tardando hasta 36 horas en recuperar su valor basal<sup>(5,41,42)</sup> teniendo un efecto inhibitorio sobre el crecimiento somático. Puede inhibir además la secreción de testosterona, pudiendo a largo plazo desfavorecer el crecimiento somático.

## **CONCLUSIONES**

Tomados los datos en conjunto nos permiten extraer varias conclusiones:

1. Una tensión persistente aplicada constantemente sobre las placas de crecimiento puede inhibir el crecimiento de los huesos largos, en detrimento de la acción hormonal.
2. Una cierta cantidad de actividad física parece sin embargo necesaria para un desarrollo óseo normal.
3. El ejercicio estimula la producción de STH y cortisol, teniendo ambas un efecto antagonista sobre el crecimiento óseo.
4. El ejercicio estimula la producción de hormonas tiroideas y sexuales que tienen como efecto promover el crecimiento y la maduración ósea.
5. La acción de las diferentes hormonas tiene un efecto sinérgico, lo que implica una diferente función individual que en conjunto.

Algunos deportes, como la natación, parecen cumplir todos los requisitos para estimular un crecimiento óseo normal sin tener la principal fuente de retraso del crecimiento, el stress mecánico de los cartílagos de conjunción, lo que parece desfavorecer el crecimiento somático, estando además demostrado<sup>(43)</sup> que la concentración plasmática de STH se eleva de forma significativa más importante en ejercicios de brazos que de piernas. Existen algunos estudios que muestran cómo efectivamente los nadadores alcanzan mayor talla y presentan mayor estímulo de crecimiento durante la pubertad que otros grupos de la misma

edad y origen<sup>(44,45)</sup>. Parece pues que la natación no compromete el crecimiento óseo negativamente.

Es muy importante recordar que podemos realizar un control sobre la madurez ósea, que es a su vez uno de los índices que traducen la maduración global, a través de los métodos de Tanner y cols.<sup>(46)</sup> o de Grenlich y Pyle<sup>(47)</sup>, basados

ambas en el estudio de la radiografía de la mano. Sin embargo, la utilización del grado de madurez ósea como determinante de la performance no se puede aplicar en un niño, al menos antes de que hayan acabado otros procesos de maduración más importantes de índole central<sup>(48,49,50)</sup>. A partir de los 14 años sí parece ser un buen criterio a tener en cuenta.

## BIBLIOGRAFIA

1. PEPIN, M.M.: «Systèmes osseux et musculaire». Collection biomodules. Décarie édition. Montréal. 123 pp. 1980.
2. LOWREY, G.H.: «Growth and development of children». Height edition. Year Book Medical Publishers. Chicago, 507 pag., 1986.
3. PERONNET, F.: «Contrôle nerveux et hormonal». Collection biomodules. Décarie, ed. Montréal. 158 pag., 1980.
4. VANDER, A.J., SERHMAN, J.H., LUCIANO, D.S.: «Physiologie humaine». McGraw Hill, éditeurs Montréal. 608 pag., 1977.
5. GUIDA, H.J.: «Hormonal regulation of growth at puberty o Human growth, a multidisciplinary review». 203-212. A. Demirjian edit. Taylor and Francis publishers, 1986.
6. RARICK, G.L.: «Exercise and growth. Science and medecine of exercise and sport», 23, 440-465. Harper and brothers publishers, 1960.
7. HEBBELINCK, M.: «Methods of biological maturity assessment». Medecine Sport, vol. II, 108-117, 1978.
8. RONGIER, G.: «Répercussions des exercices physiques sur la croissance osseuse et staturale». Médecine du Sport, T. 56, n° 1, 1982.
9. FRANCHIMONT, P.: «Sécrétion normale et pathologique de la somatotrophine et des gonadotrophines humaines». Masson et Cie., éditeurs. 306 pag., 1971.
10. SHEPARD, R.J.: «Physical activity and growth». Year Book Medical Publishers, Chicago. 340 pag., 1982.
11. KAYSER, C.: «Physiologie: Historique fonction de nutrition». Tome I. Editions médicales Flammarion. Paris. 1411 pag., 1970.
12. WINTER, J.S.: «Prepuberal and puberal endocrinology». Human growth, vol. 2, chap. 7, 183-213. Falkner and Tanner, 1978.
13. KULIN, H.E.: «The physiology of adolescence in man». Hum. Biol., vol. 46, n° 1, 133-144. 1974.
14. STEINHAUS, A.H.: «Chronic effects of exercise». Physiol. review, 13, 103-147. 1933.
15. LAMB, D.R., VAN HUSS, W.D., CARROW, R.E., HEUSNER, W.W., WEBER, J.C., KERTZER, R.: «Effects of prepubertal physical training on growth, voluntary exercise, cholesterol and basal metabolism in rats». Res. Quart. Vol. 40, n° 1, 123-133, 1969.
16. TRIPTON, C.M., MATTHES, R.D., MAYNARD, J.A.: «Influence of chronic exercise on rate bone». Med. Sci. Sports Exerc. T 4, 55, 1972.
17. HO, K.V., ROY, R.R., VAN HUSS, W.O., HEUSNER, W.W., SIVE, L., CARROW, R.E.: «Effects of overtraining in two different exercise regimens and ascorbic acid intake upon the bone growth in albino rats». Exercise Physiology. F. Landry and Orban, W.A.R., 255-262, 1976.
18. BAILEY, D.A., MALINA, R.M., RASMUSSEN, R.M.: «The influence of exercise, physical activity and athletic performance on the dynamics effects of human growth». Human growth. vol 2, chap. 17, 475-505. Falkner and Tanner ed., 1978.
19. KUSKINEN, A.: «Physical training and connective tissues in young mice-physical properties of achiller tendons and long bones». Growth, 41: 123-137, 1977.
20. BORER, K.T., KELCH, R.P., EDIGTON, D.W.: «Increased growth hormone secretion and somatic growth in exercising adult hamsters». Med. Sci. Sports Exerc., vol. 8, n° 1, 58. 1976.
21. BORER, K.T., KUHN, L.R.: «Radiographic evidence for acceleration of skeletal growth in adult hamsters by exercise». Growth, 41: 1-13, 1977.
22. BORER, K.T., KELCH, R.P.: «Increased serum growth hormone and somatic growth in adult hamsters by exercise». Growth, 41. 1977.
23. BOOTHF, W., GOULD, E.W.: «Effects on training and disure on connective tissue». Exercise and sport sciences reviews, vol. 3, 83-112, 1975.
24. MATSUDA, J.J., ZARNICKE, R.F., VAILAS, A.C., PEDRINI, V.A., MAYRAND, J.A.: «Structural and mechanical of immature bone to strenous exercise». J. Appl. Physiol. 60 (6): 2028-2034. 1986.
25. ADAMS, H.E.: «A comparative anthropometric study of hard labor during youth as a stimulator of physical growth of youth colored women». The Res. Quart. Vol. 9, n° 3, 102-108, 193&.
26. BUSKIRK, E.R., ANDERSON, K.L., BROZEK, J.: «Unilateral activity and bone and muscle development in the forearm». Res. Quart., vol. 27, n° 2, 127-131, 1956.
27. LARSON, R.L.: «Physical activity and the growth and development of bone and joint structures. Physical activity human growth development». G.L. Rarick, ed New York; Academic Press, 1973.
28. SHUCK, G.R.: «Effects of athletic competition on the growth and development of junior high school boys». Res. Quart., vol. 33, n° 2, 288-298. 19162.

29. BAILEY, D.A.: «The growing child and the need for physical activity». J.G. Ablensar and Andrew, G.M. Child in sport and physiol. activity. International series on sports sciences. Vol. III, 81-93. University Park Press, Baltimore, 1976.
30. BORMS, J.: «The child and exercise: an overview». Journal of Sports Science. 4, 3-20, 1986.
31. ESPENSCHADE, A.S.: «The contributions of physical activity to growth». Res. Quart. 31 (2): 351-364, 1960.
32. LAMB, D.R.: «Influence of exercise on bone growth and metabolism». Kinesiology reviews, 3, 43-48. 1968.
33. LASSARRE, C., GIRARD, C., DURAND, J., RAYNAUD, J.: «Kinetics of human growth hormone during submaximal exercise». J. Appl. Physiol. 37 (6): 826-830. 1974.
34. SHEPHARD, R.J., SIDNEY, K.H.: «Effects of physical exercise on plasma growth hormone and cortisol levels in human subjects». Exercise and sports sciences reviews, vol. III, 1-30, 1975.
35. ISGAARD, J., NILSSON, A., LINDHAL, A., JANSSON, J.O., ISSAKSSON, O.G.P.: «Effects of local administration of GH and IGF-1 on longitudinal bone growth in rats». Am. J. Physiol. 13, 367-372.
36. GUTIERREZ, A.: «Tesis Doctoral. Estudio de las repercusiones del ejercicio físico sobre el organismo, tras el ascenso súbito a moderada altitud». Universidad de Granada, 1987.
37. LAGARDE, F.: «Santé et activité physique». College Edouard Monpetit éditeur. 127 pág. 1984.
38. BUNT, J.C.: «Hormones alterations dues at exercise». Sports Med., 3: 331-345, 1986.
39. FAHEY, T.D., DEL VALLE-ZURIS, A., OHELSEN, G., TRIEB, N., SEYMOUR, J.: «Pubertal stage differences in hormonal and hematological responses to maximal exercise in males». J. Appl. Physiol., Resp. Env. Exercise Physiol. 46 (4), 823-827, 1979.
40. SUTTON, J.R., COLEMAN, M.J., CASEY, J.H.: «Testosterone production rate during exercise». 3eme symposium international sur la biochimie de l'effort. Landry, F. and Orban, W., 227-234, 1976.
41. HARTLEY, L.H., MASON, J.W., HOGAN, R.P., JONES, L.G., KOTCHEN, T.A., MOUGEY, E.H., WHERRY, F.E., PENNINGTON, L.L., RICKETTS, P.T.: «Multiple hormonal responses to prolonged exercise in relation to physical training». J. Appl. Physiol. 33 (5): 607-610. 1972.
42. VON GLUTZ, G., LUTHI, U., HOWALD, H.: «Plasma growth hormone, aldosterone, cortisol and insulin changes in a 100-Km rn». 3éme symposium international sur la biochimie de l'effort. Landry, F. and Orban, W. 219-225. 1976.
43. KOZLOWSKI, S., CHWALBINSKA-MOANETA, J., VIGAS, M., HACTUBA-USCILKO, H., NAZAR, K.: «Greater serum GH réponse to arm than to leg exercise performed at equivalent oxygen uptake... Eur. J. Appl. Physiol. 52, 131-135, 1983.
44. ERIKSSON, B.O., BERT, K., TARANGER, J.: «Physiological analysis of young boys starting intensive training in swimming». Swimming medecine IV, vol. VI, 147-160. Eriksson and Furberg edit., University Park Press, 1978.
45. ERIKSSON, B.O., THOREN, C.: «Training girls for swiming from medical and physiological points of view, with special reference to growthV. Swimming medecine, IV, vol. VI, 3-15. Eriksson and Furber edit., University Park Press, 1978.
46. TANNER, J.M., WITEHOUSE, R.H., MARSHALL, W.A.: «Assesement of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method)». Academic Press London. 1975.
47. GREULICH, W.W., PYLE, S.I.: «Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist». Stanford University Press. London. 1959.
48. BEUNEN, O., OSTYN, M., SIMONS, J., VAN OERVEN, D., SWALUS, P., DE BEUL, O.: «A correlational analysis of skeletal maturity, anthropometric measures and motor fitness of boys 12 trough 16». Biomechanics of sports and kinanthropometry. Vol. VI, Landry, F. and Orban, W. 343-349. 1976.
49. BEUNEN, O., OSTYN, M., RENSON, R., SIMONS, J., VAN OERVEN, O.: «Motor performance as related to chronological age and maduration». R.J. Shepard and Laveillé. Physical fitness assessment: principe, practice and application. Charles, C. T. publ. Spengfield.
50. BEUNEN, O., OSTYN, M., SIMONS, J., RENSON, R., VAN OERVEN, D.: «Chronological and biological age as related to physical fitness in boys 12 to 19 years». Annals Hum. biol., vol. 8, n° 4,321-331, 1981.

**Dirección para correspondencia**  
 Dr. Angel Gutiérrez Sainz  
 C/ Dr. Azpitarte. 10-6º. I  
 18012 GRANADA