Article

La Fuerza del Músculo Extensor de la Rodilla y Las Características de la Ejecución del Salto Vertical en Chicos Pre- y Post-Púberes

Knee Extensor Muscle Strength and Vertical Jumping Performance Characteristics in Pre- and Post-Pubertal Boys

Mati Pääsuke, Jaan Ereline y Helena Gapeyevas

Instituto de Fisioterapia y Biología del Deporte, Universidad de Tartu (Estonia).

RESUMEN

La fuerza del músculo extensor de la rodilla y las características de la ejecución del salto vertical se compararon en 14 chicos pre-púberes (11 años) y 14 post-púberes (16 años). Los chicos post-púberes tenían mayores valores absolutos ($p < .05$) de la fuerza isométrica máxima (MF) y del ritmo de desarrollo de la fuerza (RFD), los valores absolutos y relacionados con la masa corporal de la máxima torsión isocinética de los músculos extensores de la rodilla a velocidades angulares de 60, 180 y 240 grados/s, así como la altura saltada en saltos en cuclillas, con contramovimiento y en caída, que los chicos pre-púberes. Este estudio indicó una incapacidad para usar el efecto positivo del ciclo de estiramiento-acortamiento en la ejecución del salto vertical en chicos pre- y post-púberes.

Palabras Clave: músculo extensor de la rodilla, salto vertical, chicos pre-púberes, chicos post-púberes

ABSTRACT

Knee extensor muscle strength and vertical jumping performance characteristics were compared between 14 pre-pubertal (11-year-old) and post-pubertal (16-year-old) boys. Post-pubertal boys had greater ($p < .05$) absolute values of maximal isometric force (MF) and rate of force development (RFD), absolute and body mass-related values of isokinetic peak torque of the knee extensor muscles at angular velocities of 60, 180 and 240°. s-1, as well as jumping height in squat, counter-movement, and drop jumps, than pre-pubertal boys. This study indicated an inability to use the positive effect of stretch-shortening cycle to vertical jumping performance in pre- and post-pubertal boys.

Keywords: knee extensor muscle, vertical jump, pre-pubertal boys, post-pubertal boys

INTRODUCCIÓN

La fuerza (potencia) máxima y explosiva del músculo son importantes características de la ejecución neuromuscular, que cambia durante los años de crecimiento, particularmente en la pubertad. Numerosos estudios en este campo se han centrado en medir la máxima fuerza isométrica o isocinética, que aporta información sobre la máxima capacidad generadora de la fuerza voluntaria de los grupos musculares, y la ejecución del salto vertical, que proporciona información sobre la producción de fuerza explosiva (producción de potencia) de los músculos extensores de la pierna midiendo la altura saltada. Está bien documentado el significativo aumento en la máxima fuerza isométrica (4, 15, 26) o en la máxima torsión isocinética a diferentes velocidades angulares (9, 14, 26), así como la altura del salto vertical (11, 15) durante la pubertad. Sin embargo, un menor número de estudios ha valorado las asociaciones entre la máxima fuerza de los músculos extensores de la pierna y la ejecución del salto vertical durante la pubertad. Sólo unos pocos estudios han informado sobre el ritmo de desarrollo de la fuerza isométrica voluntaria de los músculos extensores de la rodilla o de la pierna en niños pre- y post-púberes (11, 15).

El incremento en la fuerza máxima de los músculos durante la pubertad a menudo está asociado con el incremento en la masa muscular (18) o el área transversal (17). Algunas investigaciones demostraron un incremento significativo en la fuerza del músculo en relación con la masa corporal entre los niños de 8 años y de 13-14 años (9, 26). Sin embargo, los estudios que han usado mediciones antropométricas (8) o técnicas ultrasónicas (16) han indicado que la fuerza isométrica expresada por unidad de área transversal de los músculos parecería mantenerse inalterada durante la pubertad. Por consiguiente, las diferencias en la máxima fuerza isométrica e isocinética del músculo en relación con la masa corporal en el pre- y post-pubertad necesitan registros adicionales.

Los músculos extensores de la rodilla juegan un importante papel en muchas actividades motrices. Estos músculos tienen gran importancia en la función y estabilidad de la articulación de la rodilla así como en la prevención de las lesiones de la rodilla.

El propósito de este estudio era comparar la fuerza isométrica e isocinética de los músculos extensores de la rodilla y la ejecución del salto vertical en los chicos pre- y post-púberes. Más concretamente, estábamos interesados en examinar la máxima fuerza isométrica y el ritmo de desarrollo de la fuerza, así como la máxima torsión isocinética de los músculos extensores de la rodilla y la altura saltada en los saltos en cuclillas, con contra movimiento y en caída en chicos de 11 y 16 años. Un salto en cuclillas consiste en una acción muscular concéntrica de los músculos extensores de la pierna, mientras que el salto con contra movimiento, el salto en caída (es decir, saltar hacia abajo desde una altura) y realizar un salto vertical máximo al aterrizar, consiste en una acción muscular excéntrico-concéntrica (ciclo de estiramiento - acortamiento). Se ha mostrado que tiene un potente efecto del ciclo de estiramiento-acortamiento en la ejecución del salto vertical en los sujetos adultos jóvenes (2,6); sin embargo, apenas se comprenden las diferencias relacionadas con la edad de este potente efecto.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

Veintiocho chicos, de 11-16 años, participaban en este estudio. Los sujetos estaban distribuidos en dos grupos: chicos pre-púberes (11 años, n=14) y post-púberes (16 años, n=14) (Tabla 1). Las etapas de la pubertad estaban determinadas según los criterios de Tanner (27). Todos los chicos de 11 años estaban en la etapa 1 de Tanner y eran clasificados como pre-púberes con respecto al vello púbico y los genitales. Se obtuvo el consentimiento paterno informado antes de la participación de los niños en el experimento. Todos los chicos de 16 años estaban en la etapa 5 de Tanner y eran clasificados como post-púberes. Se obtuvo su consentimiento informado escrito. El estudio tenía la aprobación del Comité de Ética de la Universidad.

Variable	Grupos de Edad	
	Chicos pre-púberes (n=14)	Chicos post-púberes (n=14)
Edad (años)	11.4 ± 0.1	16.4 ± 0.1
Altura (cm)	152.8 ± 2.9	176.5 ± 1.7
Masa Corporal (kg)	40.3 ± 2.8	67.8 ± 2.5
Índice de Masa Corporal (kg/m2)	17.3 ± 0.5	21.8 ± 0.6

Tabla 1. *Las Características Físicas de los Grupos de Sujetos. Las variables son expresadas como M ± SE. Todas las características eran significativamente diferentes (p < .05).*

De 24 a 48 horas antes de la recogida de los datos, los sujetos conocían las instrucciones y los procedimientos para examinar la fuerza y se demostraron las pruebas del salto vertical. Esto era seguido por una sesión de práctica para familiarizar a los sujetos con los procedimientos. Se determina la pierna dominante del sujeto a partir de una preferencia dando puntapiés.

Antes de la prueba, cada sujeto realizó un período de 10 min. de calentamiento. Los chicos post-púberes efectuaron 5 min. de cicloergómetro submáximo seguido por ejercicios de estiramiento de los músculos extensores y plantarflexores de la rodilla. Los chicos pre-púberes realizaban ejercicios de carrera y estiramiento.

Dinamometría isométrica

Durante la medición de la máxima fuerza isométrica (MF) y del ritmo de desarrollo de la fuerza (RFD) de los músculos extensores de la rodilla, los sujetos se sentaban en una silla dinamométrica especialmente diseñada, con los ángulos de la rodilla y la cadera iguales a 90º y 110º, respectivamente. La posición del cuerpo de los sujetos se aseguraba con tres cintas de Velcro colocadas en el pecho, la cadera y el muslo. La fuerza isométrica de los músculos extensores de la rodilla se registró en un transductor estándar para medir esfuerzos montado dentro de una caja de metal que estaba colocada alrededor de la parte distal del tobillo de la pierna dominante sobre los maléolos usando una cinta de Velcro. Se digitalizaron las señales eléctricas del transductor para medir esfuerzos se digitalizaban en línea (Frecuencia de la muestra, 1 kHz) usando un ordenador personal. Las señales digitalizadas se almacenaban en un disco duro para su posterior análisis. Durante la prueba, se le indicaba al sujeto que reaccionara ante la señal luminosa (encendido de la lámpara de señalización, colocada a 1.5 m del sujeto) tan rápida y enérgicamente como fuera posible, estirando la pierna hacia un brazal fijado a un sistema medidor de esfuerzos, manteniendo el esfuerzo máximo mientras duraba la señal (2 s). Se realizaban tres intentos y se usaba el mejor resultado para un análisis adicional. Se permitía un período del reposo de 1 min. entre los intentos. La curva fuerza - tiempo y la señal luminosa fueron analizadas por el ordenador personal. Se calcularon la MF isométrica y el RFD, así como la fuerza en relación con el período de tiempo de 0.2 s desde el comienzo de la producción de la fuerza.

Dinamometría isocinética

La máxima torsión concéntrica isocinética (PT) de los músculos extensores de la rodilla se midió usando un dinamómetro y manual Cybex 11 (Lumex, Ronkonkoma, NY). Después de la calibración del dinamómetro, los sujetos eran sentados en la silla ajustable con apoyo para la espalda y la cadera, y eran estabilizados mediante correas en el pecho y en el muslo. El eje de rotación de la articulación de la rodilla se alineaba con el eje del brazo de la palanca del dinamómetro. La almohadilla de fuerza se situaba 3-4 cm por encima del maléolo medio, con el pie en posición de plantigrado. La rodilla de la pierna dominante se flexionaba 90º. El rango del movimiento durante la prueba se establecía usando el goniómetro con un arco desde 90º el ángulo de la rodilla hasta la extensión completa. Los sujetos debían cruzar los brazos en el pecho para aislar más los movimientos de extensión de la articulación de la rodilla. Durante la prueba, los sujetos debían estirar la rodilla tan enérgica y rápidamente como fuera posible en un rango completo de movimientos. Recibían estímulo verbal durante cada ensayo. Se realizaron tres intentos a velocidades angulares de 60, 180 y 240º/s, y se usó uno con el máximo valor de PT para un análisis adicional. El ensayo progresaba desde la velocidad angular lenta hasta la elevada. Se permitía un período de reposo de 1 min. antes y entre los intentos. Todas las mediciones de la torsión eran corregidas por la gravedad.

Pruebas de salto vertical

Las pruebas del salto vertical se realizaron sobre la plataforma de fuerza (PD3A, VISTI, Rusia) con las dimensiones de 0.75

x 0.75 m y la frecuencia natural de 150 Hz. Se realizaron tres tipos de saltos verticales máximos: saltos en cuclillas, saltos con contramovimiento, y saltos en caída. El salto en cuclillas (SJ) partía de una posición estática semi-agachado con la rodilla Àexionada 90º, seguida por la acción posterior, durante la cual los músculos extensores de la pierna y la cadera se contraían concéntricamente. El salto con contramovimiento (CMJ) partía de la postura de pie erguida, inmediatamente después de un rápido contramovimiento preparatorio que estiraba los músculos extensores de la pierna (contracción excéntrica). Esto era seguido por una extensión máxima explosiva en la dirección opuesta (contracción concéntrica). La posición inicial durante el salto en caída (DJ) era similar a la del CMJ, aunque el sujeto estaba de pie sobre una caja de 40 cm. El sujeto saltaba de la caja y rebotaba después de un breve contacto con el suelo hasta la máxima altura. El trabajo del músculo de la pierna durante el contacto con el suelo constituía el ciclo de estiramiento-acortamiento. Los sujetos debían saltar con las manos en las caderas para eliminar la influencia del impulso de balanceo del brazo. La amplitud del movimiento de la articulación de la rodilla durante cada salto se medía con un electrogoniómetro (ELGON) conectado al lado lateral de la rodilla derecha del sujeto. Antes de la prueba, los sujetos efectuaban varios ensayos preliminares. La duración del vuelo se usó para calcular la altura del salto mediante la altura de la elevación del centro de gravedad del cuerpo sobre el suelo (2). Cada salto se repetía tres veces y el mejor resultado se usaba para un análisis adicional. Se permitía un período de reposo de 1 min. entre los saltos.

Análisis estadístico

Los datos son las medias y los errores típicos de la media. El análisis de varianza de una variable (ANOVA), seguido por las comparaciones post hoc de Tukey, se usaron para analizar las diferencias entre los grupos de edad y cada uno de los ejercicios de salto vertical. Se seleccionó un nivel de $p < .05$ para indicar la significación estadística.

RESULTADOS

Los chicos post-púberes tenían mayor ($p < .05$) altura, masa corporal e índice de masa corporal que los chicos pre-púberes (Tabla 1). La MF isométrica y el RFD de los músculos extensores de la rodilla eran mayores ($p < .001$) en los chicos post-púberes que en los chicos pre-púberes (Figura 1). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p <.05$) en la MF isométrica y el RFD de los músculos extensores de la rodilla en relación con la masa corporal entre los grupos. Como muestra la Figura 2, los chicos post-púberes tenían mayor ($p <.05$) PT absoluta e isocinética relacionada con la masa corporal de los músculos extensores de la rodilla a velocidades angulares de 60, 180 y 240º/s, que los chicos pre-púberes. La altura saltada en SJ, CMJ y DJ era mayor ($p < .05$) en los chicos post-púberes que en los chicos pre-púberes (Figura 3). No se observaron diferencias significativas en la altura saltada en SJ, CMJ y DJ, ni en los chicos pre-púberes ni en los post-púberes.

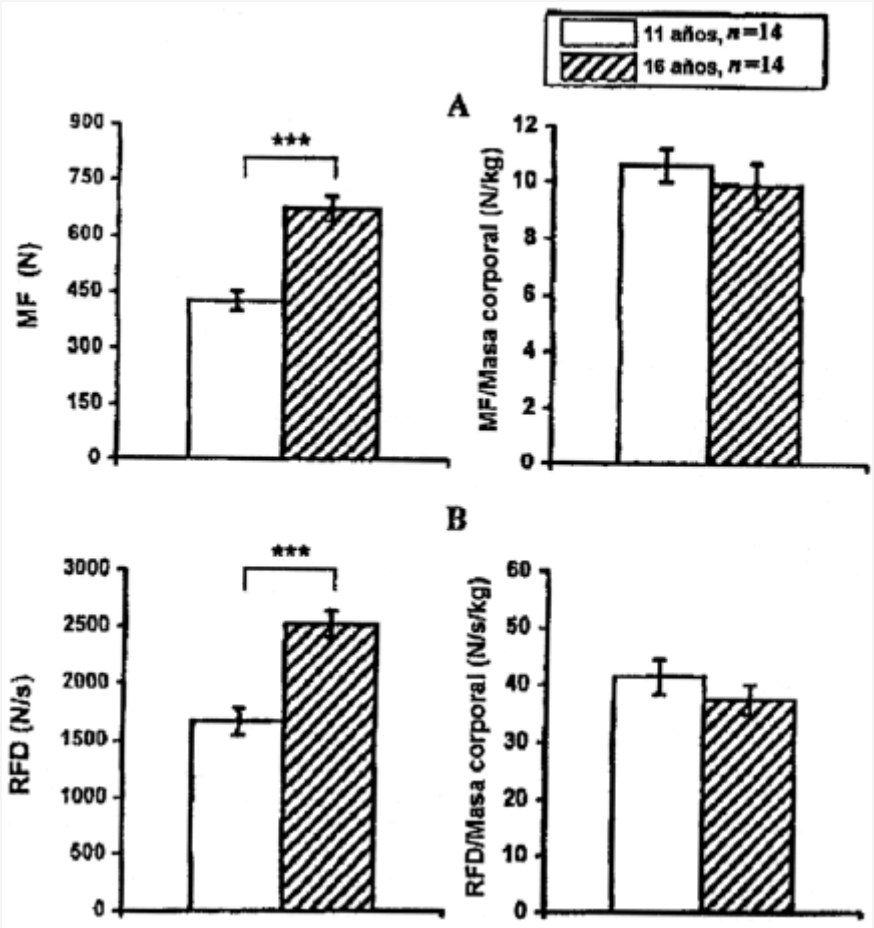

Figura 1. *Medias (±SE) de la fuerza isométrica máxima (MF) de los músculos extensores de la rodilla y de la fuerza MF relacionas con la masa corporal (A), el ritmo de desarrollo de la fuerza isométrica (RFD) de los músculos extensores de la rodilla y la RFD relacionada con la masa corporal (B) en chicos pre-púberes y post-púberes. ***p < .001.*

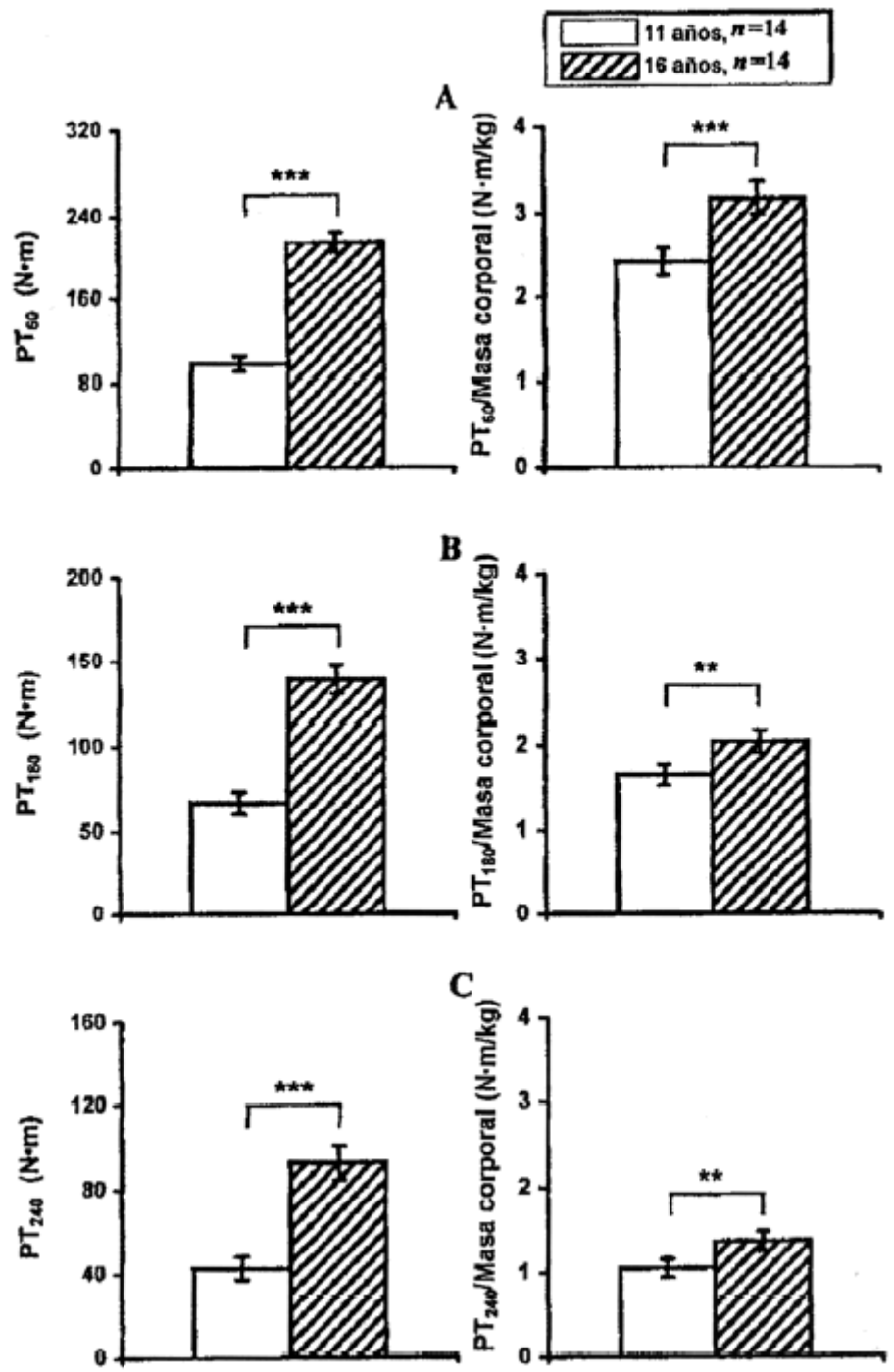

Figura 2. *Valores medios (±SE) absolutos y relacionados con la masa corporal de la máxima torsión isocinética de los músculos extensores de la rodilla a velocidades angulares de 60º/s (PT 60) (A), 180º/s (PT180) (B) y 240º/S (PT240) (C) en chicos pre- y post-púberes. **p < .001.*

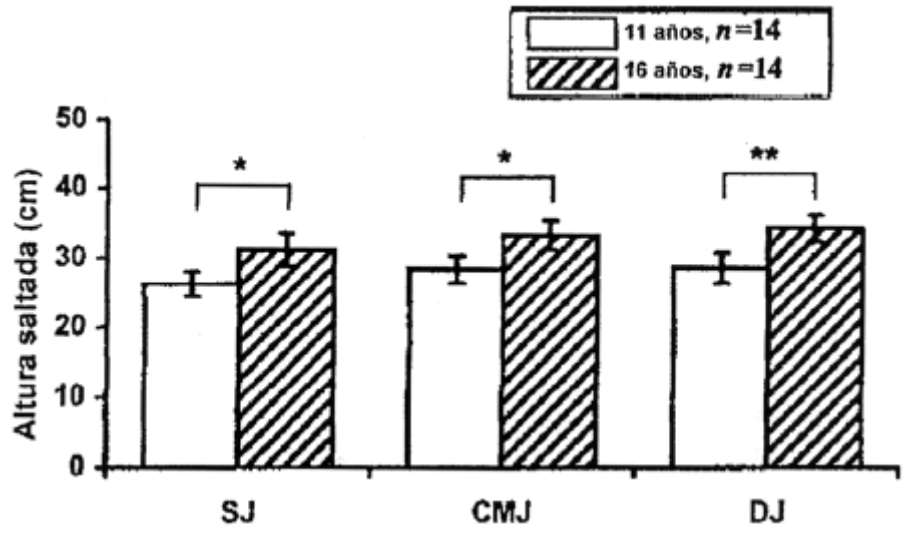

Figura 3. *Altura saltada media (±SE) en el salto en cuclillas (SJ), el salto con contramovimiento (CMJ) y el salto en caída (DJ) en chicos pre- y post-púberes. *p <.05; **p < .01.*

DISCUSIÓN

Este estudio indicó marcadamente mayor MF isométrica (36.6%) y PT isocinética de los músculos extensores de la rodilla a velocidad angular baja, media y alta (54.5%, 52.4% y 54% respectivamente) en los chicos post-púberes que en los chicos pre-púberes. El incremento en los valores absolutos de las características de la rodilla en los chicos durante la pubertad, es compatible con anteriores hallazgos (1, 21, 23). Esto principalmente se debe al incremento en el tamaño del músculo y en la dimensión del cuerpo así como en la maduración neural. Existe un rápido incremento de la fuerza muscular en los niños varones de unos 13 años, lo que corresponde al incremento en la masa muscular (18), el área transversal de los músculos (17), y ... se ha asociado con el incremento en la masa del músculo esquelético (20). Es posible que la maduración neural haya contribuido al efecto de la edad para la máxima fuerza isométrica e isocinética. Se ha sugerido que la expresión de la fuerza muscular depende de la mielinación de los nervios motores, que no se completa hasta la madurez sexual (7). La máxima capacidad generadora de la fuerza voluntaria de los músculos es muy dependiente del grado de activación de la unidad motriz (utilización y cambio de la tasa de excitación de las fibras musculares), que está influido por el desarrollo del sistema nervioso central. Blimkie (4) ha encontrado que los chicos de 16 años podrían activar voluntariamente un mayor porcentaje de sus unidades motrices disponibles durante una contracción voluntaria máxima que los chicos de 11 años.

El presente estudio indicaba un ritmo significativamente mayor (34%) de desarrollo de la fuerza isométrica voluntaria de los músculos extensores de la rodilla en los chicos post-púberes que en los chicos pre-púberes. El RFD en las contracciones isométricas y dinámicas está relacionado con la velocidad contráctil. La máxima velocidad de acortamiento determinada a partir de la curva de fuerza-velocidad está estrechamente relacionada con la velocidad de acortamiento de los sarcómeros, que correlaciona con la actividad ATPasa de la miosina (3). La activada de esta enzima en los infantes y niños pre-púberes es menor que en los adultos (10). El número de sarcómeros aumenta, y como necesaria consecuencia, la longitud del músculo aumenta con el crecimiento. Así la velocidad contráctil del músculo entero en los chicos post-púberes parece ser mayor que en los chicos pre-púberes. Además, la velocidad contráctil es muy dependiente de la activación de la unidad motriz: utilización y cambio de la tasa de excitación de las unidades motrices de contracción lenta y rápida en la contracción voluntaria. Estos dos mecanismo están influidos por factores como el desarrollo del sistema nervioso y la diferenciación de los tipos de ¿bra muscular. Por eso, los efectos de los factores mencionados aumentan gradualmente con el crecimiento (12).

Los cambios en la máxima fuerza voluntaria del músculo por unidad de masa corporal durante la pubertad son polémicos. Varios autores han observado una PT isocinética significativamente mayor de los músculos extensores de la rodilla en relación con la masa corporal en los niños post-púberes que en los niños pre-púberes (9, 26). Sin embargo, otros (13, 25) han informado sobre el incremento relacionado con la edad en la PT isocinética de los músculos extensores de la rodilla que no podría ser explicado por los cambios en la masa corporal. Sin embargo, nuestros datos indicaron claramente que el

incremento en a fuerza isocinética voluntaria durante la pubertad estaba estrechamente relacionado con el incremento en la masa corporal, aunque la máxima fuerza isométrica voluntaria y el ritmo de desarrollo de la fuerza expresado por unidad de masa corporal parecería permanecer inalterada durante la pubertad. Es posible que estas diferencias fueran atribuibles a la diferente pauta de activación de la unidad motriz entre las contracciones musculares isométricas y dinámicas.

Los saltos verticales pueden usarse como un modelo para estudiar la capacidad generadora de fuerza explosiva de las extremidades inferiores. En el presente estudio, los saltos verticales se realizaban sin (SJ) y con preliminar contramovimiento (CMJ y DJ). CMJ y DJ son ejercicios caracterizados por el llamado ciclo de estiramiento-acortamiento, en el que la acción de los músculos durante la fase excéntrica influye en la posterior fase concéntrica (2, 6). Los resultados del presente estudio indicaban que la altura saltada en los SJ, CMJ y DJ eran 16%, 15% y 16,8% menor en los chicos pre-púberes que en los chicos post-púberes, respectivamente. En general, esto está de acuerdo con hallazgos previos (11, 15). Las diferencias entre los chicos pre- y post-púberes con respecto a su ejecución del salto vertical depende de los procesos fisiológicos que tienen lugar en los sistemas muscular y nervios. Un hallazgo de este estudio era una fuerza dinámica significativamente mayor para generar la capacidad de los músculos extensores de la rodilla en los chicos post-púberes que en los chicos pre-púberes. Es bien conocido que la fuerza dinámica de los músculos extensores de la rodilla es un importante factor que limita la ejecución en los ejercicios de saltos. Otro importante factor es la coordinación y co-activación intramuscular de la actividad de los músculos agonistas-antagonistas implicados en la ejecución del salto (22). Por consiguiente, el mayor rendimiento del salto vertical en los chicos post-púberes que en los chicos pre-púberes puede ser explicado parcialmente por un incremento en la capacidad para la rápida activación neural de los músculos extensores de las extremidades inferiores.

Se ha indicado una altura significativamente mayor en los ejercicios de saltos con contramovimiento preliminar (CMJ oDJ) comparado con los SJ en los sujetos adultos (2, 24). Se han propuesto varios mecanismos para explicar el efecto positivo de un contramovimiento sobre la ejecución de la posterior acción concéntrica: (a) Permite el almacenamiento de la energía elástica que posteriormente puede re-utilizarse (2, 56); (b) desencadena los reflejos espinales de estiramiento así como las respuestas de más prolongada latencia (19) que ayudan a incrementar la estimulación del músculo durante la fase concéntrica; y (c) permite mayores movimientos de la articulación al comienzo del impulso y más producción de trabajo (5). Los resultados del presente estudio no indicaron diferencias significativas entre los SJ, CMJ y DJ desde una altura de 40 cm. ni en los chicos pre-púberes ni en los post-púberes, y por tanto, que no pueden usar el efecto positivo de un ciclo de estiramiento-acortamiento para la ejecución del salto vertical en los saltos con contramovimiento y en caída. Sin embargo, la cuestión, cómo influye la carga de estiramiento (altura de la caída) en la ejecución del salto vertical en los niños pre- y post-púberes, necesita un examen más detallado.

En resumen, este estudio ha mostrado que en los chicos la post-pubertad comparada con la pre-pubertad está caracterizada por: (a) mayores valores absolutos de la máxima fuerza isométrica voluntaria y del ritmo de desarrollo de la fuerza isocinética de los músculos extensores de la rodilla y la altura del salto vertical y (b) constantes valores de la máxima fuerza isométrica voluntaria y del ritmo de desarrollo de la fuerza de los músculos extensores de la rodilla en relación con la masa corporal. Los resultados demostraron la incapacidad para usar el efecto positivo del ciclo de estiramiento-acortamiento en la ejecución del salto vertical en los saltos con contramovimiento y en caída en los chicos pre- y post-púberes.

REFERENCIAS

1. Alexander, J. y G.E. Molnar. (1973). Muscular streght in children: preliminary report on objective standards. *Arch. Phys. Med. Rehabil. 54 :424-427.*
2. Asmussen, E. y F. Bonde-Petersen. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand. 91: 385-392.*
3. Barany, M. (1967). ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J. Gen. Physiol. 50: 197-218.*
4. Blimkie, C.J.R. (1989). Age- and sex-associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanic, endocrinologic, genetic and physical activity correlates. *In: Youth exercise and Sport, C.V.Gisolfi and D.R.Lamb (Eds.). Indianapolis, IN: Benchmark press, pp. 99-163.*
5. Bobbert, M.F., K.G. Gerritsen, M.C.A. Litjens, y A.J. van Soest. (1996). Why is counter-movement jump height greater than squat jump height. *Med. Sci. Sports Exerc. 28: 1402-1412.*
6. Bosco, C., A.Ito, P.V.Komi, P. Luhtanen, P. Rahkila, H. Rusko, y J. Viitasalo. (1982). Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol. Scand. 114: 543-550.*
7. Brooks, G.A., y T.D. Fahey. (1985). Exercise Physiology: Human Bionergetics and Its Application. *New York: Macmillan.*
8. Davies, C.T.M., M.J. White y K. Young. (1983). Muscle function in children. *Eur. J. Appl. Physiol. 52: 111-114.*
9. De Ste Croix, M.B.A., N (1999). Armostrong y J.R. Welsman. Concentric isokinetic leg strength in pre-tee, teenage and adult males and females. *Biol. Sport .16: 75-86.*

10. Drachman, D.B., y D.M. Johnston. (1973). Development of a mammalian fast muscle: dynamic and biochemical properties correlated. *J. Physiol. (Lond.) 234: 29-42.*
11. Ereline, J., J. Gapejeva, M. Pääsuke y A. Pehme. (1995). Neuromuscular performance characteristics in judoists at variosu age. *In: Papers on Antrhopology VI. Tartu: Tartu University Press, pp. 47-52.*
12. Goldspink, G. y P.S. Ward. (1979). Changes in rodent muscle fibre types during post-natal growth, undernutrition and exercise. *J. Physiol. (Lond.) 296: 453-469.*
13. Housh, T.J., G.O. Johnson, R.A. Hughes, D.J. Housh, R.J. Hughes, A.S. Fry, K.B. Kennedy y J. Cisar. (1989). Isokinetic strength and body composition of high school wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc. 21: 105-109.*
14. Housh, T.J., G.O. Johnson, D.J. Housh, J.R. Scout, L.L. Weir y J.M. Eckerson. (1996). Isokinetic peak torque in young wrestlers. *Ped. Exerc. Sci. 8: 143-155.*
15. Häkkinen, K., A. Mero y H. Kauhanen (1989). Specificity of endurance, sprint and strenght training on physical performance capacity in young athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitn. 29: 27-35*
16. Ikai, M. y T. Fukunaga. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol. 26: 26-32.*
17. Kanehisa, H., S. Ikegawa, N. Tsunoda y T. Fukunaga. (1995). Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *Int. J. Sports Med. 16: 54-60.*
18. Malina, R.M. (1986). Growth of muscle tissue and muscle mass. In: Human Growth. A Comprehensive Treatise: Postnatal Growth Neuobiology, Vol.2. *F. Faulkner y J.M. Tanner (Eds.). New York: Plenum Press, pp. 77-99.*
19. Melvill Jones, G. y D.G.D. Watt. (1971). Observations on the control of stepping and hopping movements in man. *J. Physiol. (Lond.) 219: 709-727.*
20. Mero, A., L. Jaakkola y P.V. Komi. (1990). Serum hormones and physical performance capacity in young boy athletes during 1-year training period. *Eur. J. Appl. Physiol. 60: 32-37.*
21. Molnar, G.E., J. (1979). Alexander y H. Gutfeld. Reliability of quantitative strenght measurements in children. *Arch. Phys. Med. Rehabil. 60: 218-221.*
22. Rack, P.M.H y D.R. Westbury. (1974). The short range stiffness or active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. *J. Physiol. (Lond.) 240: 331-350.*
23. Ramsay, J.A., C.J.R. Blimkie, K. Smith, S. Garner, J.D. Mac- Dougall y D.G.Sale. (1990). Strength training effects in prepubescent boy. *Med. Sci. Sports Exerc. 22: 605-617.*
24. Riera, J., F. Drobnic, P.A. Galilea y V. Pons. (1994). Comparison of two methods for the measurement of the extensor muscle dynamic force of the inferior limb: isokinetic dynamometry and vertical jump tests. *Sports Med. Training Rehabil. 5: 37-43.*
25. Seger, J.Y. y A. Thorstensson. (1994). Muscle strength and myoelectic activity in prepubertal and adult males and females. *Eur. J. Appl. Physiol. 69: 81-87.*
26. Sunnegardh, J., L.E. Bratteby, L.O. Nordesjo y B. Nordgren. (1988). Isometric and isokinetic muscle strength, anthropometry and physical activity in 8 and 13 year old Swedish children. *Eur. J. Appl. Physiol. 58: 291-297.*
27. Tanner, J.M. (1962). Growth and Adolescence. *Blackwell Scientific.*