

Ejercicio físico y masa ósea (I). Evolución ontogénica de la masa ósea e influencia de la actividad física sobre el hueso en las diferentes etapas de la vida

CARITAT BAGUR CALAFAT

Titulación de Fisioterapia. Facultad de Ciències de la Salut. Universitat Internacional de Catalunya. Barcelona. España.

RESUMEN

La mineralización de la matriz ósea crece marcadamente, a nivel de todo el esqueleto, desde la infancia hasta la adolescencia. Después, la masa ósea retarda su crecimiento en la medida que avanza la adolescencia y hasta adquirir el pico de masa ósea. A partir de la edad adulta el hueso sólo prolifera de forma natural en caso de fractura que necesita reparación.

Los beneficios del ejercicio físico sobre la densidad ósea se producen, sobre todo, en las primeras etapas de la vida. Estos beneficios, en el sentido de incremento de la densidad mineral ósea, se van diluyendo en la medida en que van pasando los años, y los incrementos de masa ósea relacionados con el ejercicio físico son raros una vez que se han superado los 50 años de edad. En etapas posteriores los beneficios del ejercicio físico para el hueso se traducen en una menor pérdida de masa ósea, es decir, estarían más en relación al efecto de ahorro que de ganancia.

PALABRAS CLAVE: Masa ósea. Ejercicio físico. Edad. Evolución ontogénica.

ABSTRACT

Bone matrix mineralization markedly increases throughout the skeleton from infancy to adolescence. From then on, bone mass growth gradually slows during adolescence until peak bone mass is reached. From adult age onwards bone only proliferates naturally in the case of fractures needing repair.

The benefits of physical activity on bone density are observed especially in the first stages of life. These benefits, particularly the increase in bone mineral density, continue to diminish with time, and increases in bone mass as a result of physical activity are unlikely after the age of 50 years. Subsequently, the benefits of physical activity on bone are related to lesser bone loss, that is, the beneficial effects relate to maintenance rather than gain.

KEY WORDS: Bone Mass. Physical activity. Age. Ontogenic changes.

INTRODUCCIÓN

La mineralización de la matriz ósea sigue un patrón evolutivo que está condicionado por diversos factores como el sexo, la herencia, el desarrollo puberal, los factores ambientales, etc. Esta mineralización crece marcadamente durante las primeras etapas de la vida, etapas en las que el organismo es más sensible a la influencia de los factores ambientales en el proceso de adquisición ósea. El ejercicio físico es un factor que tendrá una importancia capital en la aceleración de la adquisición ósea,

durante la etapa sensible del crecimiento óseo, y en su mantenimiento, en etapas posteriores.

EVOLUCIÓN ONTOGÉNICA DE LA DENSIDAD ÓSEA

La mineralización de la matriz ósea se inicia ya en el período de vida intrauterino del feto, algunas semanas antes del parto, y se incrementa de forma progresiva hasta la segunda o tercera décadas de la vida. Esta mineralización crece intensa-

mente, en todo el esqueleto, desde la infancia hasta la adolescencia. Algunas edades tienen una especial importancia en el crecimiento acelerado del esqueleto, los incrementos de masa ósea se producen mayoritariamente durante los 2 primeros años de vida y durante la pubertad¹, aumentando entre un 40 y un 60% en este último período. Estas ganancias declinan rápidamente 2 años después de la menarquia^{2,3}. Durante la pubertad la velocidad del desarrollo de los huesos en la columna y la cadera aumenta hasta aproximadamente 5 veces. Boot et al⁴ sitúan el inicio de este incremento de masa ósea a partir de los 11 años en las chicas y de los 13 en los chicos.

Hay una gran variación en el contenido y densidad ósea en relación a factores individuales como la edad y el sexo, y la mayor variabilidad se encuentra al final de la adolescencia. El tiempo de adquisición de mineral óseo durante la adolescencia está más firmemente vinculado al desarrollo puberal que a la edad cronológica^{5,6}. La masa ósea retarda su crecimiento en la medida que avanza la adolescencia, y se ha visto que la adquisición mineral ósea va por detrás del crecimiento lineal. En el The Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study^{5,7,8}, un estudio longitudinal del crecimiento óseo con chicos y chicas caucásicos, el pico de máxima adquisición ósea para los chicos se situó en una media de edad de 14 ± 1 años y para las chicas en una media de edad de $12,5 \pm 0,9$ años. De esta manera, la mayoría de ganancias rápidas en el contenido mineral óseo de todo el cuerpo se encontró que acontecían, aproximadamente, 0,7 años después de que se consiguiese el pico de crecimiento en altura⁵.

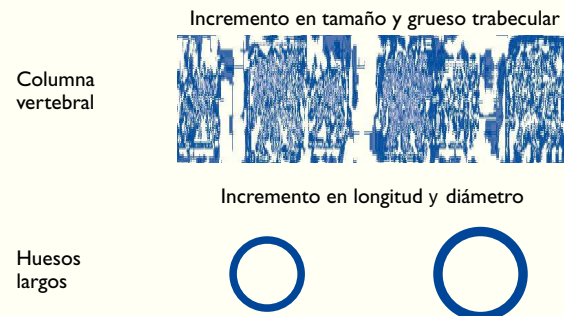
Diversos estudios postulan que el aumento de la densidad mineral ósea (DMO) durante el crecimiento sigue una trayectoria lineal positiva hasta aproximadamente los 20 años⁹, después de los cuales el pico de masa ósea (PMO) se estabiliza.

En contraste, la densidad ósea volumétrica aumenta en la columna, pero no la diáfisis femoral¹⁰. En los huesos largos el crecimiento se produce en longitud y en el área de sección transversal y/o diámetro, sin que el aumento del grueso de la cortical siga la misma proporción; por tanto, la densidad ósea volumétrica de los huesos largos cambia poco a lo largo de la infancia y la adolescencia^{10,11}. Así, se sugiere que las ganancias en masa ósea durante la adolescencia se deben en gran medida a una expansión ósea (fig. 1). Estos cambios del esqueleto son importantes clínicamente, ya que la forma y el tamaño del hueso influyen sobre la resistencia ósea independientemente del contenido mineral óseo^{12,13}.

La acumulación de masa ósea obtenida durante la adolescencia tardía^{2,14} se mantiene hasta la tercera o cuarta décadas de la vida¹⁴. A partir de la edad adulta el hueso sólo prolifera de

Figura 1

Cambios en la geometría ósea del adolescente.

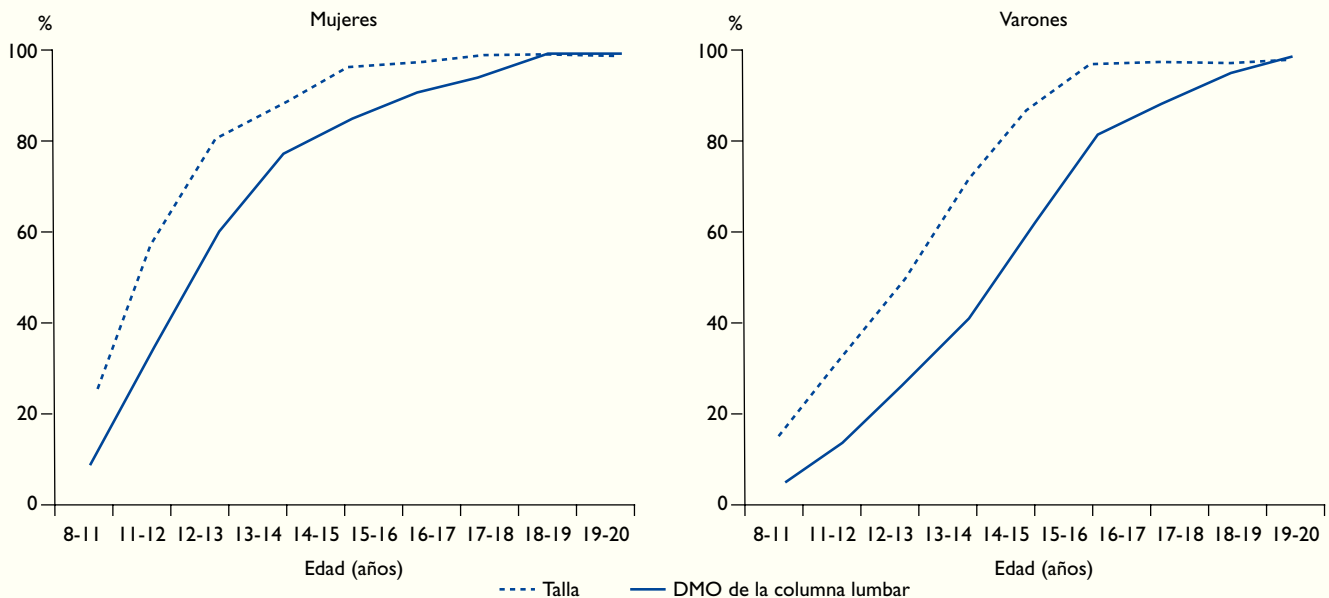


forma natural en el caso de una fractura que necesita reparación (fig. 2).

En ausencia de enfermedad orgánica, la dinámica propia del tejido óseo, de remodelación continua, una vez se ha alcanzado el PMO, da lugar a un balance negativo de masa ósea y se inicia una pérdida progresiva de ésta. El patrón de pérdida no está definido con precisión, pero en cualquier caso se puede aceptar que se produce una pérdida más o menos uniforme, que se situaría alrededor del 0,5-1% anual. Esta pérdida se hace más ostensible en la mujer en el período perimenopáusico, y especialmente en los primeros años que siguen a la menopausia. La aceleración de la pérdida ósea después de la menopausia puede ser de unos 5 a 10 años de duración, al principio de los que se puede llegar a perder un 5-8% de masa ósea anual. Después de los 65 años la pérdida ósea en la mujer se enlentece y se hace lineal, hasta alcanzar, al igual que en el varón, un ritmo de pérdida anual de aproximadamente el 0,7%.

La involución que se produce con la edad se manifiesta por una marcada reducción de la cantidad de hueso esponjoso y una disminución en el espesor del hueso cortical. Estos cambios disminuyen la resistencia y la rigidez ósea. Las pérdidas relacionadas con la edad se concentran más en el hueso trabecular que en el cortical. A lo largo de la vida la mujer puede llegar a perder el 50% de masa ósea trabecular y el 35% de la cortical. Es por esto que las fracturas relacionadas con la osteoporosis se producen en áreas anatómicas donde predomina el hueso trabecular: la cadera, la columna y la muñeca.

Cabe diferenciar el comportamiento evolutivo de la masa ósea en función del área de estudio y del predominio de hueso cortical o trabecular en estas áreas. Por medio de técnicas de cuantificación de DMO, se ha determinado que la masa ósea máxima se alcanza en diferentes etapas; según el área que se va-

Figura 2 Incremento de talla y densidad mineral ósea (DMO) en mujeres y varones. (De Theintz G et al².)

lora de éstas, la primera que se ha visto que alcanza el PMO es el fémur (aproximadamente a los 16 años en las chicas) y después la columna lumbar (aproximadamente a los 18 años), localizaciones donde aproximadamente a partir de los 16 años se produce una reducción drástica de la acumulación de masa ósea². En contrapartida, en otras localizaciones como en el radio, el cráneo y el total del cuerpo existe aún un aumento mínimo hasta los 40 años^{2,14}.

Así pues, el PMO se consigue en el hueso cortical durante la cuarta década de la vida, y en el hueso trabecular se avanza hacia el final de la segunda década¹⁵.

Visto el perfil evolutivo que presenta la masa ósea a lo largo de la vida, se justifica que el conocimiento de la mineralización durante los primeros 20-21 años de vida sea de gran interés. Además, será de gran importancia tener referencia de los parámetros de normalidad de la población de nuestro entorno, ya que la latitud, el área geográfica, los hábitos de nutrición y la raza influyen en la mineralización del esqueleto. Estudios realizados en nuestro ámbito geográfico, en diferentes comunidades autónomas españolas, coinciden en señalar los 4 primeros años de vida y la adolescencia como los períodos de máximo incremento de la DMO, aunque aumente de forma oscilante en las etapas intermedias. Las niñas presentan valores más altos de DMO respecto a los niños en los grupos de edad de 12-13 y 14-15 años, con relación a un inicio más precoz de la pubertad¹⁶.

RELACIÓN ENTRE EL PICO DE MASA ÓSEA Y SU EVOLUCIÓN POSTERIOR

El grado de densidad ósea del esqueleto a lo largo de la vida está en función de la formación ósea durante el crecimiento y de la pérdida que se produce durante los años posteriores. El contenido mineral máximo, o PMO, conseguido en el momento de mayor madurez del esqueleto, se convierte en un elemento de importancia capital, ya que actúa de banco óseo para el resto de la vida adulta^{2,17}. De su mayor o menor cantidad dependerá qué pérdida de masa ósea se podrá tolerar antes de llegar a valores críticos de resistencia ósea y a la aparición de fracturas osteoporóticas.

Por tanto, en cualquier momento de la vida adulta la masa ósea refleja el hueso que se ha ido ganando durante los años de crecimiento menos el hueso que posteriormente se ha perdido. Las teorías anteriores sobre la osteoporosis no habían considerado de forma adecuada el papel de la adquisición del hueso como determinante del retraso en la aparición del riesgo de fractura osteoporótica. Un estudio realizado con chicas blancas de entre 9 y 21 años¹⁸ muestra que alrededor del 60% del PMO final del adulto se adquiere durante el tiempo de máximo crecimiento en la adolescencia. Sólo alrededor del 5% del PMO se adquiere después de los 18 años. De esta manera, la adolescencia supone la “ventana para la oportunidad”, donde los factores genéticos, dietéticos, hormonales y otros determinan la magnitud de las

ganancias óseas. Alrededor del 80% del PMO está determinado genéticamente, pero hay una serie de factores ambientales importantes que deben tenerse en cuenta, que incluyen la ingesta de calcio y la actividad física habitual. En contrapartida, la adolescencia es también la “ventana de la vulnerabilidad” cuando se presta una atención inadecuada a todos estos factores, que puede llevar a una densidad ósea menor cuando se llega a la maduración del esqueleto. Personas que no hayan adquirido un nivel adecuado de masa ósea no necesitarán perder mucha masa ósea durante la etapa adulta para incrementar sustancialmente el riesgo de padecer osteoporosis y fractura¹⁹.

Sin embargo, las medidas preventivas no han de centrarse sólo en los períodos de crecimiento acelerado del hueso. De hecho, parece que el esqueleto responde muy bien a los cambios en el consumo de calcio o en el grado de actividad física durante los años que preceden al período de maduración sexual.

Pequeñas diferencias en el PMO representan grandes diferencias en la salud del esqueleto posterior. Las ganancias de masa ósea asociadas con el incremento de la ingesta de calcio o de la actividad física suponen una modesta, pero suficiente, influencia positiva sobre la salud del hueso. Un incremento del 5% en el PMO reduce en un 40% el riesgo de padecer osteoporosis a lo largo de la vida²⁰. Incrementos ligeramente superiores del PMO, de hasta el 7-8%, pueden significar la reducción de 1,5 veces el riesgo de fracturas osteoporóticas en la tercera etapa de la vida²¹.

Así pues, alcanzar un PMO suficiente durante los años de crecimiento, juntamente con el mantenimiento de este pico durante un tiempo suficiente durante la etapa adulta y con el control de su involución en una etapa posterior, se consideran los 3 factores determinantes de una buena salud ósea en la persona mayor²².

EFFECTOS DEL EJERCICIO FÍSICO EN LA DENSIDAD ÓSEA EN RELACIÓN CON LA EDAD

Los beneficios del ejercicio físico sobre la densidad ósea se producen, sobre todo, en las primeras etapas de la vida²³. Estos beneficios, en el sentido de incremento de DMO, se van diluyendo en la medida en que van pasando los años, y las ganancias en DMO relacionadas con el ejercicio físico son difíciles una vez se han superado los 50 años de edad. Son diversos los estudios que apoyan que el ejercicio físico durante la infancia y la adolescencia produce un aumento de la masa ósea mucho mayor que el ejercicio físico realizado durante la edad adulta, y sitúan el período óptimo para actuar en la adquisición de un PMO más elevado hasta los 2 años después de la menarquia².

Parece que los mayores beneficios están en relación al mantenimiento de unos hábitos físicamente activos en el curso de los años. Cuando el ejercicio se mantiene a lo largo de toda la vida, la DMO general y de cadera es entre un 5 y un 8% superior a las de sus homólogos inactivos, según los niveles de intensidad²⁴.

En este apartado se hará referencia a diversos trabajos que han estudiado los beneficios del ejercicio físico para la masa ósea en diferentes etapas de la vida.

Primera infancia

Son pocas las referencias que se encuentran sobre los efectos del ejercicio físico en niños pequeños. La más destacada es la de The Iowa Development Study²⁵, que es un estudio transversal en el que se examinó la asociación entre la actividad física y la masa ósea de 368 niños preescolares (rango de edad entre 4 y 6 años, con una media de 5,2 años). En este trabajo se encontró que la actividad física tenía una influencia positiva sobre el crecimiento óseo antes de la edad peripuberal y, por tanto, antes de que este crecimiento esté modulado por el desarrollo hormonal. En el trabajo de Zanker²⁶ se observó que el ejercicio de alto impacto, realizado antes de los 7 años, es beneficioso para la adquisición de hueso también en esta etapa de la vida, de la misma manera que se ha podido contrastar en etapas posteriores.

Etapas prepuberal

En los prepúberes, numerosos estudios consultados²⁷⁻³³ asignan ganancias del 2 al 4%²⁴ de promedio de la masa ósea general, de columna y de cadera en practicantes de diferentes programas de ejercicio físico, respecto a sus controles. Los ejercicios de fuerza y los de alto impacto, como los saltos, son los que resultan más beneficiosos en este grupo de población.

Sin embargo, también se ha podido constatar que el ejercicio de impacto con una base aeróbica reporta beneficios para el hueso de los sujetos prepúberes. En un estudio realizado con niñas premenárquicas y posmenárquicas, que realizaban 2 sesiones semanales de aeróbic (*steps*) complementadas con un programa de saltos durante un período de 9 meses, se observó que las premenárquicas tenían un contenido mineral óseo significativamente incrementado, en la columna lumbar y en el cuello del fémur, respecto a las niñas del grupo control. Al contrario, en el grupo de las posmenárquicas no se mostraron cambios significativos en el contenido mineral óseo. Por tanto, el ejercicio antes de la menarquia parece más beneficioso

para la adquisición de la masa ósea que después; este hecho se desarrolla principalmente durante el período de la estirada puberal³⁴.

Adolescentes

En poblaciones adolescentes, hay estudios que recogen ganancias de masa ósea, registradas con densitometría, para los practicantes de ejercicio físico incluso superiores al 10-20% respecto a sus controles inactivos; estas ganancias están en relación con el grado de maduración y el peso corporal^{4,5,9,35-42}. Este período de la vida es el que presenta la mejor oportunidad no sólo para ganar densidad ósea, sino también para modificar el tamaño del esqueleto y su arquitectura en respuesta a las cargas mecánicas relacionadas con el ejercicio físico³⁵.

En estos 2 grupos de edad, en la etapa peripuberal y la adolescencia, donde la participación en competiciones deportivas está más extendida, los jóvenes atletas de elite pueden aumentar el tamaño óseo y el contenido mineral en relación a su práctica deportiva⁴³. No obstante, incluso las actividades diarias, como los juegos, el baile y las clases de educación física, pueden estimular la salud ósea^{5,37}. En un estudio longitudinal de 6 años de seguimiento, The Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study⁵, ya referenciado con anterioridad, encontraron que la mayoría de niños y niñas activos tenían unas ganancias significativamente mayores en el contenido mineral óseo de todo el cuerpo, de la columna y del cuello del fémur durante la adolescencia, si realizaban actividades físicas, que sus compañeros inactivos. La máxima correlación ($r = 0,47$, con una significación de $p < 0,05$) entre actividad física y el pico de máxima adquisición de contenido mineral óseo, fue en las chicas y en la columna vertebral.

Adultos jóvenes

En estudios con adultos jóvenes de ambos sexos^{35,38,44-50} sometidos a muy diversos programas de ejercicio aeróbico o con pesas, de hasta 3 h a la semana, se han encontrado aumentos de la DMO respecto al grupo control que varían, después de los años, entre el 2 y el 9%, dependiendo de la localización, de la duración y de la intensidad del ejercicio. Sin embargo, las ganancias anuales son mucho más modestas, ya que van del 1 al 3% durante el primer año de ejercicio, con ganancias mucho más escasas, en caso de existir, en los años siguientes⁵¹. No queda claro, en este grupo de población, si el mantenimiento del ejercicio físico habitual durante varios años produce beneficios continuados, acumulativos sobre la DMO, o si los efectos po-

sitivos del ejercicio se detienen después de una respuesta inicial y se produce un estancamiento.

Adultos mayores

En diferentes estudios con mujeres pre y perimenopáusicas, revisados por Peña²⁴, que realizaban muy diversos programas de ejercicio físico que iban desde las labores domésticas hasta programas de levantamiento de pesas, también encontraron mejoras en la DMO de las mujeres activas respecto a sus controles inactivas. La mayoría de estudios presentaron ganancias que iban del 1 al 2,8%, según la actividad realizada, las localizaciones del esqueleto y los tiempos de duración de la intervención, que en casi todos estaba entre los 0,5 y los 2 años. En esta etapa los efectos del ejercicio físico, en el sentido de incremento de masa ósea, se van diluyendo, hasta el punto de que en algunos trabajos controlados no se encuentra un efecto significativo sobre la DMO de la mujer premenopáusica⁵².

Se han publicado numerosos estudios sobre el efecto del ejercicio físico sobre la DMO de la mujer menopáusica. Los resultados de estos estudios, en general, dan ganancias de masa ósea más modestas que en etapas anteriores. A pesar de ello, las diferencias entre las mujeres activas y las sedentarias muchas veces se encontraron en relación a una menor pérdida de DMO de las que realizaban ejercicio físico en relación a las inactivas, es decir, la diferencia se producía más por el efecto de ahorro que de ganancia. En una revisión sistemática de ensayos clínicos, Wallace⁵³ concluyó que las mujeres posmenopáusicas activas mejoraban su DMO en menos del 1% o al menos conservaban su masa ósea, mientras que los grupos controles, inactivos, perdían por encima del 1 o el 2% anual. En una revisión de la Cochrane⁵⁴ sobre el ejercicio como factor preventivo y de tratamiento de la osteoporosis en la mujer posmenopáusica, se concluyó que, en este grupo de edad, tanto los ejercicios aeróbicos como los de carga fueron beneficiosos para la DMO de la columna, y que caminar lo fue para la columna y también para la cadera.

Personas mayores

En la tercera edad, en ensayos clínicos en los que se estudió el efecto del ejercicio físico se recogieron resultados de mejora en el equilibrio, en la fuerza y en el volumen muscular, en la coordinación, en la resistencia a fatiga y en la calidad de vida, aunque no siempre se obtuvieron mejoras en la densitometría. Los beneficios derivados del ejercicio físico en este grupo de población pueden contribuir a la prevención de fracturas, a pesar de que éstos, muchas veces, no repercutan directamente en la mejora de la cantidad de hueso.

Bibliografia

1. Del Rio L, Carrascosa A, Pons F, Gusinye M, Yeste D, Domech FM. Bone mineral density of the lumbar spine in white Mediterranean Spanish children and adolescents: changes related to age, sex, and puberty. *Pediatr Res.* 1994;35:362-6.
2. Theintz G, Buchs B, Rizzoli R, Slosman D, Clavien H, Sizonenko PC, et al. Longitudinal monitoring of bone mass accumulation in healthy adolescents: evidence for a marked reduction after 16 years of age at the levels of lumbar spine and femoral neck in female subjects. *J Clin Endocrinol Metab.* 1992;75:1060-5.
3. Saggese G, Baroncelli GI, Bertelloni S. Osteoporosis in children and adolescents: diagnosis, risk factors, and prevention. *J Pediatr Endocrinol Metab.* 2001;14:833-59.
4. Boot AM, de Ridder MA, Pols HA, Krenning EP, de Muinck Keizer-Schrama SM. Bone mineral density in children and adolescents: relation to puberty, calcium intake, and physical activity. *J Clin Endocrinol Metab.* 1997;82:57-62.
5. Bailey DA, McKay HA, Mirwald RL, Crocker PR, Faulkner RA. A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the university of Saskatchewan bone mineral accrual study. *J Bone Miner Res.* 1999;14:1672-9.
6. Bonjour JP, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R. Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. *J Clin Endocrinol Metab.* 1991;73:555-63.
7. Bailey DA. The Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study: bone mineral acquisition during the growing years. *Int J Sports Med.* 1997;18 Suppl 3:S191-4.
8. Whiting SJ, Vatanparast H, Baxter-Jones A, Faulkner RA, Mirwald R, Bailey DA. Factors that affect bone mineral accrual in the adolescent growth spurt. *J Nutr.* 2004;134:S696-700.
9. Valdimarsson Ö, Kristinsson JO, Stefansson SO, Valdimarsson S, Sigurdsson G. Lean mass and physical activity as predictors of bone mineral density in 16-20-year old women. *J Intern Med.* 1999;245:489-96.
10. Seeman E. From density to structure: growing up and growing old on the surfaces of bone. *J Bone Miner Res.* 1997;12:509-21.
11. Lu PW, Cowell CT, Lloyd-Jones SA, Briody JN, Howman-Giles R. Volumetric bone mineral density in normal subjects, aged 5-27 years. *J Clin Endocrinol Metab.* 1996;81:1586-90.
12. Faulkner KG, Cummings SR, Black D, Palermo L, Gluer CC, Genant HK. Simple measurement of femoral geometry predicts hip fracture: the study of osteoporotic fractures. *J Bone Miner Res.* 1993;8:1211-7.
13. Gilsanz V, Loro ML, Roe TF, Sayre J, Gilsanz R, Schulz EE. Vertebral size in elderly women with osteoporosis. Mechanical implications and relationship to fractures. *J Clin Invest.* 1995;95: 2332-7.
14. Matkovic V, Jelic T, Wardlaw GM, Ilich JZ, Goel PK, Wright JK, et al. Timing of peak bone mass in Caucasian females and its implication for the prevention of osteoporosis. Inference from a cross-sectional model. *J Clin Invest.* 1994;93:799-808.
15. Gilsanz V, Gibbens DT, Carlson M, Boechat MI, Cann CE, Schulz EE. Peak trabecular vertebral density: a comparison of adolescent and adult females. *Calcif Tissue Int.* 1988;43:260-2.
16. Marco M, Méndez MJ, Ruiz JC. Variaciones de la densidad y de la concentración mineral ósea entre distintas comunidades. *An Esp Pediatr.* 2000;52:319-26.
17. Recker RR, Davies KM, Hinders SM, Heaney RP, Stegman MR, Kimmel DB. Bone gain in young adult women. *JAMA.* 1992;268:2403-8.
18. Katzman DK, Bachrach LK, Carter DR, Marcus R. Clinical and anthropometric correlates of bone mineral acquisition in healthy adolescent girls. *J Clin Endocrinol Metab.* 1991;73:1332-9.
19. Heaney RP, Abrams S, Lawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, et al. Peak bone mass. *Osteoporos Int.* 2000;11: 985-1009.
20. Hui SL, Slemenda CW, Johnston CC Jr. Age and bone mass as predictors of fracture in a prospective study. *J Clin Invest.* 1988;81:1804-9.
21. Henderson NK, White CP, Eisman JA. The roles of exercise and fall risk reduction in the prevention of osteoporosis. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 1998;27:369-87.
22. Chesnut CH, III. Theoretical overview: bone development, peak bone mass, bone loss, and fracture risk. *Am J Med.* 1991;91:S2-4.
23. Bailey DA, Martin AD. Actividad física y salud del esqueleto en adolescentes. *PublicESstandard.* 2003. Disponible en: <http://www.sobrenentrenamiento.com/PublicE/Home.asp>
24. Peña A. Efectos del ejercicio físico sobre la masa ósea y la osteoporosis. *Rehabilitación.* 2003;37:339-53.
25. Janz KF, Burns TL, Torner JC, Levy SM, Paulos R, Willing MC, et al. Physical activity and bone measures in young children: the Iowa bone development study. *Pediatrics.* 2001;107:1387-93.
26. Zanker CL, Gannon L, Cooke CB, Gee KL, Oldroyd B, Truscott JG. Differences in bone density, body composition, physical activity, and diet between child gymnasts and untrained children 7-8 years of age. *J Bone Miner Res.* 2003;18:1043-50.
27. Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, et al. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res.* 1998;13:500-7.
28. Bradney M, Pearce G, Naughton G, Sullivan C, Bass S, Beck T, et al. Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: a controlled prospective study. *J Bone Miner Res.* 1998;13:1814-21.

29. Gunnes M, Lehmann EH. Physical activity and dietary constituents as predictors of forearm cortical and trabecular bone gain in healthy children and adolescents: a prospective study. *Acta Paediatr.* 1996;85:19-25.
30. Laing EM, Wilson AR, Modlesky CM, O'Connor PJ, Hall DB, Lewis RD. Initial years of recreational artistic gymnastics training improves lumbar spine bone mineral accrual in 4- to 8-year-old females. *J Bone Miner Res.* 2005;20:509-19.
31. McKay HA, Petit MA, Schutz RW, Prior JC, Barr SI, Khan KM. Augmented trochanteric bone mineral density after modified physical education classes: a randomized school-based exercise intervention study in prepubescent and early pubescent children. *J Pediatr.* 2000;136:156-62.
32. Morris FL, Naughton GA, Gibbs JL, Carlson JS, Wark JD. Prospective ten-month exercise intervention in premenarcheal girls: positive effects on bone and lean mass. *J Bone Miner Res.* 1997;12:1453-62.
33. Van den Bergh MF, DeMan SA, Witteman JC, Hofman A, Trouerbach WT, Grobbee DE. Physical activity, calcium intake, and bone mineral content in children in The Netherlands. *J Epidemiol Community Health.* 1995;49:299-304.
34. Heinonen A, Sievanen H, Kannus P, Oja P, Pasanen M, Vuori I. High-impact exercise and bones of growing girls: a 9-month controlled trial. *Osteoporos Int.* 2000;11:1010-7.
35. Kemper HC, Twisk JW, van Mechelen W, Post GB, Roos JC, Lips P. A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: The Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Bone.* 2000;27:847-53.
36. Lloyd T, Chinchilli VM, Johnson-Rollings N, Kieselhorst K, Egli DF, Marcus R. Adult female hip bone density reflects teenage sports-exercise patterns but not teenage calcium intake. *Pediatrics.* 2000;106:40-4.
37. Lloyd T, Beck TJ, Lin HM, Tulchinsky M, Egli DF, Oreskovic TL, et al. Modifiable determinants of bone status in young women. *Bone.* 2002;30:416-21.
38. Matkin CC, Bachrach L, Wang MC, Kelsey J. Two measures of physical activity as predictors of bone mass in a young cohort. *Clin J Sport Med.* 1998;8:201-8.
39. Nordström P, Thorsen K, Nordström G, Bergström E, Lorentzon R. Bone mass, muscle strength, and different body constitutional parameters in adolescent boys with a low or moderate exercise level. *Bone.* 1995;17:351-6.
40. Ruiz JC, Mandel C, Garabedian M. Influence of spontaneous calcium intake and physical exercise on the vertebral and femoral bone mineral density of children and adolescents. *J Bone Miner Res.* 1995;10:675-82.
41. Tanaka M, Kinukawa N, Akazawa K, Abe S, Itoh K, Imai K, et al. The available period and kind of exercise for increasing osteoporosis assessment index in women. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:1709-13.
42. Witzke KA, Snow CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1051-7.
43. Haapasalo H, Kannus P, Sievanen H, Pasanen M, Uusi-Rasi K, Heinonen A, et al. Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players. *J Bone Miner Res.* 1998;13:310-9.
44. Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcif Tissue Int.* 1996;59:438-42.
45. Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. Bone mass in female volleyball players: a comparison of total and regional bone mass in female volleyball players and nonactive females. *Calcif Tissue Int.* 1997;60:338-42.
46. Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. Aerobic workout and bone mass in females. *Scand J Med Sci Sports.* 1997;7:336-41.
47. Duppe H, Gardsell P, Johnell O, Nilsson BE, Ringsberg K. Bone mineral density, muscle strength and physical activity. A population-based study of 332 subjects aged 15-42 years. *Acta Orthop Scand.* 1997;68:97-103.
48. Friedlander AL, Genant HK, Sadowsky S, Byl NN, Gluer CC. A two-year program of aerobics and weight training enhances bone mineral density of young women. *J Bone Miner Res.* 1995;10:574-85.
49. Hamdy RC, Anderson JS, Whalen KE, Harvill LM. Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:884-8.
50. Teegarden D, Proulx WR, Kern M, Sedlock D, Weaver CM, Johnston CC, et al. Previous physical activity relates to bone mineral measures in young women. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:105-13.
51. Marcus R. Role of exercise in preventing and treating osteoporosis. *Rheum Dis Clin North Am.* 2001;27:131-41.
52. Sinaki M, Wahner HW, Bergstralh EJ, Hodgson SF, Offord KP, Squires RW, et al. Three-year controlled, randomized trial of the effect of dose-specified loading and strengthening exercises on bone mineral density of spine and femur in nonathletic, physically active women. *Bone.* 1996;19:233-44.
53. Wallace BA, Cumming RG. Systematic review of randomized trials of the effect of exercise on bone mass in pre- and postmenopausal women. *Calcif Tissue Int.* 2000;67:10-8.
54. Bonaiuti D, Shea B, Iovine R, Negrini S, Robinson V, Kemper HC, et al. Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev.* 2002;(3):CD000333.