

ACTIVIDAD FÍSICA Y MASA ÓSEA EN NIÑOS Y NIÑAS PREPÚBERES

PHYSICAL ACTIVITY AND BONE MASS IN PREPUBERTAL CHILDREN

G. Vicente Rodríguez

I. Ara Royo

C. Dorado García

J. Pérez Gómez

JAL. Calbet

Departamento de Educación Física.
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

INTRODUCCIÓN

La osteoporosis constituye uno de los mayores problemas de salud a los que se enfrenta la sociedad de todo el mundo^{1,2} y también la sociedad española³⁻⁶. Esta enfermedad aumenta la fragilidad de los huesos y se asocia con un riesgo alto de fracturas óseas⁷⁻⁹. La osteoporosis afecta especialmente a las mujeres postmenopáusicas⁹, por ello son también las mujeres postmenopáusicas las que presentan fracturas de cadera con mayor frecuencia^{7,10,11} con el consiguiente coste social, económico y deterioro de la calidad de vida⁷.

El capital óseo de los adultos depende de la acumulación ósea que se ha producido durante el crecimiento, y de la posterior pérdida con el paso de los años de vida. La cantidad y calidad de la masa ósea viene determinada por factores genéticos, hormonales y alimenticios. Además, numerosos fármacos, así como el tipo y cantidad de actividad física influyen en la masa ósea. Como la pérdida de hueso es una consecuencia normal del envejecimiento, es de crucial importancia conocer qué capital óseo es necesario adquirir durante la niñez para asegurar la salud óptima del esqueleto durante toda la vida¹².

No obstante, se sabe poco acerca de los efectos que la práctica deportiva puede tener sobre el proceso de mineralización ósea y los cambios de la composición corporal en los niños prepúberes, y cómo estos cambios pueden influir en la composición corporal en la edad adulta¹³⁻¹⁸. Este desconocimiento dificulta que podamos comprender aspectos relacionados con la osteoporosis en la vejez¹².

El objetivo de esta revisión es ver la influencia que factores como la actividad física y el deporte tienen sobre el desarrollo del hueso en niños prepúberes.

CRECIMIENTO, MODELADO Y REMODELADO DEL HUESO

El hueso es un tejido dinámico, que está siendo remodelado constantemente bajo el control de factores hormonales y físicos¹⁹. El recambio óseo es normalmente lento en adultos, pero mucho más veloz en lactantes y niños, y permite adaptaciones del hueso para hacer frente a nuevas demandas. Las funciones básicas del hueso son proporcionar sostén mecánico, permitir la locomoción, proporcionar protección y actuar como reservorio metabólico de sales minerales^{20,21}.

Existen dos actividades celulares básicas, el depósito mineral y la reabsorción ósea, que posibilitan los procesos de crecimiento, modelado y remodelado. El crecimiento es la expresión del proceso del programa genético de alargamiento del esqueleto en su conjunto¹² controlado principalmente por el sistema endocrino^{12,20,21}. El modelado es el proceso por el cual se altera la forma y la masa de los huesos en respuesta a cargas mecánicas. Ocurre principalmente durante los años de crecimiento y representa una respuesta regional y localizada a unas condiciones de carga. La resistencia del hueso se incrementa mediante el depósito y mineralización de nuevo hueso por los osteoblastos^{20,21} sin reabsorción previa y produciendo una ganancia neta de masa ósea¹². Sin embargo, el remodelado se caracteriza por reemplazar el tejido óseo fatigado o dañado por uno nuevo, con una fase previa de reabsorción que de paso a la formación y depósito de nuevo hueso. Pero con el tiempo, tiene como resultado un balance neto negativo en masa ósea¹².

Por este motivo, modelado y remodelado, pese a ser ambos inducidos por estímulos de carga, tienen efectos opuestos a largo plazo.

CORRESPONDENCIA:

G. Vicente Rodríguez. Departamento de Educación Física. Campus de Tafira s/n. Edificio de Educación Física. Laboratorio de Rendimiento Humano. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. Tel.: 928 458896. Fax: 928 458867. E-mail: gvicente@arrakis.es

Aceptado: 15-05-2002

MADURACIÓN Y MASA ÓSEA

El estado madurativo de los sujetos es un factor que puede hacer confusos los resultados de estudios de masa ósea en niños. Teniendo en cuenta que la edad cronológica no siempre es representativa del estado madurativo²², es importante tomar con precaución los estudios que no controlen esta variable, ya que existe una gran relación entre la maduración y la masa ósea²³⁻²⁵, siendo el grado de desarrollo puberal mejor predictor de todas las variables óseas que el peso o la altura del sujeto^{24,25}.

En edades prepuberales (Tanner ≤ 2) no hay diferencia en la masa ósea de los niños y las niñas¹⁷. Pero a partir del estadio 4 de Tanner los varones tienen mayor contenido mineral óseo (BMC) que las niñas^{12,17,26}. Además, los niños llegan a la pubertad mucho más tarde que las mujeres²⁷, las cuales en el momento de la menarquia ya han alcanzado casi el 100% de su masa ósea^{17,28,29}.

Sin embargo, no está tan claro que ocurra lo mismo en zonas más localizadas, como en el cuello femoral^{16,28,30}, o la columna lumbar^{12,16,30-33}.

En general, durante la maduración del esqueleto, el BMC es mayor en los niños que en las niñas.

INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA GENERAL EN LA MASA ÓSEA

Ya en un estudio de Slemenda, *et al.* en 1991³⁴, se encontró relación entre las horas de juego y deporte en niños entre 5 y 14 años y la densidad mineral ósea (BMD) del radio, de la columna lumbar y de la cadera. Mientras que las horas de clase de Educación Física y el tiempo empleado en ver la televisión no mostraron relación con la masa ósea³⁴. En un estudio posterior observaron relación entre la actividad física y los cambios en la densidad ósea femoral en niños prepúberes durante 3 años, y también entre los cambios en el BMD femoral y el nivel de partida de actividad física³⁵, alcanzando valores superiores en relación directa al grado de actividad física.

En otro estudio realizado con 433 niños varones españoles, se observó que la práctica de 3 o más horas de actividad física extraescolar tiene un efecto beneficioso sobre la ganancia de capital óseo, siendo este efecto más importante a partir de la edad correspondiente al estirón puberal, sobre los 14 años²³. Tanto el BMC como el BMD del cuerpo entero (Figura 1), cadera y columna lumbar fueron

significativamente superiores para la población deportista a partir de los 14 años, pero no hubo diferencias significativas antes de los 13 años²³.

No obstante, las mayores evidencias de la relación entre actividad física general y ganancia ósea durante el crecimiento provienen de un trabajo longitudinal del grupo de Bailey³⁶. Estudiaron a 56 chicas y 60 chicos en un periodo de 6 años, encontrando un efecto importante de la actividad física en el BMC de todo el cuerpo, del cuello femoral y de la columna lumbar. El pico de velocidad de adquisición de contenido mineral óseo (PBMCV) se produjo a la edad media de 12,5 años en las niñas y 14,5 años en los niños. Pero en ambos sexos se vio que un año después del PBMCV había una diferencia en el BMC del cuerpo entero de un 17% entre las niñas y un 9% entre los niños al comparar el cuartil de máxima actividad física con el cuartil de sedentarios, siendo significativamente mayor también en el cuello femoral y en la columna lumbar³⁶.

Pese a que durante el periodo prepupal no se encuentran diferencias entre niños deportistas y no deportistas^{23,37}, sí parece evidente que el hacer deporte durante esta edad provoca una mayor ganancia de capital óseo en periodos de crecimiento posteriores. Además, parece que la actividad física realizada en las clases de Educación Física no es suficiente o no es adecuada para promover una ganancia

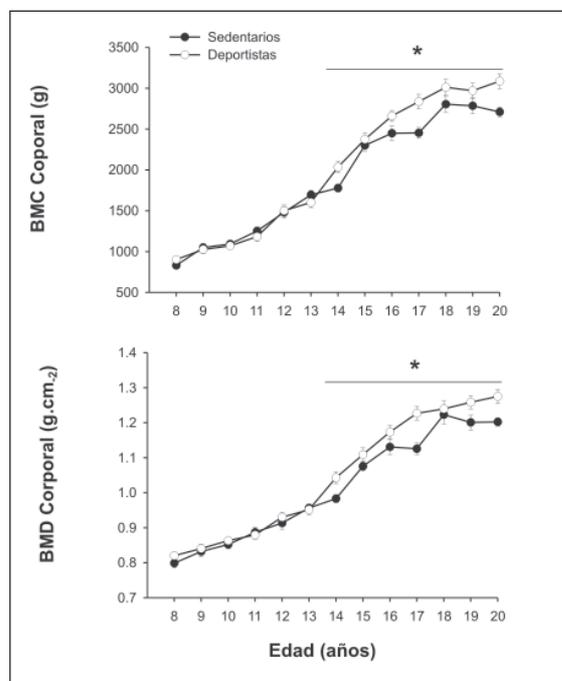


FIGURA 1.- Evolución del BMC y BMD total del cuerpo con la edad. (Modificado de Jiménez Ramírez, J. y López Calbet, JA. 2001). $p \leq 0,05$

ósea extra, adicional a la que se consigue con el crecimiento y maduración^{23,34}. El estudio transversal efectuado por nuestro grupo sugiere que es necesario que los niños realicen al menos 3 horas de actividades físicas extraescolares semanales para conseguir una ganancia adicional de masa ósea durante el crecimiento²³.

INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD DEPORTIVA ESPECÍFICA EN LA MASA ÓSEA

Son muchos más los trabajos que han estudiado la influencia que distintos tipos de deporte tienen sobre el capital óseo, sobre todo en jóvenes postpuberales^{1,38-43}, en adultos^{18,44-50}, e incluso en ancianos⁵¹⁻⁵⁴. Pero son escasos los que se centran en los niños en edad prepuberal, no obstante encontramos algunos en gimnasia y tenis.

En un trabajo longitudinal de 1 año en el que se estudió a 45 gimnastas de elite, prepuberales de 10 años, frente a 48 niñas control, se observó que las gimnastas tenían un incremento de BMD de cuerpo entero de entre un 30 y un 80% mayor que las niñas control. La densidad volumétrica en todos los casos fue mayor para las gimnastas, un 12% en la columna lumbar y un 16% en el cuello femoral⁵⁵. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Dyson⁵⁶ en un estudio transversal en el que compararon 16 niñas gimnastas con una media de 18 h·sem⁻¹ de entrenamiento de alta intensidad, con 16 niñas sedentarias sanas, todas ellas con Tanner inferior a 2 y dieta similar. Observaron que el BMD de las gimnastas fue significativamente superior en el cuello femoral (8%) y en el trocánter (16%) no habiendo diferencia en otras zonas. La zona distal del radio se analizó mediante QCT (tomografía axial computarizada cuantitativa) mostrando un BMD (g/cm³) total (20%), cortical (16%) y trabecular (27%) mayor en las gimnastas⁵⁶. Estos resultados sugieren que la relación entre las cargas de alto impacto y el BMD es similar en el hueso cortical y trabecular sin que se observe un efecto hipertrofiante sobre el hueso⁵⁶.

Los resultados de ambos trabajos son similares a los encontrados por otros autores⁵⁷⁻⁵⁹ quienes destacaron que las diferencias en BMD encontradas entre atletas y sedentarios adultos, se adquieren mayoritariamente durante la pubertad²².

No obstante, los estudios transversales que comparan individuos puntualmente podrían tener algunas limitaciones de sesgo, de tal forma que las diferencias encontradas

podrían existir antes de comenzar a practicar el deporte, e incluso esas diferencias pueden, en algunos casos, explicarse por otros factores (genéticos, nutricionales o de hábitos de vida) que influyen en el capital óseo²². Por este motivo resultan interesantes los estudios en deportes unilaterales, como el tenis, para ver las diferencias entre el brazo que trabaja y el que no lo hace. Así en un estudio con niñas tenistas de entre 7 y 17 años, se intentó conocer en qué estadio madurativo (Tanner) el BMD comenzaba a diferenciarse de forma importante y qué entrenamiento, o qué variables, podrían explicar las diferencias interindividuales en respuesta a la carga mecánica⁶⁰. Los resultados muestran que hubo diferencias significativas en el BMD en todos los estadios Tanner entre el brazo dominante y no dominante en las tenistas, mientras que en el grupo control las diferencias entre los brazos fueron menos acusadas. Al comparar los brazos dominantes de las deportistas con los brazos dominantes de las sedentarias Haapasalo *et al.*⁶⁰ no observaron diferencias significativas hasta el estadio puberal que correspondió con el estadio 3 de Tanner (12,6 años de edad media). Las diferencias entre deportistas y sedentarias en BMD lumbar no mostraron significación estadística hasta que alcanzaron el estadio 4 de Tanner (13,5 años de edad media). En cambio, no hubo diferencias en el brazo no dominante entre deportistas y controles en ningún estadio Tanner⁶⁰. El estudio de Haapasalo *et al.*⁶⁰ sugiere que la cantidad de entrenamiento acumulado durante la carrera deportiva y la frecuencia de entrenamiento podrían ser los factores que mejor explican los efectos de la actividad física sobre el tejido óseo.

Por otra parte, la utilización de cargas elevadas podría tener un papel esencial en la estimulación de la ganancia de masa ósea^{19,61}. Para determinar este efecto, Lehtonen-Veromaa *et al.*⁶¹ estudiaron longitudinalmente en un periodo de 1 año a 51 gimnastas, 50 corredoras y 54 sedentarias, divididas en grupos según su grado puberal (estadio 1 de Tanner prepuberales, estadios 2 y 3 pubertad temprana y estadios 4 y 5 pubertad tardía). Los autores anteriores observaron que en el nivel inicial, corredoras y gimnastas del subgrupo de pubertad temprana, presentaban valores más altos de BMD que las sedentarias. En las niñas de pubertad tardía, el BMD del cuello y trocánter femorales, así como el BMD de la columna lumbar fueron superiores en las gimnastas comparadas con los otros dos grupos⁶¹. Tras 1 año de entrenamiento, el incremento de BMD ajustado para la edad, altura, estadio Tanner, BMD en el momento inicial y el incremento en 1 año de peso y talla, fue mayor en el cuello femoral de las gimnastas que en las corredoras y las sedentarias. Incluso, las gimnastas prepuberales tuvieron incrementos significativamente mayores que las corredoras o las sedentarias en el cuello femoral. Pero no se encontró diferencia entre ningún grupo en la columna lumbar⁶¹ (Figura 2). Estos datos demuestran

que las cargas de alto impacto son beneficiosas para la ganancia de densidad ósea en la cadera durante la pubertad, concordando con resultados anteriores de este grupo⁶² y de otros^{63,64}.

Asumiendo el beneficio de las cargas de alto impacto para la ganancia de masa ósea, Heinonen *et al.*⁶⁵ defienden que estas cargas son aun más beneficiosas antes de la menarquia que tras ella, comunicando que en su estudio, las niñas del grupo premenarquia que entrenaron, aumentaron significativamente más su BMC. Mientras que no se encontraron diferencias entre los grupos postmenarquia. Lo que significa que realizar ejercicio antes de la menarquia (antes y durante el estirón puberal) es más beneficioso para la ganancia de capital óseo que hacerlo tras ella^{65,66}.

En resumen, podemos decir que los niños deportistas presentan mayor masa y densidad ósea. En concreto los deportes que conllevan impactos y cargas de alta intensidad, como la gimnasia, favorecen más la ganancia de capital óseo^{55,56}. Incluso, pese a que las diferencias entre deportistas y sedentarios suelen aparecer tras el estirón puberal^{123,34,60}, las gimnastas tienen un mayor capital óseo en estadios prepuberales, debido casi con seguridad a la alta intensidad y a los impactos^{38,56,61-64,66,67}, puesto que en corredoras con un gran nivel de entrenamiento, pero sin cargas de alto impacto, no se han encontrado estas diferencias^{61,62}.

CANTIDAD ÓPTIMA DE EJERCICIO PARA LOS NIÑOS

Ya en 1956 Arkin y Katz demostraron que presiones aplicadas paralelamente en la dirección de la epífisis inhibían el crecimiento del hueso⁶⁸. No obstante, la presión necesaria para detener al cartilago de crecimiento por completo debía ser muy alta, mientras que cargas intermitentes o ligeras ralentizaron o disminuyeron el crecimiento. Incluso, la presión de las cargas normales del propio peso corporal parecen retardar el crecimiento en la metáfisis⁶⁸.

Hay trabajos que comunican una altura menor en niñas gimnastas frente al grupo control⁵⁶, pero no está claro que se deba a la influencia directa de la práctica de ese deporte. La menor talla podría estar causada por otros aspectos como el abandono de las niñas altas que alcanzan menos éxito en esta disciplina, al igual que ocurre en otros deportes⁶⁹.

Por otra parte, se ha observado que el desarrollo del hueso tanto cortical como trabecular es normal en gimnastas⁵⁶, por lo que el crecimiento no tendría por qué estar comprometido.

En un estudio reciente sobre 184 niños deportistas sólo se encontraron diferencias en la talla entre niños y niñas de la

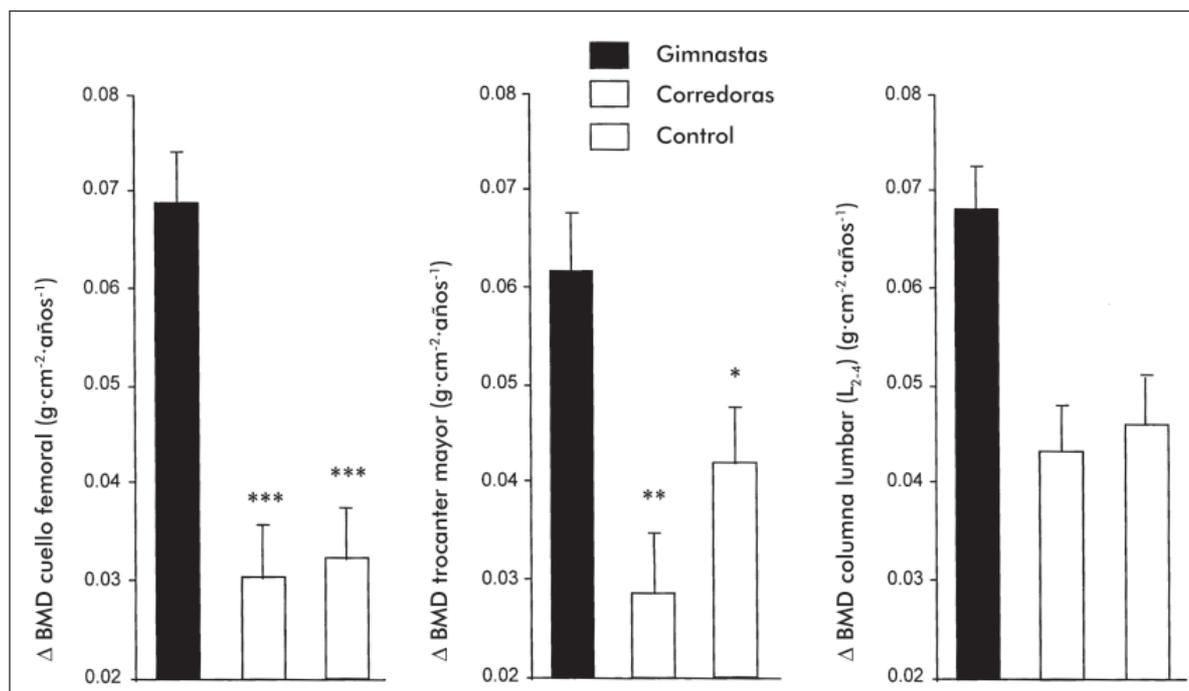


FIGURA 2.- Incrementos de BMD en un año (ajustado para la edad, peso, estadio Tanner, línea basal de BMD, y para los incrementos de peso y talla en un año) del cuello femoral, trocánter mayor y la columna lumbar entre gimnastas, corredoras y niñas control. Los resultados están ajustados para la media ± es. Diferencias de Bonferroni: *, p < 0,05; **, p < 0,01; ***, p < 0,001. (Modificado de Lehtonen-Veromaa y col. 2000)

misma edad y entre niños o niñas de distintas edades, pero los resultados sugieren que el deporte a nivel competitivo no afecta negativamente al crecimiento⁷⁰.

CONCLUSIÓN

La actividad física, especialmente la que conlleva cargas de alto impacto, realizada antes de la maduración del esqueleto, puede tener una gran influencia en el incremento de la masa ósea. Parece ser que para lograr el máximo beneficio, la actividad física debería comenzar, por lo menos, antes de que los niños o niñas hayan superado el estadio 2-3 de Tanner. No obstante, hacen falta nuevas investigaciones que confirmen esta teoría y en las que se determine la relación entre el estadio madurativo y el capital óseo.

La actividad física realizada en las clases de Educación Física no reporta beneficios sobre la masa ósea en los niños, debido a que es insuficiente e inadecuada. Es imprescindible, pues, que el diseño curricular y las actividades físicas desarrolladas en las clases de Educación Física o actividades extraescolares incluyan ejercicios considerados osteotróficos.

Son necesarias, igualmente, investigaciones longitudinales en deportes unilaterales, donde se observen los cambios en tamaño y forma de los huesos, midiendo áreas corticales o áreas de sección transversal además del BMC y el BMD volumétrico⁽⁷¹⁾. Son necesarios, también, trabajos en los que se vean los efectos de entrenamientos específicos en niños teniendo en cuenta los estadios madurativos.

Todo esto proporcionaría nuevos datos que nos permitirían indicar qué tipo y cantidad de ejercicio físico sería el mejor para fomentar la adquisición de un pico de masa ósea óptimo, y así mantener la salud ósea a lo largo de la vida adulta y retrasar los efectos del envejecimiento sobre la masa y calidad del hueso.

Agradecimientos: Nuestro mayor agradecimiento al Gobierno de Canarias y al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Germán Vicente Rodríguez es becario de investigación y formación del profesorado universitario del MECD (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).

Ignacio Ara Royo es becario de investigación y formación del profesorado universitario de la ULPGC.

- | B | I | B | L | I | O | G | R | A | F | I | A |
|----|--|---|---|---|---|-----|--|--|---|---|---|
| 1. | Tsuzuku S, Ikegami Y, Yabe K. | Effects of high-intensity resistance training on bone mineral density in young male powerlifters. <i>Calcif Tissue Int</i> 1998;63:283-6. | | | | 8. | Marcus R. | Clinical review 76: The nature of osteoporosis. <i>J Clin Endocrinol Metab</i> 1996;81:1-5. | | | |
| 2. | Kanis JA, Pitt FA. | Epidemiology of osteoporosis. <i>Bone</i> 1992;13:S7-15. | | | | 9. | Gambert SR, Schultz BM, Hamdy RC. | Osteoporosis. Clinical features, prevention, and treatment. <i>Endocrinol Metab Clin North Am</i> 1995;24:317-71. | | | |
| 3. | Gutiérrez-Fisac JL, Artalejo FR. | The relationship between obesity, smoking habit and physical activity during leisure time in the 20- to 64-year-old Spanish population». <i>Med Clin (Barc)</i> , 1995; 104: 293-7. | | | | 10. | Cummings SR, Nevitt MC, Browner WS, Stone K, Fox KM, Ensrud KE, Cauley J, Black D, Vogt TM. | Risk factors for hip fracture in white women. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. <i>N Engl J Med</i> 1995;332:767-73. | | | |
| 4. | Gutiérrez-Fisac JL, Rodríguez Artalejo F, Guallar-Castillon P, Banegas Banegas JR, Del Rey Calero J. | Determinants of geographical variations in body mass index (BMI) and obesity in Spain. <i>Int J Obes Relat Metab Disord</i> 1999;23:342-7. | | | | 11. | Cummings SR, Black DM, Nevitt MC, Browner W, Cauley J, Ensrud K, Genant HK, Palermo L, Scott J, Vogt TM. | Bonedensity at various sites for prediction of hip fractures. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. <i>Lancet</i> 1993;341:72-5. | | | |
| 5. | Cirera S, Julve J, Ferrer I, Mainou C, Bonet R, Martín-Campos JM, González-Sastre F, Blanco-Vaca F. | Molecular diagnosis of lecithin: cholesterol acyltransferase deficiency in a presymptomatic proband. <i>Clin Chem Lab Med</i> 1998;36:443-8. | | | | 12. | Bailey DA, Faulkner RA, Mckay H.A. | Growth, physical activity, and bone mineral acquisition. <i>Exerc Sport Sci Rev</i> 1996;24:233-66 | | | |
| 6. | Aranceta J, Pérez Rodrigo C, Serra Majem L, Ribas L, Quiles Izquierdo J, Vioque J, Foz M. | Prevalence of obesity in Spain: the SEEDO '97 study. Spanish Collaborative Group for the Study of Obesity. <i>Med Clin (Barc)</i> 1998;111:441-5. | | | | 13. | Lohman TG. | Exercise training and body composition in childhood. <i>Can J Sport Sci</i> 1992;17:284-7. | | | |
| 7. | Cooper C. | Epidemiology of osteoporosis. <i>Osteoporos Int</i> 1999;9: S2-8. | | | | 14. | Matkovic V, Heaney RP. | Calcium balance during human growth: evidence for threshold behavior. <i>Am J Clin Nutr</i> 1992;55:992-6. | | | |
| | | | | | | 15. | Faulkner RA, Bailey DA, Drinkwater DT, Wilkinson AA, Houston CS, Mckay HA. | Regional and total body bone mineral content, bone | | | |

- mineral density, and total body tissue composition in children 8-16 years of age. *Calcif Tissue Int* 1993;53:7-12.
16. Kroger H, Kotaniemi A, Kroger L, Alhav AE. Development of bone mass and bone density of the spine and femoral neck--a prospective study of 65 children and adolescents. *Bone Miner* 1993;23:171-82.
 17. Rico H, Revilla M, Villa LF, Hernández ER, Alvarez De Buergo M, Villa M. Body composition in children and Tanner's stages: a study with dual-energy x-ray absorptiometry. *Metabolism* 1993;42:967-70.
 18. Karlsson MK, Hasserijs R, Obrant KJ. Bone mineral density in athletes during and after career: a comparison between loaded and unloaded skeletal regions. *Calcif Tissue Int* 1996;59:245-8.
 19. Del Río Barquero L, Roig Vilaseca D. Actividad física y calidad ósea. *Archivos de Medicina del Deporte* 2001;18:211-21.
 20. Stevens A, Lowe J. *Histología Humana*. Harcourt Brace. Madrid, 1998.
 21. Junqueira L.c. Y Carneiro J. *Histología Básica*. Barcelona: Salvat Editores, 1987.
 22. Khan K, McKay HA, Haapasalo H, Bennell KL, Forwood MR, Kannus P, Wark JD. Does childhood and adolescence provide a unique opportunity for exercise to strengthen the skeleton?. *J Sci Med Sport* 2000;3:150-64.
 23. Jiménez Ramírez J, López Calbet JA. Influencia de la actividad física extraescolar en la masa ósea durante el crecimiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2001;15:37-42.
 24. Gilsanz V, Skaggs DL, Kovanlikaya A, Sayre J, Loro ML, Kaufman F, Korenman SG. Differential effect of race on the axial and appendicular skeletons of children. *J Clin Endocrinol Metab* 1998;83:1420-7.
 25. 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.
 26. Nelson DA, Simpson PM, Johnson CC, Barondess DA, Kleerekoper M. The accumulation of whole body skeletal mass in third- and fourth-grade children: effects of age, gender, ethnicity, and body composition. *Bone* 1997;20:73-8.
 27. Maynard LM, Guo SS, Chumlea WC, Roche AF, Wisemandle WA, Zeller CM, Towne B, Siervogel RM. Total-body and regional bone mineral content and areal bone mineral density in children aged 8-18 y: the Fels Longitudinal Study. *Am J Clin Nutr* 1998;68:1111-7.
 28. 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.
 29. Plotkin H, Nunez M, Alvarez Filgueira ML, Zanchetta JR. Lumbar spine bone density in Argentine children. *Calcif Tissue Int* 1996;58:144-9.
 30. Kroger H, Kotaniemi A, Vainio P, Alhava E. Bone densitometry of the spine and femur in children by dual-energy x-ray absorptiometry. *Bone Miner* 1992;17:75-85.
 31. Lu PW, Briody JN, Ogle GD, Morley K, Humphries IR, Allen J, Howman-Giles R, Sillence D, Cowell CT. Bone mineral density of total body, spine, and femoral neck in children and young adults: a cross-sectional and longitudinal study. *J Bone Miner Res* 1994;9:1451-8.
 32. Gastre C, Brailon P, David L, Cochat P, Meunier PJ, Delmas PD. Measurement of bone mineral content of the lumbar spine by dual energy x-ray absorptiometry in normal children: correlations with growth parameters. *J Clin Endocrinol Metab* 1990;70:1330-3.
 33. Rubin K, Schirduan V, Gendreau P, Sarfarazi M, Mendola R, Dalsky G. Predictors of axial and peripheral bone mineral density in healthy children and adolescents, with special attention to the role of puberty. *J Pediatr* 1993;123:863-70.
 34. Slemenda CW, Miller JZ, Hui SL, Reister TK, Johnston CC, JR. Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *J Bone Miner Res* 1991;6:1227-33.
 35. Slemenda CW, Reister TK, Hui SL, Miller JZ, Christian JC, Johnston CC, JR. Influences on skeletal mineralization in children and adolescents: evidence for varying effects of sexual maturation and physical activity. *J Pediatr* 1994;125:201-7.
 36. 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.
 37. Vicente Rodríguez G, Ara Royo I, Pérez Gómez J, Calbet J, Dorado García C. Influence of extra-curricular physical activity on bone mass in prepubertal girls. *Archivos de Medicina del Deporte* 2001;18:438.
 38. Witzke KA, Snow CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1051-7.
 39. Flodgren G, Hedelin R, Henriksson-Larsen K. Bone mineral density in flatwater sprint kayakers. *Calcif Tissue Int* 1999;64:374-9.
 40. Pettersson U, Nordstrom P, Alfredson H, Henriksson-Larsen K, Lorentzon R. Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females: A comparative study between two different types of sports. *Calcif Tissue Int* 2000;67:207-14.
 41. Wittich A, Mautalen CA, Oliveri MB, Bagur A, Somoza F, Rotember GE. Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size than age- and BMI-matched controls. *Calcif Tissue Int* 1998;63:112-7.
 42. Rico H, Revilla M, Hernández ER, Gómez-Castresana F, Villa LF. Bone mineral content and body composition in postpubertal cyclist boys. *Bone* 1993;14:93-5.
 43. Andreoli A, Monteleone M, Van Loan M, Promenzio L, Tarantino U, De Lorenzo A. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:507-11.
 44. Woitge HW, Friedmann B, Suttner S, Farahmand I, Muller M, Schmidt-Gayk H, Baertsch P, Ziegler R, Seibel MJ. Changes in bone turnover induced by aerobic and anaerobic exercise in young males. *J Bone Miner Res* 1998;13:1797-804.
 45. Cuesta A, Revilla M, Villa LF, Hernández ER, Rico H. Total and regional bone mineral content in Spanish professional ballet dancers. *Calcif Tissue Int* 1996;58:150-4.

46. Sparling PB, Snow TK, Roskopf LB, O'Donnell EM, Freedson PS, Byrnes WC. Bone mineral density and body composition of the United States Olympic women's field hockey team. *Br J Sports Med* 1998;32:315-8.
47. Hetland ML, Haarbo J, Christiansen C. Low bone mass and high bone turnover in male long distance runners. *J Clin Endocrinol Metab* 1993;77:770-5.
48. Stewart AD, Hannan J. Total and regional bone density in male runners, cyclists, and controls. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1373-7.
49. Calbet JA, Moysi JS, Dorado C, Rodríguez LP. Bone mineral content and density in professional tennis players. *Calcif Tissue Int* 1998;62:491-6.
50. Calbet JA, Dorado C, Diaz-Herrera P, Rodríguez-Rodríguez LP. High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1682-7.
51. Huddlestone AL, Rockwell D, Kulund DN, Harrison RB. Bone mass in lifetime tennis athletes. *JAMA* 1980;244:1107-9.
52. Kronhed Ac, Moller M. Effects of physical exercise on bone mass, balance skill and aerobic capacity in women and men with low bone mineral density, after one year of training, a prospective study. *Scand J Med Sci Sports* 1998;8:290-8.
53. Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE, Donnelly M, Warren J, Elliot J. Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med* 2000;34:18-22.
54. Humphries B, Newton RU, Bronks R, Marshall S, McBride J, Triplett-McBride T, Hakkinen K, Kraemer WJ, Humphries N. Effect of exercise intensity on bone density, strength, and calcium turnover in older women. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1043-50.
55. Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E. 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.
56. Dyson K, Blimkie CJ, Davison KS, Webber CE, Adachi JD. Gymnastic training and bone density in pre-adolescent females. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:443-50.
57. Robinson TL, Snow-Harter C, Taaffe DR, Gillis D, Shaw J, Marcus R. Gymnasts exhibit higher bone mass than runners despite similar prevalence of amenorrhea and oligomenorrhea. *J Bone Miner Res* 1995;10:26-35.
58. Taaffe DR, Snow-Harter C, Connolly DA, Robinson TL, Brown MD, Marcus R. Differential effects of swimming versus weight-bearing activity on bone mineral status of eumenorrheic athletes. *J Bone Miner Res* 1995;10:586-93.
59. Taaffe DR, Robinson TL, Snow CM, Marcus R. High-impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *J Bone Miner Res* 1997;12:255-60.
60. Haapasalo H, Kannus P, Sievanen H, Pasanen M, Uusi-Rasi K, Heinonen A, Oja P, Vuori I. Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players. *J Bone Miner Res* 1998;13:310-9.
61. Lehtonen-Veromaa M, Mottonen T, Irjala K, Nuotio I, Leino A, Viikari J. A 1-year prospective study on the relationship between physical activity, markers of bone metabolism, and bone acquisition in peripubertal girls. *J Clin Endocrinol Metab* 2000;85:3726-32.
62. Lehtonen-Veromaa M, Mottonen T, Svedstrom E, Hakola P, Heinonen OJ, Viikari J. Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:236-43.
63. Nickols-Richardson SM, Modlesky CM, O'Connor PJ, Lewis RD. Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:63-9.
64. Nickols-Richardson SM, O'Connor PJ, Shapses SA, Lewis RD. Longitudinal bone mineral density changes in female child artistic gymnasts. *J Bone Miner Res* 1999;14:994-1002.
65. 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.
66. 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.
67. Fuchs RK, Bauer JJ, Snow CM. Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial. *J Bone Miner Res* 2001;16:148-56.
68. Arkin AM, Katz JF. The effects of pressure of epiphyseal growth. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1956;38:1056-76.
69. Damsgaard R, Bencke J, Matthiesen G, Petersen JH, Muller J. Body proportions, body composition and pubertal development of children in competitive sports. *Scand J Med Sci Sports* 2001;11:54-60.
70. Damsgaard R, Bencke J, Matthiesen G, Petersen JH, Muller J. Is prepubertal growth adversely affected by sport?. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1698-703.
71. Jarvinen TL, Kannus P, Sievanen H. Have the DXA-based exercise studies seriously underestimated the effects of mechanical loading on bone?. *J Bone Miner Res* 1999;14:1634-5.