

Exercici físic i massa òssia (I). Evolució ontogènica de la massa òssia i influència de l'activitat física sobre l'os en les diverses etapes de la vida

CARITAT BAGUR CALAFAT

Titulació de Fisioteràpia. Facultat de Ciències de la Salut. Universitat Internacional de Catalunya. Barcelona. Espanya.

RESUM

La mineralització de la matriu òssia creix marcadament, arreu de l'esquelet, des de la infància fins a l'adolescència. Després la massa òssia retarda el seu creixement en la mesura que avança l'adolescència i fins a adquirir el pic de massa òssia. A partir de l'edat adulta l'os només prolifera de manera natural en cas de fractura que necessita reparació. Els beneficis de l'exercici físic sobre la densitat òssia es produeixen, sobretot, en les primeres etapes de la vida. Aquests beneficis, en el sentit d'increment de densitat mineral òssia, es van diluint en la mesura que van passant els anys, i es pot apuntar que els guanys de massa òssia relacionats amb l'exercici físic són difícils una vegada s'han superat els 50 anys d'edat. En etapes posteriors els beneficis de l'exercici físic per a l'os es tradueixen en una menor pèrdua de massa òssia, és a dir, estarien més en relació amb l'efecte d'estalvi que no pas de guany.

PARAULES CLAU: Massa òssia. Exercici físic. Edat. Evolució ontogènica.

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.

INTRODUCCIÓ

La mineralització de la matriu òssia segueix un patró evolutiu condicionat per diversos factors, com el sexe, l'herència, el desenvolupament puberal, els factors ambientals, etc. Aquesta mineralització creix marcadament durant les primeres etapes de la vida, etapes en les quals l'organisme és més sensible a la influència dels factors ambientals en el procés d'adquisició òssia. L'exercici físic és un factor que té una importància cabdal

en l'acceleració de l'adquisició òssia, durant l'etapa sensible del creixement ossi, i en el seu manteniment en etapes posteriors.

EVOLUCIÓ ONTOGÈNICA DE LA DENSITAT ÒSSIA

La mineralització de la matriu òssia s'inicia ja en el període de vida intrauterí del fetus, algunes setmanes abans del part, i s'incrementa progressivament fins a la segona o tercera dècada

de la vida. Aquesta mineralització creix marcadament, en tot l'esquelet, des de la infància fins a l'adolescència. Algunes edats tenen una importància especial en el creixement accelerat de l'esquelet; els guanys de massa òssia es produeixen majoritàriament durant els 2 primers anys de vida i durant la pubertat¹, tot augmentant entre un 40 i un 60% en aquest últim període. Aquests guanys declinen ràpidament 2 anys després de la menarquia^{2,3}. Durant la pubertat la velocitat del desenvolupament dels ossos de la columna i del maluc augmenta fins aproximadament 5 vegades. Boot et al⁴ situen l'inici d'aquest increment de massa òssia a partir dels 11 anys en les noies i dels 13 en els nois.

Hi ha una gran variació en el contingut i la densitat òssia en relació amb factors individuals, com l'edat i el sexe, i la major variabilitat la trobem al final de l'adolescència. El temps d'adquisició de mineral ossi durant l'adolescència està més fermament vinculat al desenvolupament puberal que a l'edat cronològica^{5,6}. La massa òssia retarda el seu creixement en la mesura que avança l'adolescència. Així, s'ha vist que l'adquisició mineral òssia va per darrere del creixement lineal. En el The Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study^{5,7,8}, un estudi longitudinal del creixement ossi amb nois i noies caucàsians, el pic de màxima adquisició òssia per als nois es va situar en una mitjana d'edat de 14 ± 1 anys, i per a les noies en una mitjana d'edat de $12,5 \pm 0,9$ anys. D'aquesta manera, la majoria de guanys ràpids en el contingut mineral ossi de tot el cos es va trobar que succeïen, aproximadament, 0,7 anys després que s'aconseguís el pic de creixement en alçada⁵.

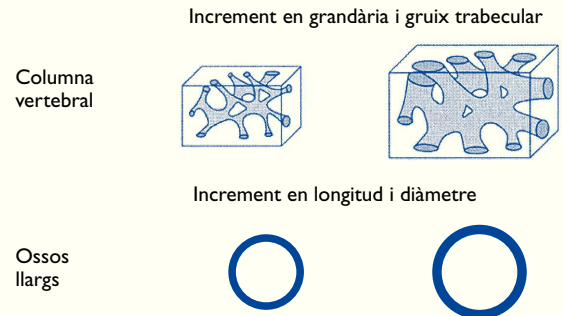
Diversos estudis postulen que l'augment de la densitat mineral òssia (DMO) durant el creixement segueix una trajectòria lineal positiva fins a aproximadament els 20 anys⁹, després dels quals el pic de massa òssia (PMO) s'estabilitza.

En contrast, la densitat òssia volumètrica augmenta a la columna, però no a la diàfisi femoral¹⁰. En els ossos llargs, el creixement es produeix en longitud i en l'àrea de secció transversal i/o diàmetre, però sense que l'augment del gruix de la cortical segueixi la mateixa proporció; per tant, la densitat òssia volumètrica dels ossos llargs canvia poc durant la infància i l'adolescència^{10,11}. Així, se suggereix que els guanys en massa òssia durant l'adolescència vénen donats en gran mesura per una expansió òssia (fig. 1). Aquests canvis de l'esquelet són importants clínicament, ja que la forma i la grandària de l'os influeixen sobre la resistència òssia independentment del contingut mineral ossi^{12,13}.

L'acumulació de massa òssia obtinguda durant l'adolescència tardana^{2,14} es manté fins a la tercera o quarta dècada de la vida¹⁴. A partir de l'edat adulta, l'os només prolifera d'una manera natural en el cas d'una fractura que necessita reparació (fig. 2).

Figura 1

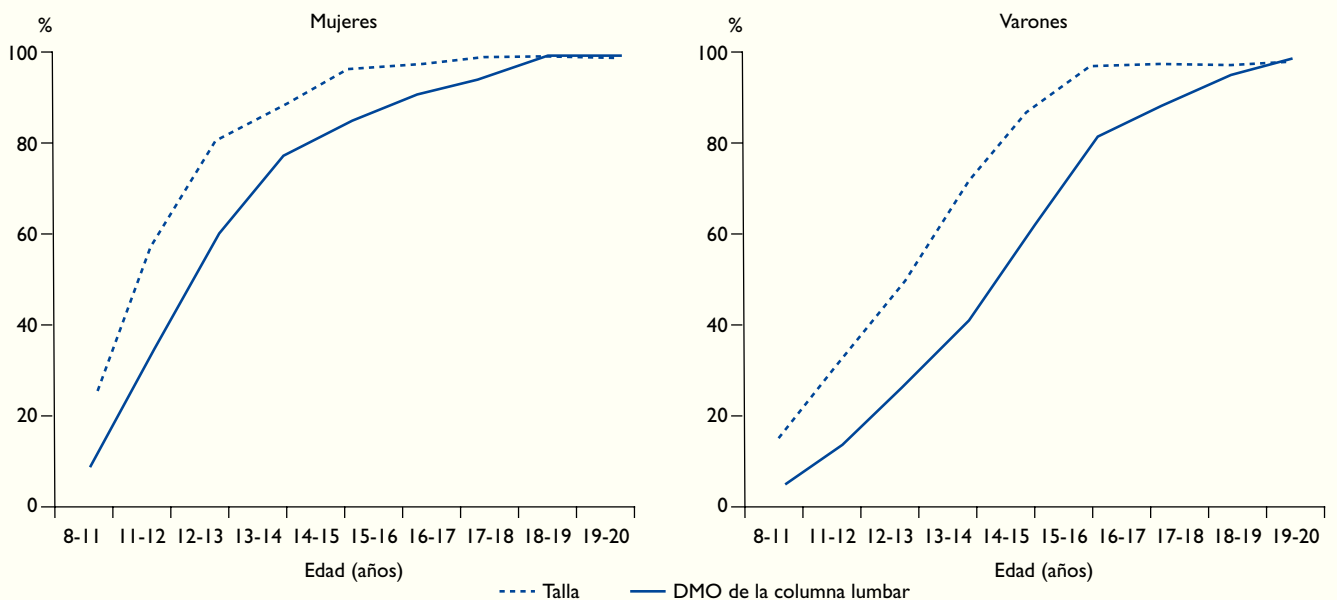
Canvis en la geometria òssia de l'adolescent.



En absència de malaltia orgànica, la dinàmica pròpia del teixit ossi, de remodelatge continu, una vegada s'ha assolit el PMO, dóna lloc a un balanç negatiu de massa òssia, tot iniciant-se'n una pèrdua progressiva. El patró de pèrdua no està definit amb precisió, però en qualsevol cas es pot acceptar que se'n produeix una pèrdua més o menys uniforme, que se situaria al voltant del 0,5-1% anual. Aquesta pèrdua es fa més notòria en la dona en el període perimenopàusic i, especialment, els primers anys posteriors a la menopausa. L'acceleració de la pèrdua òssia després de la menopausa pot ser d'uns 5 a 10 anys de durada, al principi dels quals es pot arribar a perdre un 5-8% de massa òssia anual. Després dels 65 anys la pèrdua òssia en la dona s'alenteix i esdevé lineal fins a assolir, igual que l'home, un ritme de pèrdua anual d'aproximadament el 0,7%.

La involució que es produeix amb l'edat es manifesta per mitjà d'una marcada reducció de la quantitat d'os esponjós i una disminució en l'espessor de l'os cortical. Aquests canvis disminueixen la resistència i la rigidesa òssia. Les pèrdues relacionades amb l'edat es concentren més en l'os trabecular que en el cortical. En el transcurs de la vida la dona pot arribar a perdre un 50% de massa òssia trabecular i un 35% de la cortical. És per això que les fractures relacionades amb l'osteoporosi tenen lloc en àrees anatòmiques on predomina l'os trabecular: maluc, columna i canell.

Cal diferenciar el comportament evolutiu de la massa òssia en funció de l'àrea d'estudi i del predomini d'os cortical o trabecular en aquestes àrees. Per mitjà de tècniques de quantificació de DMO, s'ha determinat que la massa òssia màxima s'assoleix en etapes diferents, segons l'àrea que es valora d'aquestes. La primera que s'ha vist que assoleix el pic de massa òssia (PMO) és el femur (aproximadament als 16 anys en les noies) i després la columna lumbar (aproximadament als 18 anys), localitzacions on aproximadament a partir dels 16 anys es produeix una re-

Figura 2 Increment de talla i densitat mineral òssia (DMO) en dones i homes. (De Theintz G et al².)

ducció dràstica de l'acumulació de massa òssia². En contrapartida, en altres localitzacions, com el radi, el crani i el total del cos, encara existeix un augment mínim fins als 40 anys^{2,14}.

Així doncs, el PMO s'aconsegueix per a l'os cortical durant la quarta dècada de la vida, i per a l'os trabecular s'avança cap al final de la segona dècada¹⁵.

Vist el perfil evolutiu que presenta la massa òssia en el transcurs de la vida, es justifica que el coneixement de la mineralització durant els primers 20-21 anys de vida sigui de gran interès. A més, serà de gran importància tenir referència dels paràmetres de normalitat de la població del nostre entorn, ja que la latitud, l'àrea geogràfica, els hàbits de nutrició i la raça influeixen la mineralització de l'esquelet. Estudis al nostre àmbit geogràfic, en diverses comunitats autònomes espanyoles, coincideixen a assenyalar els 4 primers anys de vida i l'adolescència com els períodes de màxim increment de la DMO, malgrat que augmenti d'una manera oscil·lant en les etapes intermèdies. Les nenes presenten uns valors més alts de DMO, respecte dels nens, en els grups d'edat de 12-13 i 14-15 anys, relacionat amb un inici més precoç de la pubertat¹⁶.

RELACIÓ ENTRE EL PIC DE MASSA ÒSSIA I LA SEVA EVOLUCIÓ POSTERIOR

El grau de densitat òssia de l'esquelet en el transcurs de la vida està en funció de la formació òssia durant el creixement i

de la pèrdua que se'n produeixi durant els anys posteriors. El contingut mineral màxim, o PMO, aconseguit en el moment de més maduresa de l'esquelet es converteix en un element d'importància cabdal, en actuar de banc ossi per a la resta de la vida adulta^{2,17}. De la seva major o menor quantia dependrà quina pèrdua de massa òssia es podrà tolerar abans d'arribar a nivells crítics de resistència òssia i a l'aparició de fractures osteoporòtiques.

Per tant, en qualsevol moment de la vida adulta, la massa òssia reflecteix l'os que s'ha anat guanyant durant els anys de creixement menys l'os que posteriorment s'ha perdut. Les teories anteriors sobre l'osteoporosi no havien considerat adequadament el paper de l'adquisició de l'os com a determinant del retard en l'aparició del risc de fractura osteoporòtica. Un estudi realitzat amb noies blanques entre 9 i 21 anys¹⁸ mostra que al voltant del 60% del PMO final de l'adult s'adquireix durant el temps de màxim creixement en l'adolescència. Només al voltant del 5% del PMO s'adquireix després dels 18 anys. D'aquesta manera, l'adolescència suposa la "finestra per a l'oportunitat", en què els factors genètics, dietètics, hormonals i d'altres determinen la magnitud dels guanys ossis. Al voltant del 80% del PMO està determinat genèticament, però hi ha una sèrie de factors ambientals importants que cal tenir en compte, que inclouen la ingesta de calci i l'activitat física habitual. Per contrapartida, l'adolescència també és la "finestra de la vulnerabilitat", quan es para una atenció inadequada a tots

aquests factors, que pot dur a una densitat òssia menor quan s'arriba a la maduració de l'esquelet. Persones que no hagin adquirit un nivell adequat de massa òssia no necessitaran perdre gaire massa òssia durant l'etapa adulta per incrementar substancialment el risc de patir osteoporosi i fractura¹⁹.

Tanmateix, les mesures preventives no s'han de centrar només en els períodes de creixement accelerat de l'os. De fet, sembla que l'esquelet respon molt bé als canvis en el consum de calci o en el grau d'activitat física durant els anys que precedeixen al període de maduració sexual.

Petites diferències en el PMO representen grans diferències en la salut de l'esquelet posterior. Els guanys de massa òssia associats amb l'increment de la ingesta de calci o de l'activitat física suposen una modesta, però suficient, influència positiva sobre la salut de l'os. Un increment d'un 5% en el PMO redueix un 40% el risc de patir osteoporosi durant la vida²⁰. Increments lleument superiors del PMO, de fins a un 7-8%, poden significar la reducció d'1,5 vegades el risc de fractures osteoporòtiques en la tercera etapa de la vida²¹.

Així doncs, assolir un PMO suficient durant els anys de creixement, juntament amb el manteniment d'aquest pic durant un temps suficient durant l'etapa adulta i amb el control de la seva involució en una etapa posterior, són considerats els 3 factors determinants d'una bona salut òssia en la persona gran²².

EFFECTES DE L'EXERCICI FÍSIC EN LA DENSITAT ÒSSIA EN RELACIÓ AMB L'EDAT

Els beneficis de l'exercici físic sobre la densitat òssia es produeixen, sobretot, en les primeres etapes de la vida²³. Aquests beneficis, en el sentit d'increment de DMO, es van diluint en la mesura que van passant els anys, i es pot apuntar que els guanys en DMO relacionats amb l'exercici físic són difícils una vegada s'han superat els 50 anys d'edat. Són diversos els estudis que refermen que l'exercici físic durant la infància i l'adolescència produeix un augment de la massa òssia molt més gran que l'exercici físic realitzat durant l'edat adulta, i situen el període òptim per actuar en l'adquisició d'un PMO més elevat fins als 2 anys després de la menarquia².

Sembla que els beneficis més grans estan en relació amb el manteniment d'uns hàbits físicament actius en el decurs dels anys. Quan l'exercici es manté tot al llarg de la vida, la DMO general i de maluc són entre un 5 i un 8% superiors als seus homòlegs inactius, segons els nivells d'intensitat²⁴.

En aquest apartat es fa referència de diversos treballs que han estudiat els beneficis de l'exercici físic per a la massa òssia en etapes diferents de la vida.

Primera infància

Són poques les referències que es troben sobre els efectes de l'exercici físic en nens petits. La més destacada és la de The Iowa Development Study²⁵, que és un estudi transversal en el qual es va examinar l'associació entre l'activitat física i la massa òssia de 368 nens preescolars (rang d'edat entre 4 i 6 anys, amb una mitjana de 5,2 anys). En aquest treball es va trobar que l'activitat física té una influència positiva sobre el creixement ossi abans de l'edat peripuberal i, per tant, abans que aquest creixement estigui modulats pel desenvolupament hormonal. En el treball de Zanker²⁶ es va veure que l'exercici d'alt impacte, realitzat abans dels 7 anys, és beneficiós per a l'adquisició de l'os també en aquesta etapa de la vida, de la mateixa manera que s'ha pogut contrastar en etapes posteriors.

Etapa prepuberal

En els prepúbbers, nombrosos estudis consultats²⁷⁻³³ conclouen guanys del 2 al 4%²⁴ de mitjana de la massa òssia general, de columna i de maluc en practicants de diversos programes d'exercici físic, respecte dels seus controls. Els exercicis de força i els d'alt impacte, com els salts, són el que van resultar més beneficiosos en aquest grup de població.

Tanmateix, també s'ha pogut constatar que l'exercici d'impacte amb una base aeròbica reporta beneficis per a l'os dels subjectes prepúbbers. En un estudi realitzat amb nenes premenàrquiques i postmenàrquiques que realitzaven 2 sessions setmanals d'aeròbic (graons) complementades amb un programa de salts durant un període de 9 mesos, es va veure que les premenàrquiques tenien un contingut mineral ossi significativament incrementat, en la columna lumbar i en el coll del fèmur, respecte de les nenes del grup control. Al contrari, en el grup de les postmenàrquiques no es van demostrar canvis significatius en el contingut mineral ossi. Per tant, l'exercici abans de la menarquia sembla més beneficiós per a l'adquisició de la massa òssia que després; aquest fet passa principalment durant el període de l'estirada puberal³⁴.

Adolescents

En poblacions adolescents hi ha estudis que recullen, enregistrats amb densitometria, guanys de massa òssia, per als practicants d'exercici físic, fins i tot superiors al 10-20% respecte dels seus controls inactius; aquests guanys estan en relació amb el grau de maduració i el pes corporal^{4,5,9,35-42}. Aquest període de la vida és el que presenta la millor oportunitat, no només

per guanyar densitat òssia, sinó també per modificar la grandària de l'esquelet i la seva arquitectura en resposta amb les càrregues mecàniques relacionades amb l'exercici físic³⁵.

En aquests 2 grups d'edat, etapa peripuberal i adolescència, en què la participació en competicions esportives està més estesa, els joves atletes d'elit poden augmentar la grandària òssia i el contingut mineral en relació amb la seva pràctica esportiva⁴³. No obstant això, fins i tot les activitats diàries, com els jocs, el ball i les classes d'educació física, poden estimular la salut òssia^{5,37}. En un estudi longitudinal de 6 anys de seguiment, el The Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study⁵, ja esmentat més amunt, es va observar que la majoria de nens i nenes actius tenien uns guanys significativament més grans en el contingut mineral ossi (CMO) de tot el cos, la columna i el coll del fèmur durant l'adolescència si feien activitats físiques, que no els seus companys inactius. La màxima correlació ($r = 0,47$, amb una significació de $p < 0,05$) entre activitat física i el pic de màxima adquisició de CMO va ser en les noies i a la columna vertebral.

Adults joves

En estudis amb adults joves d'ambdós sexes^{35,38,44-50} sotmesos a programes d'exercici aeròbic molt diversos o amb peses, de fins a 3 h a la setmana, s'han trobat augments de la DMO respecte del grup control que varien, després dels anys, entre el 2 i el 9%, segons la localització, durada i intensitat de l'exercici. Tanmateix, els guanys anuals són molt més modestos, ja que van de l'1% al 3% durant el primer any d'exercici, amb guanys molt escassos, en cas d'existir, en els anys següents⁵¹. No queda clar, en aquest grup de població, si el manteniment de l'exercici físic habitual durant diversos anys produeix beneficis continuats, acumulatius sobre la DMO, o si els efectes positius de l'exercici s'aturen després d'una resposta inicial, tot produint-se un estancament.

Adults grans

En diversos estudis amb dones pre i perimenopàusiques, revisats per Peña²⁴, que van fer programes d'exercici físic molt diversos, des de les labors domèstiques fins a programes d'aixeca-

ment de peses, també es van trobar millores en la DMO de les dones actives respecte de les controls inactives. La majoria d'estudis van presentar guanys que oscil·laven de l'1% al 2,8%, segons l'activitat realitzada, les localitzacions de l'esquelet i el temps de durada de la intervenció, que en quasi tots estava entre els 0,5 i els 2 anys. En aquesta etapa els efectes de l'exercici físic, en el sentit d'increment de massa òssia, es van diluint, fins al punt que en alguns treballs controlats no es manifesta un efecte significatiu sobre la DMO de la dona premenopàusica⁵².

S'han publicat nombrosos estudis de l'efecte de l'exercici físic sobre la DMO de la dona menopàusica. Els resultats d'aquests estudis, en general, donen guanys de massa òssia més modestos que en etapes anteriors. Malgrat això, les diferències entre les dones actives i les sedentàries, moltes vegades, es van trobar en relació amb una menor pèrdua de DMO de les que feien exercici físic en relació amb les inactives, és a dir, la diferència es produïa més per l'efecte d'estalvi que no de guany. En una revisió sistemàtica d'assajos clínics, Wallace⁵³ va concloure que les dones postmenopàusiques actives milloraven la seva DMO en prop de l'1% o almenys conservaven la seva massa òssia, mentre que els grups controls, inactius, perdien per sobre de l'1% o el 2% anual. En una revisió de la Cochrane⁵⁴ sobre l'exercici com a factor preventiu i de tractament de l'osteoporosi en la dona postmenopàusica, es va concloure que, en aquest grup d'edat, tant els exercicis aeròbics com els de càrrega van ser beneficiosos per a la DMO de la columna, i que caminar ho va ser en la columna i també quant al maluc.

Persones grans

Respecte de la tercera edat, en assajos clínics en els quals es va estudiar l'efecte de l'exercici físic, es van recollir resultats de millora en equilibri, força i volum muscular, coordinació, fatiga i qualitat de vida, malgrat que no sempre es van obtenir millores en la densitometria. Els beneficis derivats de l'exercici físic en aquest grup de població poden contribuir a la prevenció de fractures, malgrat que els beneficis, moltes vegades, no repercuteixin directament en la millora de la quantitat de l'os.

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. *PubliCEStandard.* 2003. Disponible a: <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 in-

- tervention 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, Eggle 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, Eggle 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 osteo sono 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, Bergstrahl 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.