

# Esport i massa òssia (II). Característiques de l'exercici físic que condicionen el modelatge i el remodelatge ossis

CARITAT BAGUR CALAFAT

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

## RESUM

L'exercici físic és un dels factors que condicionen el modelatge i el remodelatge ossi. En l'os, l'estímul més important es produeix quan les càrregues, inherents a l'exercici físic, excedeixen les habituals i tenen una distribució inusual; aleshores és més important la intensitat que no la durada d'aquestes. L'exercici físic que sembla que té més potencial osteogènic és el que inclou salts no estereotipats, en trajectòries diferents. L'activitat física de baix impacte, que implica escassa sobrecàrrega mecànica, no sembla que tingui cap avantatge. Així doncs, les disciplines esportives que inclouen activitats d'impacte vertical, en les quals cal suportar el pes del cos, són més favorables per a la massa òssia que no pas aquelles en què no hi ha impacte, com la natació. Aquests beneficis seran específics de les àrees especialment implicades en l'exercici, ja que la resposta de l'os a la càrrega mecànica acostuma de ser local i no generalitzada.

**PARAULES CLAU:** Massa òssia. Exercici físic. Càrrega mecànica. Esport. Salt.

## ABSTRACT

Physical activity is one of the factors affecting bone formation and remodeling. The most important stimuli taking place in bone structure occurs when a mechanical load, inherent to physical activity, is heavier and has a different distribution than usual. The intensity of the load is more important than the duration. The type of physical activity with the greatest osteogenic potential seems to be activity that includes non-stereotyped jumps in different directions. Low impact physical activity, which involves little mechanic stress, seems not to benefit bone mass. Therefore, sports that include vertical impact activities in which body weight must be borne are more beneficial for bone mass than those in which there is no impact, such as swimming. These benefits are specific to the area most heavily involved in the activity, given that the response of bone structure to mechanical load tends to be local rather than general.

**KEY WORDS:** Bone mass. Physical activity. Mechanical load. Sports. Jump.

## INTRODUCCIÓ

El modelatge i el remodelatge ossis presenten unes característiques individuals en funció de la raça i l'herència. Estan condicionats per una sèrie de factors nutricionals, mecànics i hormonals. La incidència sobre aquests factors condicionants pot predisposar a la pèrdua o a la millora i/o al manteniment, en funció de l'etapa de la vida, de la qualitat i quantitat d'os.

Respecte del pes, l'activitat física estimula l'augment ossi, mentre que la immobilitat du a patir-ne una pèrdua accelerada<sup>1,2</sup>. Cal tenir presents les característiques de l'exercici per po-

der-lo correlacionar amb la quantitat dels beneficis. La intensitat i el tipus d'exercici tenen repercussions importants sobre la massa òssia, les quals són específiques de la regió anatòmica principalment implicada en el treball.

## CARACTERÍSTIQUES DE LA CÀRREGA MECÀNICA QUE INFLUENCIEN LA MASSA ÒSSIA

La resposta de l'esquelet a una força depèn de la magnitud, la velocitat, la distribució i la repetició de la deformació en un determinat os.

– La *magnitud de la deformació* es podria definir com el canvi, en percentatge, de la longitud de l'os que se sotmet a una força mecànica. Les activitats que provoquen forces màximes elevades, o gran magnitud de deformació, sembla que influeixen més sobre la massa òssia que no pas les activitats que apliquen un nombre elevat de cicles o repeticions<sup>3,4</sup>.

– La *velocitat de la deformació* és la rapidesa amb què aquesta apareix i s'allibera. Les deformacions ràpides són les més eficaces a l'hora d'obtenir de l'os una resposta d'adaptació màxima<sup>5</sup>. Sobre aquesta afirmació, Umemura et al<sup>6</sup>, en un treball de laboratori amb rates, van comparar l'entrenament de salt amb l'entrenament de cursa i van observar que el salt s'associava amb més velocitat i magnitud de deformació, a més de desencadenar una resposta òssia positiva de més eficàcia que la cursa.

– La *distribució de la deformació* descriu la manera com aquesta s'ordena en una secció de l'os. Hi ha la teoria que les deformacions anòmales de distribució heterogènia tenen més possibilitats d'estimular l'osteogènesi que no les deformacions repetitives produïdes per les activitats quotidianes<sup>7</sup>.

– Els *cicles de la deformació* expressen el nombre de repeticions de la força que canvien les dimensions de l'os amb una magnitud determinada. Malgrat que fa falta un nombre mínim de cicles de força per obtenir una resposta positiva de l'os, la transcendència del nombre de cicles de deformació sembla menor que la velocitat o la magnitud de la deformació<sup>8-10</sup>.

## TIPUS D'EXERCICI REALITZAT I LA SEVA INFLUÈNCIA SOBRE LA MASSA ÒSSIA

Pel que es desprèn del que s'ha exposat fins aquí, les característiques de la càrrega mecànica que tenen una influència més gran sobre la densitat òssia són la magnitud, la velocitat i la distribució heterogènia de la deformació. En l'os, l'estímul més important es produeix quan les càrregues excedeixen les habituals, i hi és més important la intensitat que no la durada<sup>11,12</sup>. Principalment, les càrregues de distribució inusual (en relació amb la versatilitat dels moviments), en alta proporció i magnitud, semblen particularment estimulants de l'osteogènesi si es comparen amb càrregues més lleus, malgrat que aquestes últimes siguin aplicades d'una manera repetida<sup>13</sup>. Així doncs, l'exercici acíclic que suposi una càrrega mecànica i/o un impacte musculoesquelètic important té un efecte especialment osteotrófic, com s'ha pogut constatar en treballs amb diversos grups d'edat, tal com s'esmentarà en aquest article. L'exercici físic que sembla tenir més potencial

osteogènic és el que inclou salts no estereotipats, en trajectòries diferents.

L'activitat física de baix impacte, que implica una sobrecàrrega mecànica escassa, no sembla tenir cap avantatge en la consecució d'una major massa òssia en grups de subjectes que no fan cap mena d'activitat. L'acumulació en el temps d'activitat física de baix impacte tampoc no sembla que tingui repercussions favorables en la massa òssia. Així ho demostren estudis que comparen la massa òssia d'esportistes de disciplines aquàtiques en relació amb controls inactius<sup>14-16</sup>. Com a contrapartida, alguns autors, com Bailey et al<sup>17</sup>, han constatat que els valors de massa òssia de nedadors, en zones de càrrega, és fins i tot inferior a la dels controls inactius.

Cal esmentar que Matkin et al<sup>18</sup>, van observar diferències de sexe en l'associació entre diversos tipus d'activitats físiques i la massa òssia en localitzacions diferents en una població amb un rang d'edat entre els 9 i els 25 anys. En les nenes i dones joves, només l'activitat amb càrrega del pes corporal es correlacionà positivament amb la densitat mineral òssia (DMO), mentre que en els nois i homes aquesta correlació es va manifestar també en les activitats físiques en què no hi havia càrrega del pes corporal.

Es pot acceptar, segons la bibliografia que es revisarà en l'apartat d'esport i massa òssia, que l'entrenament d'alt impacte proporciona un estímul més gran per augmentar el contingut mineral ossi que no els esports aeròbics com la natació i l'atletisme. De totes maneres, tal com apunten Alfredson et al<sup>19</sup>, l'entrenament aeròbic es pot considerar una alternativa a l'exercici físic d'alt impacte (normalment de predomini anaeròbic), ja que, malgrat que les conseqüències d'aquest tipus de treball són inferiors per a la DMO, es poden trobar beneficis en zones que tenen un valor clínic important, com ara el maluc i la columna lumbar, sobretot si l'entrenament aeròbic es fa mitjançant una activitat com és la cursa, que comporta una càrrega vertical sobre l'extremitat inferior, en haver de suportar el pes del cos. Per tant, dins l'àmplia gamma d'activitats i/o exercicis que es fan movent la càrrega del propi cos i que són beneficiosos per a l'adquisició òssia, els d'alt impacte són els que repercuteixen amb un benefici més gran per a la massa òssia i la geometria de l'os<sup>20</sup>.

A més, s'ha de tenir present que l'entrenament aeròbic habitualment es fa mitjançant diversos tipus de desplaçament que representen una activitat cíclica i que, per tant, no comporta una distribució anòmala i heterogènia de la deformació, que suposaria un efecte osteogènic més gran.

Quant al tipus de contracció muscular, està ben establert que calen càrregues dinàmiques a fi d'influir sobre la massa

òssia<sup>21</sup>; així doncs, el treball muscular de predomini dinàmic serà el que tindrà més repercussió sobre l'os davant el treball muscular de predomini isomètric. En l'estudi de Woitge<sup>22</sup> es va constatar, a més a més, que la contracció muscular dinàmica excèntrica produïa un benefici més gran per a la massa òssia que no pas la contracció muscular concèntrica, ben segur en relació amb la capacitat de generar més força i, per tant, imprimir més deformació a la zona d'inserció muscular.

### **Influència de les activitats de salt sobre la massa òssia**

Les activitats que inclouen salts sembla que tenen un potencial osteogènic més elevat, el qual es manifesta principalment en les etapes en què l'organisme és més receptiu als beneficis de l'exercici físic.

Diverses proves controlades han mostrat que diversos períodes d'activitat de salt augmenten la massa i l'àrea òssia a l'edat prepuberal o peripuberal. Subjectes que saltaven tan sols alguns minuts (entre 10 i 25 min, segons els estudis) 3 vegades a la setmana durant 7-8 mesos, guanyaven més massa òssia al maluc i a la columna lumbar que d'altres en el grup control<sup>23-26</sup>. Els guanys observats en aquest període curt d'estudi es mantenen o augmenten si la intervenció s'allarga en el temps (fins a 2 cursos escolars) amb la mateixa pauta de treball<sup>27</sup>. En aquesta etapa, especialment sensible, la inclusió de programes de salt de curta durada, fàcilment incorporables en el currículum d'educació física a l'escola, pot contribuir a incrementar els guanys ossis.

En l'etapa postpuberal també s'observen els beneficis de programes d'exercici físic en els quals es fan diverses activitats de salt amb pautes comparables a les exposades<sup>28</sup> i amb l'ús de càrregues addicionals en l'execució dels exercicis<sup>29</sup>.

Els beneficis per a l'os dels exercicis de salt vertical també s'han pogut constatar, però en menor quantitat, en dones premenopàusiques, amb un increment de la DMO femoral del 2,8%. No obstant això, un programa equivalent d'exercicis breus d'alt impacte es va observar que no produïa beneficis en el període postmenopàusic<sup>30</sup>.

### **Magnitud de la càrrega de treball i durada de l'exposició**

En determinar la influència dels components de la càrrega d'entrenament sobre l'os, queda palès que la intensi-

tat de l'exercici té una major relació amb la massa òssia que no el volum de treball. Tot i això, cal plantejar-se quin és el volum de treball setmanal necessari perquè es produeixin adaptacions en la massa òssia, tenint en compte que sempre han d'estar en relació amb la intensitat de la càrrega aplicada. Estudis controlats en els quals es volia constatar l'eficàcia de l'aplicació d'un programa de força-resistència van trobar que 3 sessions setmanals d'uns 45 min, si s'aplicaven durant un any, eren suficients per estimular l'adaptació de l'os<sup>31</sup>. En canvi, programes semblants seguits durant menys temps (entre 20 i 26 setmanes)<sup>32,33</sup> no eren suficients per incrementar la massa òssia. Estudis d'intervenció amb diverses activitats de salt<sup>23-26</sup> troben beneficis en l'aplicació d'un programa amb un volum de treball sensiblement inferior, 3 sessions setmanals entre 10 i 25 min de durada, però amb una activitat de molt alta intensitat.

Karlsson et al<sup>34</sup>, en un estudi amb jugadors de futbol van comprovar que els beneficis més grans per a la massa òssia es constataren quan la càrrega setmanal estava per sota de les 6 h d'entrenament. En el rang de 0-6 h d'entrenament setmanal van trobar que els guanys de DMO al coll femoral eren del 3,3% per hora d'entrenament; en canvi, per sobre de les 6 h els guanys només eren del 0,7% per hora d'entrenament.

Quan l'exercici esdevé molt extenuant, els beneficis per a l'os es poden veure minimitzats o fins i tot anul·lats<sup>35,36</sup>. Massa exercici, especialment en les noies, pot tenir efectes negatius sobre el creixement ossi, especialment quan l'activitat física s'acompanya de pèrdua de pes corporal i reducció de les hormones sexuals que porten a la interrupció de la menstruació.

D'altra banda, queda per determinar amb certesa quin pot ser l'efecte acumulatiu sobre l'os de l'exercici d'alt impacte, ja que els estudis controlats en la majoria de casos no superen l'any de durada. En aquest sentit, cal esmentar els treballs de Nurmi-Lawton<sup>37</sup>, Laing<sup>38</sup> i Gustavsson<sup>39</sup>, que en diversos estudis prospectius, tots de 3 anys de seguiment, van observar que es mantenen (o fins i tot milloraven) els beneficis de l'entrenament intens en disciplines d'impacte (gimnàstica esportiva, hoquei sobre gel i bàdminton).

A més, es pot arribar a intuir un benefici a llarg termini en valorar els resultats d'estudis transversals que comparen els valors de massa òssia d'esportistes de diferents disciplines, i amb diferents nivells d'impacte, amb una història prèvia d'exposició a aquest tipus de treball<sup>15,20,40</sup>.

## ESPORT I MASSA ÒSSIA

En un estudi de revisió<sup>41</sup> de treballs fets amb esportistes d'elit i persones que feien molt d'exercici que inclogués l'entrenament de la força, i en absència d'amenorrea o d'escassa nutrició, s'ha pogut constatar que s'arribava a obtenir fins a un 10-30% més de densitat òssia a les zones de càrrega que en els subjectes inactius. Igualment, esportistes de disciplines en què són freqüents els salts en trajectòries diferents, com és el cas de voleibol, bàsquet, bàdminton, gimnàstica esportiva, etc., obtenen un benefici més elevat en l'increment de la massa òssia, especialment a les zones de càrrega<sup>42-44</sup>.

Entre els esports competitiu, hi ha diversos estudis que donen suport a la tesi que les disciplines que inclouen activitats d'impacte vertical, en les quals s'ha de suportar el pes del cos, són més beneficioses per a la massa òssia que no aquelles en què no hi ha impacte, com la natació. En la majoria d'aquests estudis es valoren en un moment determinat les conseqüències, per a l'os, de l'exposició prèvia a un programa d'entrenament de disciplines esportives d'impacte diferent<sup>15,43,45-48</sup>. Ja el 1990, Risser et al<sup>44</sup>, comparant la DMO d'esportistes de diverses especialitats (jugadores de voleibol, bàsquet i nedadores) i controls inactives, van poder relacionar uns registres més elevats de DMO amb la pràctica d'activitats esportives que suposaven impacte vertical (bàsquet i voleibol), mentre que la DMO de les nedadores no era més elevada que la de les components del grup control, inactiu físicament. Igualment, s'ha pogut constatar que esportistes d'elit de disciplines aquàtiques no tenen una massa òssia més gran a les zones de càrrega que altres persones no atletes del grup control<sup>15,16,45</sup>. Aquestes observacions remarquen la importància de l'alt impacte de l'activitat com a estímul per a la formació òssia.

Hi ha un gran nombre de treballs publicats que estudien les repercussions sobre la massa òssia de la pràctica de la gimnàstica esportiva<sup>36,38,49-53</sup>. Aquesta disciplina reporta beneficis per a l'esquelet axial i apendicular, tant al tren superior<sup>52</sup> com a l'inferior. Però de vegades els beneficis queden modulats per la influència negativa de programes d'entrenament molt intensius<sup>36</sup> i per les alteracions hormonals i menstruals que ocasionalment pateixen aquestes esportistes.

## EFFECTES DE L'EXERCICI EN RELACIÓ AMB LA REGIÓ ÒSSIA

La resposta de l'os a la càrrega mecànica sol ser local i no generalitzada en tot l'esquelet, i en aquest sentit hi ha un cert paral·lelisme amb les adaptacions musculars derivades de l'en-

trenament de la força que també es manifesten a nivell local. Les activitats amb recolzament del propi pes corporal, que suposen una major implicació del tren inferior, tenen una repercussió més important en la columna lumbar i al maluc. Com a contrapartida, les activitats que exigeixen d'una manera específica el tren superior o l'extremitat i/o el costat dominant obtenen beneficis només en aquestes localitzacions.

En un estudi transversal amb una mostra d'esportistes de diverses disciplines<sup>54</sup> es va comparar la DMO de l'extremitat inferior i superior (la dominant i la contralateral), i es van poder observar diferències en la DMO de l'extremitat dominant i la contralateral d'una manera generalitzada. Aquestes diferències es feien més evidents en les disciplines que implicaven una pràctica unilateral (tennis, beisbol, futbol) respecte de les que tenien una activitat més simètrica (cursa, bàsquet, voleibol). Les diferències en l'adaptació òssia entre l'un i l'altre costat, en relació amb l'especificitat esportiva, augmenten en funció del nivell d'entrenament de l'esportista<sup>55</sup>.

En estudis en què es valoren les diferències entre la massa òssia d'una extremitat i la seva contralateral, en disciplines esportives unilaterals, com poden ser els esports de raqueta, s'ha pogut contrastar que els beneficis per a la massa òssia també són unilaterals, tot confirmant les adaptacions específiques segons l'àrea majoritàriament implicada en l'exercici<sup>56</sup>. Haapasalo et al<sup>57</sup>, van confirmar que aquests beneficis, a més de ser unilaterals, no s'evidenciaven clarament fins al pic de creixement de l'adolescència o l'estadi III de Tanner, i sempre condicionats per la durada de la carrera esportiva i la freqüència dels entrenaments.

Aquestes adaptacions òssies diferenciades entre un costat i l'altre resulten més evidents si l'inici de la pràctica esportiva asimètrica és precoç<sup>58</sup>. Les adaptacions específiques en relació amb l'exercici depenen de l'estat de maduració òssia de la regió<sup>59</sup>.

En diversos estudis amb esportistes amb disfuncions menstruals que poden repercutir negativament en la massa òssia, la majoria d'autors consideren que el contingut mineral ossi és normal a les zones de càrrega (columna lumbar i maluc). Es pot intuir, doncs, que la càrrega mecànica d'alguna manera compensaria, localment, l'efecte deleteri sobre l'os de les alteracions menstruals i hormonals<sup>60-62</sup>.

## Força i massa òssia

La resposta òssia local no sols està en relació amb la càrrega mecànica de cada regió específica, sinó que també es relaciona amb la força muscular. L'associació entre força muscular

i massa òssia és un aspecte controvertit, ja que els resultats de treballs que han intentat establir aquesta associació són molt dispers.

Diversos estudis relacionats amb la pràctica de diverses disciplines esportives no troben que els guanys en força muscular vagin emparellats amb els increments de la massa òssia local<sup>42,63-66</sup>. Heinonen et al<sup>67</sup>, van concloure que un programa d'entrenament de força unilateral d'un any de durada no proporcionava un efecte osteogènic suficient, malgrat els increments significatius de força produïts.

D'altra banda, hi ha treballs que troben associació entre la força muscular i les adaptacions locals de la massa òssia<sup>68-71</sup> i amb la composició corporal regional i la DMO de l'àrea<sup>72,73</sup>. Seria una manera indirecta de relacionar les àrees més sol·licitades en les diverses disciplines esportives i la força muscular i la DMO de la mateixa àrea.

Nichols et al<sup>31</sup>, en un estudi controlat, van arribar a la conclusió que l'entrenament de la força es pot preveure com

un mètode potencial per incrementar la massa òssia dels adolescents, en trobar que l'aplicació d'un programa de força-resistència de 30 a 45 min de durada, 3 vegades a la setmana durant 15 mesos, incrementava significativament la força al tren inferior i la DMO al coll femoral. Blimkie et al<sup>32</sup>, en un treball també amb noies adolescents (14-18 anys), amb una intervenció de característiques semblants a l'anterior però d'una durada de només 26 setmanes, van trobar que, malgrat els guanys significatius de força, no hi havia increments significatius de massa òssia. Uns resultats semblants va trobar Chilibeck<sup>33</sup>, que en aplicar un programa de força de 2 sessions setmanals durant 20 setmanes, va observar millores en els registres de força i de percentatge muscular, però no va ser suficient per millorar la DMO i el contingut mineral ossi. De la valoració d'aquests estudis es podria intuir que calen intervencions amb programes d'entrenament de llarga durada per poder establir relació entre els guanys de força i de massa òssia.

## Bibliografia

- 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.
- Ferretti JL, Schiessl H, Frost HM. On new opportunities for absorptiometry. *J Clin Densitom.* 1998;1:41-53.
- Rubin CT, Lanyon LE. Regulation of bone mass by mechanical strain magnitude. *Calcif Tissue Int.* 1985;37:411-7.
- Whalen RT, Carter DR, Steele CR. Influence of physical activity on the regulation of bone density. *J Biomech.* 1988;21:825-37.
- Turner CH, Owan I, Takano Y. Mechanotransduction in bone: role of strain rate. *Am J Physiol.* 1995;269:E438-42.
- Umemura Y, Ishiko T, Tsujimoto H, Miura H, Mokushi N, Suzuki H. Effects of jump training on bone hypertrophy in young and old rats. *Int J Sports Med.* 1995;16:364-7.
- Lanyon LE. Functional strain as a determinant for bone remodeling. *Calcif Tissue Int.* 1984;36 Suppl 1:S56-61.
- Lanyon LE. Functional strain in bone tissue as an objective, and controlling stimulus for adaptive bone remodelling. *J Biomech.* 1987;20:1083-93.
- Rubin CT, Lanyon LE. Regulation of bone formation by applied dynamic loads. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66:397-402.
- Umemura Y, Ishiko T, Yamauchi T, Kurono M, Mashiko S. Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *J Bone Miner Res.* 1997;12:1480-5.
- Honda A, Umemura Y, Nagasawa S. Effect of high-impact and low-repetition training on bones in ovariectomized rats. *J Bone Miner Res.* 2001;16:1688-93.
- Robling AG, Hinant FM, Burr DB, Turner CH. Shorter, more frequent mechanical loading sessions enhance bone mass. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:196-202.
- Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievanen H, Haapasalo H, Manttari A, et al. Bone mineral density in female athletes representing sports with different loading characteristics of the skeleton. *Bone.* 1995;17:197-203.
- Courteix D, Lespessailles E, Peres SL, Obert P, Germain P, Benhamou CL. Effect of physical training on bone mineral density in prepubertal girls: a comparative study between impact-loading and non-impact-loading sports. *Osteoporos Int.* 1998;8:152-8.
- Lima F, Falco V, Baima J, Carazzato JG, Pereira RMR. Effect of impact load and active load on bone metabolism and body composition of adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1318-23.
- 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.
17. Bailey DA, Faulkner RA, McKay HA. Growth, physical activity, and bone mineral acquisition. *Exerc Sport Sci Rev.* 1996;24:233-66.
18. 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.
19. Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. Aerobic workout and bone mass in females. *Scand J Med Sci Sports.* 1997;7:336-41.
20. Pettersson U, Nordström P, Alfredson H, Henriksson-Larsén 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.
21. Skerry TM. Mechanical loading and bone: what sort of exercise is beneficial to the skeleton? *Bone.* 1997;20:179-81.
22. Woitge HW, Friedmann B, Suttner S, Farahmand I, Muller M, Schmidt-Gayk H, et al. Changes in bone turnover induced by aerobic and anaerobic exercise in young males. *J Bone Miner Res.* 1998;13:1797-804.
23. 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.
24. MacKellvie KJ, McKay HA, Khan KM, Crocker PR. A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *J Pediatr.* 2001;139:501-8.
25. 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.
26. Petit MA, McKay HA, MacKellvie KJ, Heinonen A, Khan KM, Beck TJ. A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity-specific benefits on bone structural properties in girls: a hip structural analysis study. *J Bone Miner Res.* 2002;17:363-72.
27. MacKellvie KJ, Khan KM, Petit MA, Janssen PA, McKay HA. A school-based exercise intervention elicits substantial bone health benefits: a 2-year randomized controlled trial in girls. *Pediatrics.* 2003;112:e447.
28. Witzke KA, Snow CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1051-7.
29. Arnett MG, Lutz B. Effects of rope-jump training on the os calcis stiffness index of postpubescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1913-9.
30. Bassey EJ, Rothwell MC, Littlewood JJ, Pye DW. Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J Bone Miner Res.* 1998;13:1805-13.
31. Nichols DL, Sanborn CF, Love AM. Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *J Pediatr.* 2001;139:494-500.
32. Blimkie CJ, Rice S, Webber CE, Martin J, Levy D, Gordon CL. Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Can J Physiol Pharmacol.* 1996;74:1025-33.
33. Chilibeck PD, Calder A, Sale DG, Webber CE. Twenty weeks of weight training increases lean tissue mass but not bone mineral mass or density in healthy, active young women. *Can J Physiol Pharmacol.* 1996;74:1180-5.
34. Karlsson MK, Magnusson H, Karlsson C, Seeman E. The duration of exercise as a regulator of bone mass. *Bone.* 2001;28:128-32.
35. Klesges RC, Ward KD, Shelton ML, Applegate WB, Cantler ED, Palmieri GM, et al. Changes in bone mineral content in male athletes. Mechanisms of action and intervention effects. *JAMA.* 1996;276:226-30.
36. Markou KB, Mylonas P, Theodoropoulou A, Kontogiannis A, Leglise M, Vagenakis AG, et al. The influence of intensive physical exercise on bone acquisition in adolescent elite female and male artistic gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab.* 2004;89:4383-7.
37. Nurmi-Lawton JA, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Bishop JA, Taylor P, Cooper C, et al. Evidence of sustained skeletal benefits from impact-loading exercise in young females: a 3-year longitudinal study. *J Bone Miner Res.* 2004;19:314-22.
38. Laing EM, Massoni JA, Nickols-Richardson SM, Modlesky CM, O'Connor PJ, Lewis RD. A prospective study of bone mass and body composition in female adolescent gymnasts. *J Pediatr.* 2002;141:211-6.
39. Gustavsson A, Thorsen K, Nordström P. A 3-year longitudinal study of the effect of physical activity on the accrual of bone mineral density in healthy adolescent males. *Calcif Tissue Int.* 2003;73:108-14.
40. 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.
41. Chilibeck PD, Sale DG, Webber CE. Exercise and bone mineral density. *Sports Med.* 1995;19:103-22.
42. 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.
43. Fehling PC, Alekel L, Clasey J, Rector A, Stillman RJ. A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports. *Bone.* 1995;17:205-10.
44. Risser WL, Lee EJ, LeBlanc A, Poindexter HB, Risser JM, Schneider V. Bone density in eumenorrheic female college athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:570-4.
45. 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.

46. Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol*. 2001;90:565-70.
47. Nordström P, Pettersson U, Lorentzon R. Type of physical activity, muscle strength, and pubertal stage as determinants of bone mineral density and bone area in adolescent boys. *J Bone Miner Res*. 1998;13:1141-8.
48. 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.
49. 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.
50. Jaffre C, Courteix D, Dine G, Lac G, Delamarche P, Benhamou L. High-impact loading training induces bone hyperresorption activity in young elite female gymnasts. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2001;14:75-83.
51. 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.
52. Proctor KL, Adams WC, Shaffrath JD, van Loan MD. Upper-limb bone mineral density of female collegiate gymnasts versus controls. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:1830-5.
53. 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.
54. McClanahan BS, Harmon-Clayton K, Ward KD, Klesges RC, Vukadinovich CM, Cantler ED. Side-to-side comparisons of bone mineral density in upper and lower limbs of collegiate athletes. *J Strength Cond Res*. 2002;16:586-90.
55. Wu J, Ishizaki S, Kato Y, Kuroda Y, Fukushima S. The side-to-side differences of bone mass at proximal femur in female rhythmic sports gymnasts. *J Bone Miner Res*. 1998;13:900-6.
56. Balus R, Bonet N, Pacheco L, Parra J, Estruch A, Ruiz A, et al. Valoració regional del contingut i la densitat òssia en tennistes professionals. *Apunts Medicina de l'Esport*. 2002;37(140):25-38.
57. 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.
58. Kontulainen S, Sievanen H, Kannus P, Pasanen M, Vuori I. Effect of long-term impact-loading on mass, size, and estimated strength of humerus and radius of female racquet-sports players: a peripheral quantitative computed tomography study between young and old starters and controls. *J Bone Miner Res*. 2002;17:2281-9.
59. Bass SL, Saxon L, Daly RM, Turner CH, Robling AG, Seeman E, et al. The effect of mechanical loading on the size and shape of bone in pre-, peri-, and postpubertal girls: a study in tennis players. *J Bone Miner Res*. 2002;17:2274-80.
60. Khan KM, Bennell KL, Hopper JL, Flicker L, Nowson CA, Sherwin AJ, et al. Self-reported ballet classes undertaken at age 10-12 years and hip bone mineral density in later life. *Osteoporos Int*. 1998;8:165-73.
61. Muñoz MT, Barrios V, Garrido G, Argente J. Ejercicio físico y masa ósea en adolescentes deportistas. *Rev Esp Pediatr*. 2003;59:61-9.
62. Warren MP, Brooks-Gunn J, Fox RP, Holderness CC, Hyle EP, Hamilton WG. Osteopenia in exercise-associated amenorrhea using ballet dancers as a model: a longitudinal study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2002;87:3162-8.
63. Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcif Tissue Int*. 1996;59:438-42.
64. 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.
65. Nordström P, Lorentzon R. Site-specific bone mass differences of the lower extremities in 17-year-old ice hockey players. *Calcif Tissue Int*. 1996;59:443-8.
66. Söderman K, Bergström E, Lorentzon R, Alfredson H. Bone mass and muscle strength in young female soccer players. *Calcif Tissue Int*. 2000;67:297-303.
67. Heinonen A, Sievanen H, Kannus P, Oja P, Vuori I. Effects of unilateral strength training and detraining on bone mineral mass and estimated mechanical characteristics of the upper limb bones in young women. *J Bone Miner Res*. 1996;11:490-501.
68. Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, et al. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25:1103-9.
69. Duncan CS, Blimkie CJ, Kemp A, Higgs W, Cowell CT, Woodhead H, et al. Mid-femur geometry and biomechanical properties in 15- to 18-yr-old female athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:673-81.
70. Duncan CS, Blimkie CJ, Cowell CT, Burke ST, Briody JN, Howman-Giles R. Bone mineral density in adolescent female athletes: relationship to exercise type and muscle strength. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:286-94.
71. Tsuji S, Tsunoda N, Yata H, Katsukawa F, Onishi S, Yamazaki H. Relation between grip strength and radial bone mineral density in young athletes. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76:234-8.
72. Nichols DL, Sanborn CF, Bonnick SL, Gench B, DiMarco N. Relationship of regional body composition to bone mineral density in college females. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:178-82.
73. Vicente-Rodríguez G, Ara I, Pérez-Gómez J, Dorado C, Calbet JA. Muscular development and physical activity as major determinants of femoral bone mass acquisition during growth. *Br J Sports Med*. 2005;39:611-6.