



Stärker styrketräning skelettet?

Benskörhet och de associerade fragilitetsfrakturerna är idag ett växande hälsoproblem världen över. Då det idag inte finns någon effektiv bot mot manifest benskörhet, är prevention av största vikt. Det är sedan länge känt att viktbärande fysisk aktivitet har en positiv inverkan på skelettet genom att bevara och öka benmassan. Vilken typ av fysisk aktivitet som bäst främjar tillväxt och bevarande av benmassan är dock inte helt känd. En av de aktiviteter som studerats flitigt är styrketräning. Denna artikel syftar till att sammanfatta de kunskaper som man idag har angående effekten av styrketräning på skelettet.



ULRIKA PETERSSON

LEG LÄK,
MED DR,
IDROTTSMEDICINSKA
ENHETEN, INSTITUTIONEN
FÖR KIRURGI
OCH PERIOPERATIV
VETENSKAP,
UMEÅ UNIVERSITET.

Inledning

Benskörhet (osteoporos) är en sjukdom som karaktäriseras av en låg bentäthet och en försämrad benkvalitet som leder till en ökad risk att drabbas av frakturer, vanligtvis i handled, lärbenshals och ryggkotor. Sjukdomen drabbar framför allt äldre kvinnor, vilket dels beror på att kvinnor uppnår en lägre maximal benmassa än män och dels på grund av större förluster framför allt under åren kring klimakteriet. Statistiskt sett drabbas idag varannan svensk kvinna och en fjärdedel av alla svenska män av en osteoporosrelaterad fraktur någon gång under livet, vilket givetvis är kopplat till enorma kostnader för samhället men också ett stort lidande för den drabbade. I Sverige är t.ex. incidensen av enbart höftledsfrakturer cirka 18 000 per år, till en kostnad av cirka 3 miljarder kronor. Incidensen av benskörhet har fördubblats under de senaste 40-50 åren och i världen globalt beräknas incidensökningen av frakturer öka trefalt till år 2050 (1). Ökningen ses hos bägge könen men är högre hos män. Denna ökning är delvis beroende på en ökad medellivs-

längd men det finns även en åldersspecifik ökning som tros bero på en alltmer stillasittande livsstil och brist på fysisk aktivitet hos befolkningen (2). De läkemedel som idag finns registrerade på indikationen för osteoporos leder inte till fullständig bot av sjukdomen. Förebyggande åtgärder är därför av yttersta vikt.

Skelettets uppbyggnad och omsättning (remodellering)

I skelettet sker en kontinuerlig omsättning av ben (remodellering) där benvävnaden först bryts ned för att sedan ersättas av nytt starkare ben. Denna bennybildning pågår kontinuerligt under hela livet och är nödvändigt för att den normala strukturen och hållfastheten i benet skall bevaras. Totalt omsätt 8-9 % av den totala benmassan per år, med en högre omsättning i trabekulärt än i kortikalt ben. Människans maximala benmassa (peak bone mass) uppnås i åldersintervallet 20-30 år, men de största ökningarna sker i barn- och ungdomsperioden, speciellt under puberteten och åren närmast därefter, då den benuppbyggande



Bild 1. Mätning av benmassa i helkropp med DEXA (Lunar DPX-L®)

processen dominerar över bennedbrytningen. Benmassan behålls därefter relativt konstant upp till medelåldern, då förlusterna av ben startar. Hos män är benförlusterna marginella innan 50 års ålder, därefter ses en benförlust på ca 0.2-0.5% per år livet ut. Benförlusterna hos kvinnor sker i två faser; en snabb fas de första 5-8 åren efter klimakteriet, med förluster på 2-4 % per år och därefter en andra långsammare fas med en årlig förlust på ca 0.5% livet ut. Den första snabba fasen är sekundär till östrogen bortfallet i samband med klimakteriet. När östrogen halten minskar dominerar bennedbrytningen över benupbyggnaden och bentätheten sjunker. Den maximala benmassan har föreslagits vara en mer betydelsefull prediktor för eventuell framtida osteoporos än de åldersrelaterade förlusterna upp till åtminstone 65 års ålder (3). Genetiska faktorer bestämmer till 60-80 % hur hög maxi-

mal benmassa man kan få men även yttre faktorer såsom adekvat kalciumintag och mekanisk belastning spelar en viktig roll för att uppnå så hög maximal benmassa som möjligt (4).

Mätning av bentäthet

Tekniker för att mäta bentäthet har funnits i flera decennier och har i huvudsak baserats på olika röntgentekniker, där attenuering av röntgenenergi i skelettet översatts till ett värde på bentäthet. Den idag mest använda metoden kallas DEXA (dual energy X-ray absorptiometer) (Bild 1). Med denna röntgenapparat mäts mängden benmineralelementer i skelettet (i gram), kroppsytan (i cm^2) samt kroppssammansättningen (mängden av muskel- och fettmassa i gram). Bentätheten beräknas sedan genom att dela mängden benmineralelementer med kroppsytan, vilket ger en areell bentäthet (g/cm^2) (Bild 2). Mätningar med DEXA har i

epidemiologiska studier visat ett tydligt samband mellan bentäthet och risken för frakturer.

Fysisk Aktivitet stärker skelettet

Skelettet är en metaboliskt högaktiv vävnad som adapteras till de mekaniska belastningar som det utsätts för. När en kraft appliceras på benvävnaden sker en temporär deformation i benet. Denna deformation genererar en kaskad av signaler i vävnaden med efterföljande inverkan på lokala ben-celler som deltar i nedbrytning samt uppbyggnad av ben. Om belastningen är högre än vävnaden är van vid blir svaret en ökad bennybildning i den del av skelettet som belastats för att skelettet skall klara av den ökade belastningen i fortsättningen. Om belastningen är mindre blir svaret en ökad bennedbrytning. Skelettet är sålunda i behov av en viss belastning för att benmassan skall bevaras. Ett

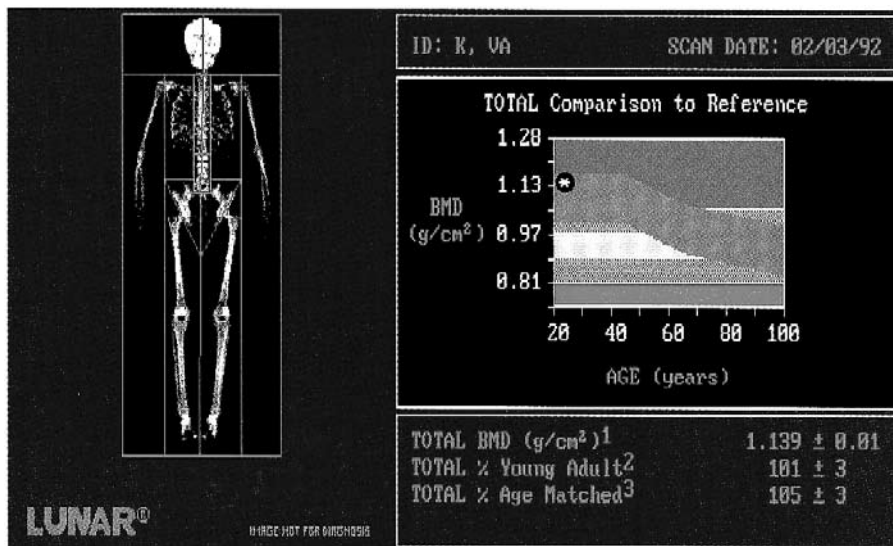


Bild 2. Mätprotokoll från helkroppsmätning hos en 25-årig kvinna, visande en normal benmassa för åldern (inom skuggat område) med absolut värde på 1.139 ± 0.01 g/cm².

tydligt bevis på detta är de snabba benförluster som uppkommer vid avsaknad av vikt bärande belastning vid ex. rymdfärder och vid immobilisering.

Redan i början av 70-talet rapporterade en svensk forskar grupp högre bentäthet hos idrottsmän jämfört med inaktiva kontroller (5). Därefter har upprepade tvärsnittsstudier påvisat en högre bentäthet hos idrottare aktiva inom vikt bärande sporter som ex. ishockey, fotboll, gymnastik, badminton och tennis jämfört med inaktiva kontroller (6-10). Skillnaderna har påvisats i de ben som utsatts för vikt bärande belastning inom respektive idrott, dvs. i armen hos tennisspelare och i nedre extremiteten hos ishockeyspelare och fotbollsspelare med i genomsnitt 10 % högre bentäthet hos idrottarna. Ingen skillnad har dock påvisats hos idrottare som deltagit i icke vikt bärande idrotter som ex. simning (11).

Effekten av fysisk aktivitet på skelettet är sannolikt bäst i barn och ungdomsåren då skelettet fortfarande tillväxer. Att genom fysisk aktivitet maximera benmassan hos den unga växande individen kan därför vara en möjlig väg att undvika framtida benskorhet. Det är dock inte känt vilken typ av träning, frekvens, duration och intensitet som krävs för optimal effekt på benmassan. Experimentella studier har dock visat att för att man ska uppnå optimal osteogen effekt på skelettet ska träningen vara vikt bärande, dynamisk och generera stor mekanisk deformation genom ett för skelettet ovant belastningsmönster och repeteras regelbundet (12, 13). Detta innebär att

olika hoppaktiviteter, med stor deformation (strain) skulle påverka skelettet mer än t.ex. promenader. Detta stöds av tidigare studier gjorda här på Idrottsmedicinska enheten, där vi fann en högre bentäthet hos pojkar som tränar badminton (vilket är relaterat till mycket hopp) kontra ishockeyspelare pojkar (9) samt hos kvinnliga professionella rephoppare kontra fotbollsspelare (14).

Det har föreslagits att en ökning av benmassan med 10 % minskar den framtida frakturrisken med hälften (15). En viktig fråga är därför om dessa idrottare bibehåller sin höga benmassa livet ut. Ännu finns inga prospektiva studier gjorda som följt dessa idrottare under någon längre tid. Retrospektiva studier, där man relaterat tidigare aktivitetsnivåer hos olika människor till aktuell bentäthet, har dock visat en högre benmassa hos före detta idrottare kontra icke idrottare (ålder 40-65 år), vilket skulle tala för att idrott under ungdomsåren har betydelse senare i livet för att minska risken för benskorhet, åtminstone upp till 65 års ålder. Även om barn- och ungdomsåren verkar vara den optimala tidpunkten för att stärka skelettet genom fysisk aktivitet har träning även visat sig ha effekt efter det att den maximala benmassan nåtts. Prospektiva träningsstudier (inkluderande aerobics, styrketräning, eller olika hoppaktiviteter) på kvinnor och män i åldrarna 30-50 år har i vissa studier visat en viss ökning av benmassan med någon eller några procent.

De flesta studier har dock visat att fysisk aktivitet under medelåldern för-

hindrar benförlusterna. Även om fysisk aktivitet kan öka den maximala benmassan och minska förlusterna under medelåldern är det hos den gamla människan risken för frakturer ökar. Stora prospektiva studier har undersökt om fysisk aktivitet är relaterat till den framtida risken för frakturer hos gamla (16, 17). I en multicenterstudie utvärderades betydelsen av fysisk aktivitet för att minska antalet höftfrakturer hos 9704 kvinnor, 65 år gamla eller äldre (17). Fysiskt aktiva kvinnor visade sig ha 30-40 % lägre risk för höftfraktur jämfört med inaktiva kvinnor.

Styrketräning och bentäthet - bakgrund

Belastningen bör, som tidigare nämnts, vara vikt bärande, dynamisk, generera stor mekanisk deformation i ett för skelettet ovant belastningsmönster och repeteras regelbundet för att ha bäst effekt på skelettet. Styrketräning skulle således kunna stimulera bennybildning genom en ökad effekt av gravitationen när tunga vikter belastar skelettet. Redan i början på 90-talet visade tvärsnittsstudier att tyngdlyftare, såväl kvinnliga som manliga, hade en högre bentäthet (10-26 %) jämfört med icke idrottare (18-21). Skillnaderna var mest uttalade i ländrygg, nedre extremitet och armar dvs. på de ställen som belastades vid träningen. Författarna drog slutsatsen att styrketräning var en effektiv form av träning för att stärka skelettet.

Förutom den mekaniska belastningen har det även föreslagits att muskelkontraktionerna i sig kan stärka skelettet och att dessa krafter skulle vara större än gravitationskrafterna. Detta resonemang stöds av ett flertal tvärsnittsstudier som visat ett starkt samband mellan muskelstyrka och benmassan i närbelägna ben. T.ex. har samband påvisats mellan greppstyrka och bentätheten i handleden (22) och mellan quadriceps styrka och bentätheten i övre delen av tibia (23). Å andra sidan finns även ett flertal studier som visat ett mer generellt samband mellan muskelstyrka och bentäthet (22), ex. har quadriceps styrka visat sig vara en stark prediktor av bentätheten i arm och rygg (6, 9, 14).

Styrketräning och bentäthet - prospektiva studier

Under 90-talet har intresset för styrketräning och dess eventuella inverkan på benmassan ökat. Ett flertal prospektiva studier har genomförts, de allra flesta dock på äldre individer och framför allt på postmenopausala kvinnor.



Endast ett fåtal longitudinella studier har genomförts på medelålders kvinnor och män. Nedan följer några exempel.

I en amerikansk studie undersöktes effekten av 8 månaders styrketräning eller löpning hos 20-åriga kvinnor (24). Styrketräningen bedrevs 3ggr/v med maskiner och gruppen som randomiserades till löpning tränade 3 ggr/v. Jämfört med en inaktiv kontrollgrupp ökade benmassan i ländryggen med ca 2 % hos bägge aktivitetsgrupperna, dock fann man ingen skillnad i benmassan i höften eller någon skillnad mellan de båda aktivitetsgrupperna. I en annan prospektiv studie på 3 år undersöktes effekten av lätt styrketräning hos kvinnor i åldrarna 30-40 år (25). Kvinnorna tränade 3ggr/v. Vid studiens slut fann man en signifikant ökning av muskelstyrkan men ingen ökning av benmassan i höft, handled eller rygg. I två finska studier (26-27) undersöktes effekten av ett års unilaterala styrketräning av benet respektive armen hos unga kvinnor (medelålder 24 år). Träningen bedrevs med bennpress respektive hantlar 3 ggr/v. Muskelstyrkan ökade signifikant i den extremitet som tränades men man fann ingen påverkan på bentätheten i vare sig benen eller armarna. Författarna drog slutsatsen att styrketräning inte orsakade tillräckligt stor belastning för att påverka benmassan i vare sig den övre eller nedre extremiteten.

Sammanfattningsvis så har de flesta prospektiva studierna som undersökt effekten av styrketräning på benmassan hos medelålders kvinnor och män visat mycket modesta effekter på benmassan trots en stor inverkan på muskelstyrkan. Studiernas duration har varierat från 6 mån upp till 3 år. I vissa studier har en lätt ökning av benmassan med ca 1-2 % påvisats jämfört med inaktiva kontroller. Andra studier har inte funnit någon ökning av benmassan men i jämförelse med inaktiva kontroller har man dock funnit att de individer som deltagit i träningsprogrammen ofta bevarat sin benmassa till skillnad från de inaktiva kontrollerna, där små förluster av benmassan rapporterats. De studier som påvisat effekt på benmassan har oftast funnit detta i ryggen men mer sällan har någon effekt påvisats på benmassan i lårbenshalsen. Detta kan jämföras med träningsstudier som inkluderat hopp där man även funnit en positiv effekt av träningen på benmassan i lårbenshalsen (28).

Prospektiva träningsstudier på äldre (> 65 år) inkluderande styrketräning med fria vikter eller i maskiner har alla

visat en god effekt på muskelstyrkan med ökningsgrad på 30-90 % i de tränade muskelgrupperna. Studierna duration har varierat från 6 månader upp till 2-3 år. Effekten på benmassan har ofta varit liten även om en nyligen publicerad metaanalys visade att styrketräning hos postmenopausala kvinnor har en positiv effekt på benmassan i ländryggen (29) och tros kunna reducera benförlusterna hos både äldre kvinnor och män.

Är styrketräning en bra aktivitet för prevention av benskörhet och frakturer?

Idag finns väldigt få studier gjorda som undersökt effekten av styrketräning hos unga individer. Tvärsnittstudier som undersökt benmassan hos tyngdlyftare visar dock en signifikant högre benmassa hos dessa individer jämfört med inaktiva kontroller men även jämfört med andra idrottare. Resultat som talar för att styrketräning skulle ha en stor effekt på benmassan. Prospektiva träningsstudier på unga individer visar dock skiftande resultat och i de studier där man påvisat effekt har ökningsgrad i benmassan endast varit någon procent trots en stor effekt på muskelstyrkan. Man bör dock beakta att de styrkelyftare som undersökts i tvärsnittstudier ofta deltagit i sin idrott i 5-15 år jämfört med de relativt korta träningsprogram på några månader upp till två år som används i prospektiva studier.

Det är också viktigt att komma ihåg att den träning som styrkelyftare bedriver är en mycket extrem form av styrketräning med betydligt högre belastningar jämfört med den belastning som använts i de prospektiva studierna. Idrottarna som deltagit i tvärsnittstudier har dessutom ofta idrottat sedan puberteten då skelettet sannolikt är mest känsligt för belastning. Man kan heller inte utesluta en viss självselektion, dvs. att de individer som börjar med tyngdlyftning är individer som föds med ett starkt skelett och starka muskler. I några av tvärsnittstudierna rapporterades även en viss förekomst av anabola steroider bland tyngdlyftarna som sannolikt påverkat resultatet.

Styrketräning har föreslagits kunna stimulera bennybildningen dels genom en ökad effekt av gravitationen när tunga vikter belastar skelettet men även att muskelkontraktionerna i sig skulle påverka skelettet och att denna belastning skulle vara högre än gravitationskrafterna. Även om starka samband har påvisats mellan muskler och när-

liggande ben kan denna teori starkt ifrågasättas. Detta stöds bl.a. av de studier som gjorts på astronauter där styrketräning utan inverkan av gravitationen visserligen ledde till ökade muskelmassa, men benförlusterna fortsatte i oförändrad takt. Det kanske starkaste indiciet för att muskelkontraktionen i sig inte förmår stimulera benet kommer dock från experimentella studier där man infört en dialyskateter i tibia hos människa (30). Mann fann att vikt bärande belastning (i form av tåhövingar) med stor impact på hälar och underben gav insöndring av prostaglandin E_2 . Prostaglandiner stimulerar bennybildning och anses vara en viktig mediator i skelettets svar på mekanisk belastning. Försöket upprepades därefter och istället för vikt bärande belastning fick försökspersonerna utföra plantar/dorsal flexion av foten.

Detta gav dock inte upphov till någon utsöndring av prostaglandiner i benvävnaden. Skelettets svar verkar således snarare vara relaterat till deformationen av skelettet än den yttre belastningens storlek, dvs. impact krafter från vikt bärande belastning verkar vara mer effektivt för att stärka skelettet än krafterna som generas från enbart muskelkontraktioner. Möjligen kan kontraktioner av stora muskelgrupper orsaka en retning i infästningspunkten i skelettet ex. i tuberositas tibia eller trochanter major som stimulerar benvävnaden till ökad bennybildning lokalt (23, 31). Detta stöds av en studie på postmenopausala kvinnor som fick genomföra unilateral styrketräning för nedre extremiteten 3 ggr/v med maskiner. Efter ett år hade benmassan i trochanter major ökat med ca 2 % jämfört med den sida som inte hade tränats. Man fann dock ingen effekt på benmassan i lårbenshalsen. Författarna drog slutsatsen att kompressiva krafter (ex. från hopp, step up) sannolikt är av större betydelse för att påverka benmassan i lårbenshalsen medan dragningskrafter från musklerna är av större värde för att påverka bentätheten i trochanter (31). För att styrketräning skall vara effektivt för hela skelettet måste det sannolikt finnas med en vikt bärande komponent i träningen, dvs. en inverkan av gravitationskrafter. Hypotetiskt skulle sålunda styrketräning med fria vikter vara mer effektivt än träning med maskiner. Idag finns dock ingen studie som jämfört detta.

Prospektiva träningsstudier med styrketräning har oftast inte visat någon större effekt på benmassan hos



äldre individer. Däremot har det haft en mycket god effekt på muskelstyrkan.

Det är dock viktigt att komma ihåg att riskfaktorer för frakturer inkluderar inte bara låg benmassa. Risken för en osteoporosrelaterad fraktur utgörs i slutändan av risken för att falla, den kraft som fallet genererar på skelettet, samt skelettets styrka. Över 90 % av höftledsfrakturer uppkommer efter fall-trauma. Även nedsatt balans, och försämrad syn utgör därmed risker för att drabbas av en fraktur genom att öka risken för fall. Minskad muskelmassa och försämrad muskelfunktion hör till det naturliga åldrandet och dessa faktorer bidrar också till att öka risken för fallolyckor och därigenom indirekt till en ökad risk att drabbas av frakturer. Ett flertal studier på äldre individer har visat att olika träningsprogram inkluderande bl.a. promenader, balansträning och styrketräning leder till ökad muskelstyrka, mobilitet, koordination och förbättrad balans (32-34). Något som i sin tur leder till en minskad risk för fallolyckor och därigenom minskad risk att drabbas av en fraktur, oberoende om bentätheten påverkas eller inte (32, 33, 35).

Sett ur detta perspektiv och med tanke på de träningsstudier som gjorts på äldre individer är styrketräning ett utomordentligt bra alternativ för att förebygga risken för frakturer, vilket ju är den optimala end-pointen. Styrketräningens effekt på själva bentätheten är dock sannolikt mindre i jämförelse med andra typer av vikt bärande aktiviteter som innehåller hopp (hög impact) och snabba riktningförändringar. Dessa aktiviteter bör dock förbehållas yngre individer och inte rekommenderas till äldre då risken för skador på ligament, muskler och skelett är mycket stor.

Referenser

- Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int* 7:407-13; 1997
- Lees B, Molleson T, Arnett TR, Stevenson JC. Differences in proximal femur bone density over two centuries. *Lancet* 341:673-5; 1993
- Hui S L, Slemenda CW, Johnston CC jr. The contribution of bone loss to postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int* 1: 30-34, 1990
- Eisman JA, Kelly PJ, Morrison NA et al. Peak bone mass and osteoporosis prevention. *Osteoporos Int* 3 (Suppl 1):S56-60; 1993
- Nilsson B, Westlin N. Bone density in athletes. *Clin Orthop* 77:179-182; 1971
- Pettersson U, Nordström P, Lorentzon R. A comparison of bone mineral density and muscle strength in young male adults with different exercise level. *Calcif Tissue Int* 64:490-498; 1999
- Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcif Tissue Int* 59:438-442; 1996
- Robinson TL, Snow-Harter C, Taaffe DR et al. Gymnasts exhibit higher bone mass than runners despite similar prevalence of amenorrhea and oligomenorrhea. *J Bone Miner Res* 10:26-35; 1995
- 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* 13:1141-1148; 1998
- Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H et al. Changes in bone mineral content with decreased training in competitive young adult tennis players and controls: a prospective 4-yr follow-up. *Med Sci Sports Exerc* 31:646-652; 1999
- 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* 10:586-593; 1995
- Lanyon LE. Control of bone architecture by functional load bearing. *J Bone Miner Res* 2:S369-375; 1992
- Rubin CT, Lanyon LE. Osteoregulatory nature of mechanical stimuli: Function as a determinant for adaptive remodeling in bone. *J Orthop Res* 5:300-310; 1987
- Pettersson U, Nordström P, Alfredson U, 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* 67 (3): 207-14; 2000
- Cummings SR, Black DM, Nevitt MC et al. Bone density at various site for prediction of hip fractures. *Lancet* 341:72-75; 1993
- Cummings S, Nevitt M, Browner W, Stone K, Fox K, Ensrud K, Cauley J, Black D, Vogt T. Risk factors for hip fracture in white women. *N Engl J Med* 332:767-73; 1995
- Gregg EW, Cauley JA, Seeley DG, Ensrud KE, Bauer DC. Physical activity and osteoporotic fracture risk in older women. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Ann Intern Med* 129:81-8; 1998
- Virvidakis K, Georgiou E, Korkotsidis A, Ntalles K, Proukakis C. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *Int J Sports Med* 11:244-246; 1990
- Karlsson MK, Johnell O, Obrant KJ. Bone mineral density in weight lifters. *Calcif Tissue Int* 52:212-215; 1993
- Heinonen A, Oja P, Kannus P et al. Bone mineral density of female athletes in different sports. *Bone Miner* 23:1-14; 1993
- Hamdy RC, Anderson JS, Whalen KE, Harvill LM. Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Med Sci Sports Exerc* 26:884-888; 1994
- Snow-Harter C, Bouxsein M, Lewis B et al. Muscle strength as a predictor of bone mineral density in young women. *J Bone Miner Res* 5:589-595; 1990
- Nordström P, Nordström G, Thorsen K, Lorentzon R. Local bone mineral density, muscle strength, and exercise in adolescent boys: a comparative study of two groups with different muscle strength and exercise levels. *Calcif Tissue Int* 58:402-408; 1996
- Snow-Harter C, Bouxsein ML, Lewis BT, Carter DR, Marcus R. Effects of resistance and endurance exercise on bone mineral status of young women: a randomized exercise intervention trial. *J Bone Miner Res* 7:761-769; 1992
- Sinaki M, Wahner HW, Bergstrahl EJ et al. Three-year controlled, randomised trial of the effect of dose-specified loading and strengthening exercises on bone mineral density of spine and femur in nonathletic, physical active women. *Bone* 19:233-244; 1996
- Vuori I, Heinonen A, Sievänen H et al. Effects of unilateral strength training and detraining on bone mineral density and content in young women. A study of mechanical loading and deloading on human bones. *Calcif Tissue Int* 55:59-67; 1994
- Heinonen A, Sievänen H, Kannus P, Vuori I. Effects of unilateral strength training and detraining of bone mineral mass and estimated mechanical characteristics of the upper limb bones in young women. *J Bone Miner Res* 4:490-501; 1996
- 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* 13:1805-1813; 1998
- Kelley GA, Kelley KS, Tran ZV. Resistance training and bone mineral density in woman: a meta-analysis of controlled trials. *Am J Phys Med Rehabil* 80:65-77; 2001
- Lundmark M, Lerner U, Lorentzon R, Thorsen K. Weight bearing loading, but not muscular exercises increase prostaglandin E₂ release in human bone tissue in vivo. *Calcif Tissue Int* 64 (suppl 1) p. 111; 1999
- Kerr D, Morton A, Dick I, Prince R. Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J Bone Miner Res* 11:218-225; 1996
- Province MA, Hadley EC, Hornbrook MC et al. The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned meta-analysis of the FICSIT Trials. Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques. *JAMA* 273:1341-7; 1995
- Campbell AJ, Robertson MC, Gardner MM, Norton RN, Tilyard MW, Buchner DM. Randomised controlled trial of a general practice programme of home based exercise to prevent falls in elderly women. *BMJ* 315:1065-9; 1997.
- Rutherford OM. Is there a role for exercise in the prevention of osteoporotic fractures? *Br J Sports Med* 33:376-86; 1999
- Taaffe DR, Marcus R. Musculoskeletal health and the older adult. *J Rehabil Res Dev* 37:245-254; 2000