

# Entrenament amb vibracions mecàniques i salut: efectes sobre els sistemes ossi, endocrí i cardiovascular

**MARZO EDIR DA SILVA\***

**DIANA MARÍA VAAMONDE MARTÍN**

Laboratori de Ciències Morfofuncionals de l'Esport. Facultat de Medicina.  
Universidad de Córdoba

**JOSÉ MARÍA PADULLÉS**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - Barcelona

Correspondència amb autors/es

\* [pit\\_researcher@yahoo.es](mailto:pit_researcher@yahoo.es)

## Resum

L'entrenament amb vibracions mecàniques (VT) és un nou mètode que s'està utilitzant per millorar la *performance* neuromuscular. Des de no fa gaire se n'està ampliant l'aplicació cap a altres àrees més directament vinculades a la salut. El VT es presenta com un possible mètode eficaç en la prevenció de diverses dolences. L'objectiu de la revisió que presentem és intentar d'esclarir si realment el VT és beneficiós per a la salut (per als sistemes ossi, endocrí, cardiovascular, per a la composició corporal i la qualitat de vida) i quins són els mecanismes pels quals es produeixen aquests beneficis. Pel que fa al sistema ossi hom ha observat un augment de la densitat mineral òssia i una disminució consegüent de l'osteoporosi. D'altra banda, després d'exposicions curtes al VT s'ha observat un augment dels nivells sèrics de la testosterona i l'hormona del creixement, mentre que els de cortisol disminueixen i els d'insulina es mantenen. Durant l'exposició a VT augmenta el consum d'oxigen i l'activitat muscular. L'exposició controlada al VT pot disminuir a llarg termini el dolor lumbar. A la vista de tot el que acabem d'exposar, podem destacar com a conclusió que el VT aconsegueix, a llarg termini, una millora global de la qualitat de vida.

## Paraules clau

Vibracions Mecàniques, Entrenament esportiu, Resposta hormonal, Massa òssia, Sistema cardiovascular.

## Abstract

**Mechanical vibration training and health: effects on skeletal, endocrine and cardiovascular systems**

*Mechanical vibration training (VT) is a new method that is being used for neuromuscular performance improvement. Its application is recently spreading to other areas that are more directly linked to the health field. VT appears to be a possible useful tool in several illnesses prevention. The purpose of the present review is to try to clarify whether or not VT is beneficial for health (skeletal, endocrine, and cardiovascular systems, body composition, and life quality) and which ones are the mechanisms that lead to such benefits. With regards to the skeletal system an increase of bone mineral density and, thus, a decrease in osteoporosis has been observed. On the other hand, short exposures to VT have been shown to increase seric levels of testosterone and growth hormone while those of cortisol decrease, and insulin levels stay the same. During exposure to VT, both oxygen consumption and muscular activity increase. Controlled exposure to VT can decrease lumbar pain in the long run. After all that has been stated it can be concluded that VT can achieve a global improvement of life quality in the long run.*

## Key words

*Whole Body Vibration, Vibration training, Hormonal response, Bone mass, Cardiovascular system.*

## Introducció

L'exposició vibratòria a què es troba sotmès el cos humà en les diverses activitats de la vida diària (viatges amb tren, passeigs amb bici) i en alguns esports i professions (esquí, *mountain bike*, conductor de camió, de tractor, etc.) és capaç de produir respostes fisiològiques complexes. Basant-se en aquestes observacions, ha estat introduït un nou mètode d'entrenament anomenat entre-

nament amb vibracions mecàniques (VT), que es revela com un possible mètode molt efectiu per a la millora de la *performance* neuromuscular.

Un cop realitzats ja molts estudis experimentals (Issurin *et al.*, 1994; Bosco *et al.*, 1998; Issurin i Tenenbaum, 1999; García-Mans *et al.*, 2002; Torvinen *et al.*, 2002a, 2002b, 2002c; Cardinale i Lim, 2003) i fins i tot revisions (Padullés, 2001; Cardinale i Bosco, 2003; Car-

dinale i Pope, 2003; Da Silva *et al.*, 2006) sobre l'efecte del VT sobre la *performance* neuromuscular s'ha passat a investigar els efectes potencials en altres àrees que concerneixen la salut i la qualitat de vida. Encara que les vibracions mecàniques s'han aplicat en els entrenaments, en general d'atletes, es pretén d'esbrinar si hi ha un benefici amb un abast més generalitzat, com ara el benestar de la vida diària.

L'augment de l'expectativa de vida experimentat en anys recents comporta, d'altra banda, unes preocupacions inherents, com ara les caigudes i les possibles fractures òssies a causa de l'osteoporosi, els problemes cardiovasculars, com varices i infarts, els dolors articulars, els desordres metabòlics, com obesitat, diabetis, etc. Per intentar disminuir i tractar aquests problemes s'ha suggerit l'ús del VT.

L'objectiu de la revisió que presentem és fer un compendi del coneixement disponible dels efectes del VT sobre els sistemes ossi, endocrí, cardiovascular, la composició corporal i la qualitat de vida, a més a més dels mecanismes que en són responsables.

## Efectes del VT sobre la massa òssia

La normalitat de l'arquitectura esquelètica, la punta de massa òssia o la massa òssia en un moment concret, no són només paràmetres determinats genèticament, sinó que a més a més són el reflex d'una història de modelatge i remodelatge que es troba profundament influïda per la sobrecàrrega mecànica.

És sabut que la massa òssia va augmentant tot al llarg dels anys, des de la infància a la maduresa, fins a un moment àlgid (més o menys ran dels 30 anys) en què aquest augment s'atura. Un cop arribat al seu valor màxim, comença a disminuir a partir dels 40. Sense tenir clara la pauta de disminució òssia, es pot dir que la pèrdua mitjana anual és del 0,5-1%; aquesta pèrdua és més accentuada en les dones, les quals en la postmenopausa primerenca poden arribar a perdre un 5-8% per any. També se sap que el teixit ossi més afectat és el trabecular (Palacios *et al.*, 2001). Pel que fa a l'efecte benèfic de l'activitat física sobre el teixit ossi s'han postulat diversos mecanismes. Aloia i Cohn (1978) ofereixen tres possibles explicacions: una influència nerviosa directa, canvis vasculars i del flux sanguini associat a l'exercici i la tensió mecànica i muscular com a resultat de l'esforç per mantenir el pes (Palacios *et al.*, 2001). Sembla que el teixit ossi es troba influït pels esforços de compres-

sió en el seu eix longitudinal, normalment produït per efecte gravitatori i per tensió muscular, però també com a resultat de forces d'impactes longitudinals que alhora provoquen vibració en l'os, com s'esdevé quan caminem o correm.

Les explicacions ofertes pels estudis de vibració se centren més sobre els factors intrínsecs del mateix os i del seu ambient. Una d'aquestes explicacions suggereix que la càrrega induïx alteracions de la pressió intramedul·lar, cosa que induïx un flux de líquid a través dels espais extracel·lulars en les llacunes i canalicles, que augmenta en utilitzar freqüències més altes. El flux causa un "estrès de cisallament" sobre la membrana cel·lular, la qual cosa se sap que estimula cèl·lules en cultiu (Weinbaum *et al.*, 1994; Hsieh i Turner, 2001); podria ser que també estimulés les cèl·lules *in vivo*. A més a més, també s'ha suggerit la possibilitat que els potencials elèctrics generats per l'estrès induït per la càrrega millorin el flux extracel·lular i estimulin les cèl·lules òssies (Hsieh i Turner, 2001).

S'han proposat també diversos mecanismes per a la conversió de forces de líquid extracel·lular en respostes cel·lulars; aquests mecanismes són mecanoreceptors de membrana, proteïnes d'adhesió locals, senyals citoesquelètics, i la curvatura de les fibres extracel·lulars. Des del punt de vista biològic els senyals mecànics osteogènics que formen i prevenen la pèrdua d'os poden també influir sobre molècules que participen en la formació i reabsorció òssia. Rubin i col·laboradors (2001a) van mostrar que hi ha una relació inversa entre la citocina (osteoclastogènesi) i la taxa de formació òssia. Qualsevol que en sigui la veritable explicació, es requereixen més estudis, car els mecanismes de millora òssia no estan ben explicats.

Per intentar de retardar la problemàtica de la pèrdua de massa òssia, s'han realitzat molts estudis que han reflectit l'efecte benèfic de l'exercici per augmentar o, si més no disminuir, la pèrdua del contingut mineral ossi.

De la mateixa manera, l'auge de l'entrenament amb vibracions ha portat a examinar també els diferents efectes d'aquest mètode d'entrenament, entre els quals es troba l'efecte sobre la massa òssia. Els estudis més nombrosos són deguts a Rubin, i la major part s'han realitzat amb models animals. Ja en el seu primer treball amb McLeod (1994) es va posar de manifest la sensibilitat del teixit ossi a l'estímul vibratori. Un any més tard, utilitzant també un model animal (gall dindi) per a l'experiment, va observar que una vibració de baixa amplitud i alta freqüència pot millorar de forma eficaç la formació

Densitat òssia total	+6.5%
Volum ossi total	+32%
Taxa de formació òssia	+113%
Densitat trabecular	+34.2%
Nombre trabecular	+45%
Superfície mineralitzada	+144%

▲  
**Taula 1**

*Diferències percentuals en paràmetres ossis en ovelles sotmeses a vibració vs control (després d'1 any) (Rubin et al., 2001.)*

de teixit trabecular. Els índexs dinàmics de neoformació òssia (taxa d'aposió mineral i superfície etiquetada) es van estimular de manera significativa (un 51 % després de 30 dies d'intervenció) en la trabècula de la part distal de la tibia.

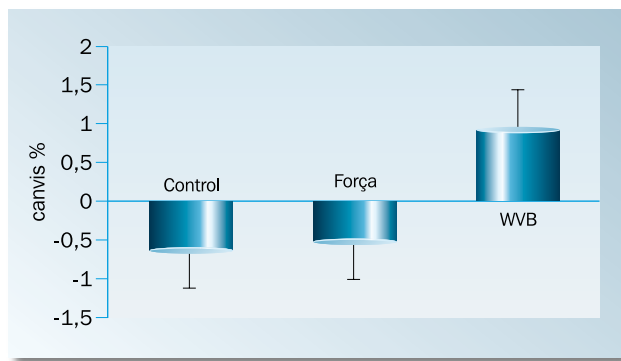
Fa poc, Rubin i col·laboradors han continuat la seva investigació amb altres models animals. Van estudiar els efectes de la vibració després d'un període de 12 mesos (5 vegades per setmana, 20 minuts al dia), sobre les porcions proximal i distal del fèmur (2001a i 2002a) i sobre la tibia (2002b). Es va aplicar una vibració vertical a 30 Hz, amb una acceleració punta de 0,3 G i una amplitud de 0,1 mm. Després del període d'estimulació es va observar que la densitat mineral òssia (mesurada mitjançant DXA) de la porció proximal del fèmur era un 5,4 % més gran (encara que no hi havia diferència significativa estadísticament) en els animals experimentals. Tampoc no es va trobar diferència significativa en l'augment de la densitat total de la porció proximal del fèmur (encara que aquest va ser del 6,5 %); tanmateix, al trocànter menor es va trobar un augment del 34,2 % en la densitat òssia trabecular (Rubin *et al.*, 2001a i 2001c). La histologia de l'os sense descalcificar va mostrar un augment en la densitat trabecular reflectit per un increment del 32,2 % en el volum d'os trabecular, un 45 % d'augment en el nombre de malla trabecular, i un 36 % de reducció en l'espai de malla; la qual cosa indica millora en la qualitat de l'os trabecular. De la mateixa manera, encara que tampoc no va ser significatiu estadísticament, es va suggerir un augment en la taxa de formació i mineralització, segons l'estudi histomorfomètric. Tanmateix, cap dels paràmetres corticals no va presentar canvis significatius i per això es postula que l'efecte anabòlic produït per la vibració és summament específic del teixit ossi trabecular (Rubin *et al.*, 2001a i 2001b) (*taula 1*).

Per la seva banda, les troballes en os trabecular de la porció distal del fèmur, també estimulat, van ser un augment del contingut mineral en un 10,6 %, i augment del nombre trabecular en un 8,3 %, mentre que l'espai trabecular va disminuir un 11,3 %. L'escàner de tomografia computada, va mostrar un augment de rigidesa (*stiffness*) i força en el plànol que suporta el pes. El DXA, d'altra banda, no va mostrar diferències en contingut mineral ossi entre els grups control i experimental en el còndil medial del fèmur. D'altra banda, a la tibia no es van realitzar mesures de pQCT. Sí que es va fer, en canvi, l'anàlisi del contingut mineral ossi (CMO) per DXA, el qual, després d'un any d'experimentació, va revelar que el CMO era més gran en el grup experimental que no pas en el grup control, totes i cadascuna de les vegades que va ser realitzat. El canvi va assolir la significança estadística a les 29 setmanes (Rubin *et al.*, 2002a).

Rubin va avaluar també la capacitat de la vibració per neutralitzar l'osteoporosi induïda per la manca d'activitat; per fer-ho, es van sotmetre rates a un protocol de vibració durant 28 dies (10 minuts al dia durant 5 dies a la setmana). Al final d'aquest període es va comprovar que l'entrenament amb vibració havia neutralitzat del tot els efectes negatius de la manca d'activitat.

D'altra banda, Flieger i col·laboradors (1998) van demostrar que una vibració de 50 Hz amb una acceleració de 2 G, durant 30 minuts al dia, 5 dies a la setmana i 12 setmanes produïa una prevenció en la pèrdua de la massa òssia en rates ovariectomitzades, però no se n'apreciava cap efecte en rates que no ho estaven.

Els dos últims estudis realitzats ocupen períodes de temps força llargs (6 i 12 mesos) i utilitzen com a subjectes dones postmenopàusiques. L'estudi de 6 mesos (Verschueren *et al.*, 2004) va comparar els efectes produïts en tres grups sotmesos a condicions diferents, que van ser VT, entrenament de força i sense entrenament (grup control). El protocol de VT consistia en 3 sessions per setmana d'un màxim de 30 minuts (incloent-hi l'escalfament i la tornada a la calma). Cada sessió es trobava separada de la precedent per un mínim d'un dia. L'amplitud màxima assolida va ser de 2,5 mm, la freqüència 35-40 Hz i l'acceleració va variar entre 2,28 i 5,09 G. Després dels 6 mesos de tractament van observar que mentre la densitat mineral òssia total i a la zona lumbar no havia canviat, sí que havia augmentat en la zona del maluc (*figura 1*). Tanmateix, els marcadors sèrics de remodelatge ossi (osteocalcina i telopèptid-c) no van mostrar diferències per a cap dels grups. D'altra banda, en un estudi realitzat durant un període



**Figura 1**

Canvis observats en el percentatge de la densitat mineral òssia (DMO) al maluc després de 24 setmanes en tres grups (Control, entrenament de Força i WBV) (Verschueren et al., 2004.)

d'1 any (Rubin *et al.*, 2004) es va sotmetre dones que estaven en període postmenopàusic des de feia 3-8 anys a un tractament amb WBV. El protocol utilitzat va ser de 2 entrenaments diaris de 10 minuts separats per 10 h cadascun. La freqüència emprada era de 30 Hz i l'acceleració produïda de 0,2 g. L'entrenament es va aplicar cada dia durant un any. Després d'aquest període es van aplicar tests per veure si la densitat mineral òssia havia canviat; es va analitzar la DMO tant en el cap del fèmur com en la columna lumbar. Els resultats trobats van ser un augment relatiu del 2,17 % per al cap del fèmur i un 1,5 % per a la columna; encara que la columna va mostrar un benefici relatiu, la DMO en el grup experimental va disminuir després del període d'un any; tanmateix, la disminució va ser mínima en relació amb el grup placebo. Alhora, els autors van observar que els canvis més beneficiosos es produïen en dones amb un pes corporal més baix (Rubin *et al.*, 2004) (Figura 1).

## La WBV, té propietats osteogèniques?

Pel que fa a la falta d'efecte positiu trobada per Torvinen, es pot dir que és deguda a les característiques de la mostra, subjectes joves; és possible, doncs, que no necessitessin una adaptació a l'estímul vibratori; aquesta teoria es troba recolzada pel fet que les ovelles utilitzades per Rubin *et al.* (2002b) en els seus estudis eren velles. Potser si els participants haguessin estat més grans o el seu teixit ossi hagués estat més feble, possiblement s'haguessin observat canvis. També, com manifesten Rubin i col·laboradors (2001b), els primers canvis esquelètics apareixen en els casos en què algun component

de la fisiologia normal del senyal regulador es troba disminuït, com per exemple quan hi ha falta d'activitat muscular per immobilitzacions o causes neurològiques. Aquesta teoria també es troba recolzada pels estudis més recents (Rubin *et al.*, 2004; Verschueren *et al.*, 2004) en els quals es va observar, amb dones postmenopàusiques, una millora de massa òssia o, si més no, una disminució de pèrdua d'aquesta.

És possible que el tipus de càrrega vibratòria pugui influir també sobre els resultats. Així doncs, els resultats positius descrits en estudis animals van ser portats a terme amb molta baixa magnitud (0,3 G) i a una alta freqüència 30 Hz (Rubin *et al.*, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b). Torvinen i col·laboradors (2003), d'altra banda, va utilitzar un estímul mecànic que proporcionava una relativa alta magnitud i una exposició multidireccional. És possible que, com postulen Rubin i McLeod (1994), l'efecte anabòlic sobre l'os trabecular sigui provocat pels estímuls mecànics de baixa magnitud i alta freqüència.

Torvinen i col·laboradors (2003) volien observar, alhora, els efectes de la vibració sobre la *performance* física; per aconseguir-ho feien que els subjectes realitzessin un seguit d'exercicis, com ara canviar el pes d'una cama a l'altra, fer petits salts o mantenir-se en una posició relaxada. Amb aquestes diferents posicions s'aconseguia una vibració no només sobre l'os sinó també sobre els músculs; d'altra banda, és possible que aquestes posicions produïssin una disminució en la capacitat de transmissió de les ones vibratòries a través del sistema esquelètic. El manteniment d'una posició de mig esquat sobre la plataforma a 30 Hz disminueix la transmissió de l'ona vibratòria a valors inferiors a una cinquena part del que seria en bipedestació (Rubin *et al.*, 1994). La transmissió es troba afectada, d'altra banda, per la freqüència utilitzada, i així, freqüències que s'acosten als 40 Hz disminueixen dramàticament la capacitat de transmissió; per tant, les freqüències ideals en aquest sentit són freqüències d'un valor límit d'uns 35 Hz. Cal recordar també que, mentre Torvinen va fer servir un tractament de vibració de 4 minuts de durada per sessió, els estudis en què s'ha trobat una millora en la massa òssia utilitzen 20 o 30 minuts, per tant, és possible que les condicions de l'estudi de Torvinen no oferissin un estímul suficient perquè es produïssin aquestes millores. Finalment, és possible que els canvis ossis necessitin més temps per produir-se i ser observats. De tota manera, l'estudi de Torvinen no va ser capaç ni tan sols d'observar els canvis inicials en mar-

cadors sèrics. Tanmateix, sembla que aquest fet no té gaire importància, atès que Verschueren *et al.* (2004) no van aconseguir en el seu estudi observar canvis en osteocalcina i telopèptid-C, mentre que hi va haver un augment de la DMO a la regió del maluc.

Els autors van concloure que aquest guany de DMO (similar al produït per agents farmacològics antiresorció utilitzats durant el mateix període de temps) no podia ser, doncs, el resultat d'una disminució de la resorció de l'os. El fet que es produeixi un augment de DMO a la regió del maluc, però no a la regió lumbar o al total corporal, fa que els autors postulin que l'efecte sobre el teixit ossi sigui de tipus local. Els autors també van proposar que l'efecte osteogènic de les vibracions no es troba intervingut per les contraccions musculars reflexes, perquè el guany muscular no es troba relacionat estadísticament amb els augments de força generats per les vibracions. La raó per la qual l'alta freqüència pot ser l'estímul més adequat encara no se sap, però segons Rubin i col·laboradors (2002b) aquesta resposta de l'os pot no ser resultat de la deformació de l'os sinó dels derivats del senyal d'alta freqüència, com ara l'"estrès de cisallament" causat pel flux de fluid. També apareix la pregunta de per què unes freqüències poden produir el canvi i unes altres no. És possible que això sigui degut a l'anomenada ressonància estocàstica, que és un fenomen pel qual un soroll mecànic millora la resposta d'un sistema no lineal a un senyal feble empenyent-lo més amunt del seu lliandar. La ressonància estocàstica pot augmentar la mecanosensibilitat de diversos mecanoreceptors, com els fusos musculars (Cordo *et al.*, 1996). De tota manera, sembla que encara queda per definir quin protocol de vibració pot resultar més osteogènic.

## Efectes del VT sobre el sistema endocrí

Hom ha observat que després de la realització d'exercicis de força de curta durada, com ara: 60 segons de salts consecutius (Bosco *et al.*, 1996a), exercicis anaeròbics (Adlercreutz *et al.*, 1976; Kraemer *et al.*, 1989) i aixecament de pesos (Kraemer *et al.*, 1990; Schwab *et al.*, 1993) es produeixen respostes hormonals ràpides, tant en homes com en dones (Kraemer, 1992; Kraemer *et al.*, 1991). Tanmateix, encara es desconeixen molts d'aquests efectes i hi ha resultats discordants, en part a causa del control inadequat de la intensitat i la durada de l'entrenament. Sembla ser que hi ha alguna relació entre

les concentracions plasmàtiques d'hormones i la *performance* de curta durada. Es postula que atletes amb una millor força explosiva i d'alt rendiment en esprint tenen una concentració de testosterona basal més gran (Kraemer *et al.*, 1995; Bosco *et al.*, 1996b). Aquests canvis hormonals són significatius, tant per a l'adaptació aguda com per al desencadenament d'efectes a llarg termini (Viru, 1994; Kraemer *et al.*, 1996).

Igualment, sembla ser que l'entrenament amb WBV no solament produeix millores significatives a nivell de múscul esquelètic i la seva *performance*, sinó que a més a més produeix canvis significatius sobre el perfil hormonal que poden ser importants per a la millora crònica de la funció neuromuscular.

Es van realitzar estudis preliminars amb rates per veure l'efecte de les WBV sobre les hormones. Ariizumi i Okada (1983) van investigar el contingut de serotonina en el cervell i corticosterona en sang. Van realitzar diversos experiments en funció de l'acceleració i de la freqüència. Els resultats van ser un augment de les dues hormones i relació entre l'augment en totes dues. Els autors reflecteixen que, igual que a l'estudi de Sugawara i col·laboradors (1972), el nivell de corticosterona va pujar, com a possible funció de manteniment de l'homeòstasi. Els autors també van concloure que la serotonina juga un paper important, especialment a nivell de l'hipotàlem, sobre la funció hipofisoadrenocortical.

El grup de Bosco publica un estudi (2000a) sobre les respostes agudes de les concentracions d'hormones plasmàtiques i de la *performance* neuromuscular després d'un tractament de vibració sobre el cos sencer. Es van observar increments en les concentracions de testosterona i de l'hormona del creixement (7 i 460 % respectivament) i una disminució de la concentració de cortisol (32 %) (figura 2).

Al mateix temps, s'observa un augment de l'efectivitat neuromuscular. Encara que tots dos fets van ser simultanis però independents, els autors van especular que els dos fenòmens poden tenir mecanismes subjacents comuns. Els autors van concloure que la disminució de cortisol representava que la sessió de vibració no produïa un estrès general (al contrari que l'estudi de rates) ni produïa una resposta que és comuna als exercicis d'alta intensitat (Viru, 1994; Bosco, 2000). Aquesta resposta del cortisol (disminució) pot ser deguda a una estimulació insuficient del comandament nerviós central i del *feedback* nerviós provinent de músculs esquelètics. Aquest *feedback* és essencial per a les respostes de corticotrofina i  $\beta$ -endorfina; al con-

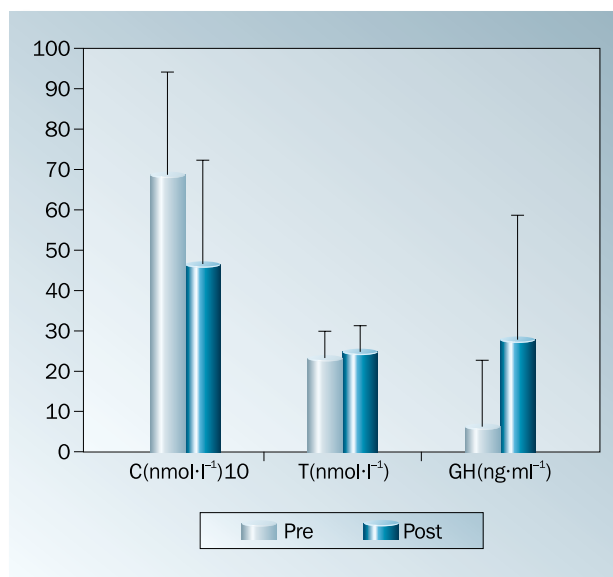
trari que en l'estudi de les rates, els autors exposen la possibilitat que les estructures serotoninèrgiques de l'hipocamp tinguin un paper inhibitori sobre els centres neurosecretors hipotalàmics.

Encara que els estudis esmentats fins ara reflecteixen efectes positius sobre el sistema hormonal, en un estudi de Bosco (1999c), no citat en altres articles, es publica una supressió parcial en els sistemes pituïtaria-drenocortical i pituïtaritesticular, reflectit per una concentració disminuïda de cortisol i testosterona en sang després d'una sola sessió. La sessió, realitzada amb la plataforma vibratòria Galileu 2000 constava de 7 sèries d'1 min, amb 1 min d'interval. La sessió anava precedida per un escalfament de 5 min amb bicicleta i 5 min d'estirament estàtic. Les vibracions tenien una freqüència de 26 Hz, amplitud de 10 mm i acceleració de 54 m/s<sup>2</sup>. Es van observar resultats molt semblants en estudis realitzats després d'una sola sessió d'entrenament intens de força tradicional. En aquests estudis es va trobar una relació inversa entre els canvis en la concentració de T i la taxa EMG/W durant el test de mig *esquat* amb càrrega externa de 200 % de la massa corporal i d'*esquat* complet amb càrrega extra del 100 % de la massa corporal (Bosco *et al.*, 2000b). Els autors mantenen que un nivell adequat d'hormona sexual masculina (T) pot compensar l'efecte de la fatiga i assegurar una eficàcia neuromuscular en fibres ràpides, la qual cosa estaria d'acord amb el descens, tant hormonal com neuromuscular, publicat en aquest estudi.

### Quins mecanismes es postulen com a responsables dels canvis hormonals en utilitzar WBV?

Les adaptacions neuromusculars podrien estar relacionades amb factors hormonals o influïdes per aquests. Se sap que les respostes als canvis ambientals externs comporten factors tant neurals com hormonals (Fitts *et al.*, 2001; McCall *et al.*, 2000), fins i tot en les respostes als canvis gravitacionals, ja esmentats a l'apartat dels efectes sobre el sistema neuromuscular, s'hi observen alteracions hormonals (Fitts *et al.*, 2001); i així, estudis realitzats amb astronautes han mostrat que la microgravetat condueix a una disminució en els nivells d'andrògens i d'hormona del creixement (McCall *et al.*, 2000).

Els canvis esmentats són deguts a la gran pertorbació sobre l'homeòstasi corporal, produïda per la microgravetat, a causa de la falta de tensió física en el sistema musculoesquelètic, la pèrdua de pressió hidrostàtica i



**Figura 2**

Efectes aguts de l'entrenament amb WBV sobre els valors (mitjana ± DS) de concentració hemàtica de cortisol (C), testosterona (T) i hormona del creixement (GH) (Bosco *et al.*, 2000a).

l'alteració del sistema motor sensorial (Cardinale i Bosco, 2003).

D'altra banda, l'augment de la càrrega gravitacional imposat per l'exercici de força augmenta els nivells de les hormones ja esmentades (androgèniques i GH). L'important estrès imposat per aquesta forma d'exercici sobre les estructures musculoesquelètiques requereixen un alt nivell d'activació neural i representa una demanda augmentada en relació amb les situacions homeostàtiques, tot estimulant d'aquesta forma respostes fisiològiques ràpides (Cardinale i Bosco, 2003). En realitzar un entrenament de força, s'engega una ràpida activació endocrina per les col·laterals del comandament motor central i es transmet als centres autonòmics i neurosecretors hipotalàmics. Les influències de retroalimentació dels propioreceptors i metaboreceptors del múscul estimulen encara més aquestes respostes. Les característiques mecàniques de la vibració podrien proporcionar un estímul adequat per a la secreció hormonal. S'ha comprovat que la vibració també augmenta els nivells de T i GH, a més a més de produir efectes sobre la retroalimentació sensorial (Bosco *et al.*, 2000a).

Investigacions recents subratllen la interacció entre els propioreceptors i les respostes hormonals; així s'ha comprovat amb els nivells de GH després d'identificar l'activació de músculs específics rere l'aplicació

de vibració (McCall *et al.*, 2000). Sembla raonable que els augments de T observats després de la vibració estiguin relacionats amb el major *output* de força i potència; de fet, la possible influència d'aquest androgen sobre el mecanisme de maneig del calci al múscul esquelètic podria facilitar una activació muscular més potent.

## Efectes del VT sobre el sistema cardiovascular

Els primers estudis que van analitzar l'efecte de les vibracions sobre el sistema cardiovascular es van centrar en l'efecte produït de forma localitzada sobre la mà. Aquests estudis es devien als símptomes presentats per treballadors que estaven sotmesos a vibració sobre la mà. Aquests individus exhibien desordres vasoespàstics als dits, l'anomenat dit blanc produït per vibració o *Vibration-induced White Finger* (VWF). Els primers estudis van avaluar l'efecte de la vibració sobre la mà que estava sotmesa a vibració. Més endavant es van analitzar també els efectes produïts tant en la mà ipsilateral com en la contralateral i posteriorment s'hi van començar a introduir altres paràmetres, com ara diferents freqüències i acceleracions i diferents temps d'exposició. Alguns estudis també van realitzar experiments semblants sobre el peu. Es pot destacar que una magnitud augmentada de vibració té una tendència a acréixer la disminució del flux sanguini del dit a totes dues mans, igual que la temperatura de la pell. Es postula que el fenomen subjacent és l'activitat del sistema nerviós simpàtic, que en ser activat produeix una vasoconstricció (Luo *et al.*, 2000).

Alguns estudis també demostren que com més gran és la vibració, major és la vasoconstricció produïda, i que aquesta vasoconstricció pot ser agreujada per l'exposició repetida. Cal esmentar que una vasoconstricció repetida accelerarà canvis vasculars, com ara la hipertrofia muscular medial. A més a més, l'exposició perllongada a vibració d'alta intensitat pot produir factors tan adversos en el SNS com una major resposta simpàtica davant del fred, tal com s'ha observat en pacients amb VWF (Luo *et al.*, 2000; Bovenzi, 1986).

Tanmateix, no hi ha consens sobre aquests resultats i, per la seva banda, Nakamura i col·laboradors (1995) van trobar efectes oposats sobre el flux sanguini digital. Encara que el flux va disminuir al principi, la qual cosa pot ser atribuïda al fet d'agafar amb la mà la màquina vibratòria, aquest va augmentar gradualment amb la vi-

bració. Alhora van trobar que els nivells d'endotelina (que és un potent vasoconstrictor) eren significativament menors després de la vibració; per tant, els autors van postular que l'efecte de la vibració sobre la mà era una vasodilatació.

En un estudi realitzat amb l'aplicació de vibracions amb una freqüència alta (80-100 Hz) s'ha observat un efecte negatiu, tant sobre la força muscular com sobre el flux sanguini (Lundström i Burstöm, 1984). Hi ha molts estudis realitzats en relació a l'efecte de la vibració de baixa freqüència sobre la força muscular (Bosco *et al.*, 1998, 1999a, 1999b, 1999c, 2000a; Cardinale i Lim, 2003; Delecluse *et al.*, 2003; Torvinen *et al.*, 2002a, 2002b, 2002c), però n'hi ha pocs que hagin examinat l'efecte d'aquestes vibracions sobre el flux sanguini. Kerschman-Schindl i col·laboradors van realitzar, el 2001, un estudi per observar la possible influència del VT utilitzant la plataforma Galileu 2000 a una freqüència de 26 Hz. Van estudiar el volum sanguini muscular del gastrocnemi i el quàdriceps femoral mitjançant sonografia *Power Doppler* i el flux sanguini de l'artèria poplítica amb un ecògraf *Doppler*. Van trobar que el volum sanguini muscular al panxell i a la cuixa havia augmentat després de l'exercici, igual com la velocitat mitjana de flux de l'artèria poplítica.

A més a més dels possibles efectes ja esmentats, han estat estudiats altres paràmetres cardiovasculars importants, com ara el consum d'oxigen.

El 2001 Rittweger i col·laboradors realitzen un estudi amb la mateixa plataforma per tal d'avaluar el consum d'oxigen durant un exercici de WBV, amb la finalitat de provar l'existència d'una resposta muscular, posada en dubte per alguns. Si no hi hagués resposta muscular, la potència metabòlica, mesurada pel consum d'oxigen, no resultaria alterada per l'entrenament amb vibracions; per tant, l'avaluació del consum d'oxigen es presenta com un mètode vàlid per demostrar la resposta muscular. Els autors van fer servir els paràmetres següents per a l'entrenament: freqüència de 26 Hz i amplitud de vibració de 6 mm ( $\cong 18G$ ). Es va observar un augment en el consum d'oxigen, i de vegades aquest va ser més controlable en el cas de la vibració que no pas amb la realització de l'esquat tradicional, la qual cosa indica que la WBV augmenta la resposta muscular. Els autors comenten que aquest tractament amb vibracions requereix un nivell de metabolisme energètic comparable al d'un passeig moderat.

Després d'aquest estudi es van estudiar els efectes de diferents paràmetres, com ara diferents freqüències de

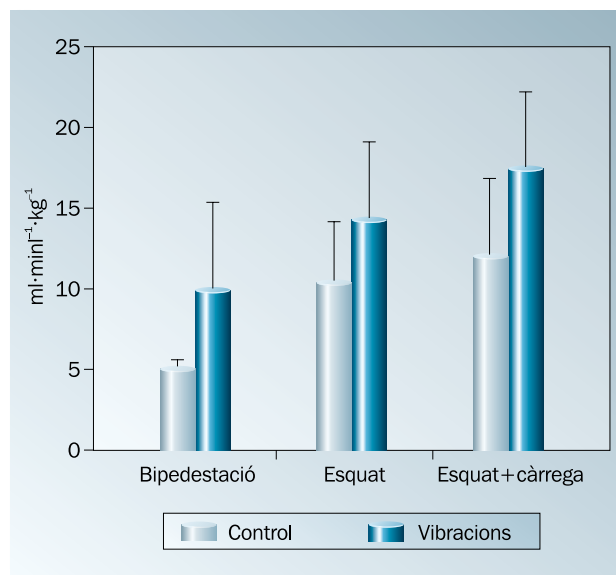
vibració, amplitud i càrrega externa (Rittweger *et al.*, 2002a). En aquest estudi els autors van verificar que el  $\dot{V}O_2$  augmentava proporcionalment amb la freqüència de vibració (18, 26 i 34 Hz), amb l'amplitud (2,5; 5 i 7,5 mm) i amb la càrrega externa; per a aquest darrer paràmetre es va utilitzar el 40 % de la LBM amb càrrega subjecta a la cintura o bé als múscles (les càrregues externes utilitzades 0 kg de càrrega extra, càrrega del 40 % LBM subjecta a la cintura, càrrega del 40 % LBM subjecta als múscles) (figura 3).

Els autors van concloure que l'entrenament amb vibracions millora de forma substantiva la potència metabòlica i, doncs, l'activitat muscular.

### Quins mecanismes es postulen com a responsables dels canvis en el sistema cardiovascular, amb la utilització de la WBV?

A l'estudi de Kersch-Schindl i col·laboradors (2001) hi va haver un augment del nombre de vasos visualitzats amb un diàmetre mínim de 2 mm, la qual cosa reflecteix l'eixamplament de petits vasos produït per l'exercici; aquest eixamplament capil·lar observat al quàdriceps i al gastrocnemi es troba recolzat per un "blush score" augmentat i que pot ser atribuït, possiblement, al pas d'un major nombre de molècules. Encara que en aquest estudi es va utilitzar el mètode Newmam per mesurar el volum relatiu de sang en moviment i aquest és incapaç de distingir entre el *loop* capil·lar arterial i el venós, aquest fet no és un problema atès, que els dos llits capil·lars tenen aproximadament la mateixa velocitat de flux. Pel que fa a l'artèria poplítica, la seva àrea sistòlica i la velocitat sistòlica i diastòlica màxima no van canviar; tanmateix, la velocitat mitjana de flux va augmentar; l'explicació més raonable d'aquest fet és l'eixamplament observat en els vasos petits, que redueix la resistència perifèrica, amb la qual cosa pot augmentar la velocitat de flux de l'artèria poplítica. Al mateix temps, la tixotropia també hi pot influir; és possible que la vibració redueixi la viscositat sanguínia i això pot permetre l'augment de la velocitat mitjana. És possible que la relació trobada a l'estudi de Nakamura i col·laboradors (1995) entre l'endotelina i el flux sanguini ofereixi una explicació per al fenomen de la vasodilatació, atès que l'endotelina és un potent vasoconstrictor i a l'estudi esmentat en van disminuir els nivells.

En relació amb el consum d'oxigen es postula que el  $\dot{V}O_2$  estava correlacionat amb els nivells control; és a



**Figura 3**

Valors (mitjana  $\pm$  DS) de consum d'oxigen durant l'últim minut d'exercici en 6 condicions distintes: bipedestació sobre la plataforma, amb WBV i sense; realització d'esquat sense WBV; realització d'esquat, amb WBV i sense; i realització d'esquat amb càrrega, amb WBV i sense; Rittweger *et al.*, 2001.

dir, com més gran sigui el  $\dot{V}O_2$  en condicions normals més gran és la potència metabòlica relacionada amb la vibració. Aquesta potència metabòlica que es troba relacionada amb la vibració disminueix amb un augment del cost metabòlic general, la qual cosa pot ser deguda a una major proporció del treball muscular excèntric o a l'emmagatzematge d'energia elàstica a precàrregues musculars més grans. Per entendre les vibracions és de summa importància tenir en compte tant l'exercici excèntric com l'emmagatzematge elàstic.

### Efectes del VT sobre la qualitat de vida i la composició corporal

Hom ha estudiat l'efecte del VT sobre la qualitat de vida en 42 habitants d'una residència de 3a edat, dividits de forma aleatòria en 2 grups, experimental i control. El grup experimental va fer un entrenament amb WBV de 6 setmanes, en què va realitzar 4 exposicions d'1 minut cadascuna, 3 vegades per setmana, amb una freqüència variable (10 i 25 Hz). La qualitat de vida es va mesurar mitjançant 9 subescales del qüestionari SF-36; els autors van trobar-hi diferències favorables en 7 subescales, per al grup experimental (Bruyere *et al.*, 2004).



Malgrat que la vibració industrial és considerada un risc per a la salut, Rittweger i col·laboradors (2002b) han comparat l'entrenament de vibracions amb el convencional de força i han demostrat que el VT produeix una reducció en el dolor lumbar crònic; aquesta disminució és similar a la produïda per l'entrenament de força específic per als músculs d'aquesta regió. L'augment en la força dels músculs extensors lumbar va augmentar significativament en tots dos grups, encara que va ser més gran en el grup que realitzava entrenament de força convencional.

L'efecte de 24 mesos de WBV sobre la composició corporal va ser estudiat per Roelants *et al.* (2004), tot comparant la WBV amb un entrenament tradicional de musculació. No hi va haver canvis significatius en el percentatge de greix, ni tampoc en el sumatori de plecs en cap dels grups; no obstant això, la massa lliure de greix va augmentar significativament (2,2 %) en el grup WBV.

## Conclusions

Sembla lògic admetre que el VT produeix modificacions que poden resultar beneficioses en alguns àmbits de la salut, com ara els sistemes endocrí, ossi o cardiovascular. Aquests beneficis poden repercutir directament sobre la qualitat de vida. Les modificacions que es produeixen a nivell hormonal tenen un efecte anabòlic que pot ser utilitzat com a estímul previ a l'entrenament de força i velocitat, i també com a preparació per a la competició o com a recuperació. Al mateix temps, es fa palesa la necessitat d'establir paràmetres clars en l'aplicació del VT, perquè no totes les freqüències, amplituds i/o temps d'exposició, produeixen efectes benèfics; de fet, alguns paràmetres mal aplicats, en lloc d'aconseguir els efectes desitjats poden arribar a provocar la deterioració de les variables que es pretén de millorar.

Als beneficis globals de salut i qualitat de vida que pot produir l'exercici físic es pot afegir la facilitat d'ús i el poc temps necessari per a l'obtenció de resultats, mitjançant les màquines de vibracions.

## Bibliografia

Adlercreutz, H.; Harkonen, M.; Kuoppasalmi, K.; Kosunen, K.; Naveri, H. i Rehnun, S. (1976). Physical activity and hormones. *Adv Cardiol* (18), 144-157.

Aloia, J. F.; Cohn, S. H. (1978) "Prevention of involuntal bone loss by exercise", *Ann Int Med* 8: pàg. 356-358.

Ariizumi, M.; Okada, A. (1983) Effect of whole body vibration on the

rat brain content of serotonin and plasma corticosterone. *Eur J Appl Physiol* (52), 15-19.

Bosco, C.; Tihanyi, J.; Rivalta, L.; Parlato, G.; Tranquilli, C.; Pulverenti, G.; Foti, C.; Viru, M. i Viru, A. (1996a). Hormonal responses to strenuous jumpinmg effort. *Jpn J Physiol* (46), 93-98.

Bosco, C.; Tihanyi, J.; Viru, A. (1996b). Relationships between field fitness test and basal serum testosterone and cortisol levels in soccer players. *Clin Physiol* (16), 317-322.

Bosco, C.; Cardinale, M.; Tsarpela, O.; Colli, R.; Tihanyi, J.; Von Duvillard, S. P. i Viru, A. (1998) The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport* (15), 157-164.

Bosco, C.; Colli, R.; Introini, E.; Cardinale, M.; Iacovelli, M.; Tihanyi, J.; von Duvillard, S. P.; Viru, A. (1999a) Adaptive Responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* (16), 317-322.

Bosco, C.; Cardinale, M.; Tsarpela, O. (1999b). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol*. (79), 306-311.

Bosco, C.; Colli, R.; Cardinale, M.; Tsarpela, O.; Bonifazi, M. (1999c). Effect of acute whole body vibration on mechanical behaviour of skeletal muscle and hormonal profile. A G. Lyritis (ed.): *Musculo-Skeletal Interactions*, vol. 2, pàg. 67-76. Grecia: Hylonome Editions, Hellenic Institute of Osteoporosis.

Bosco, C.; Iacovelli, M.; Tsarpela, O.; Cardinale, M.; Bonifazi, M.; Tihanyi, J.; Viru, M.; De Lorenzo, A. i Viru, A. (2000a). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* (81), 449-454.

Bosco, C.; Colli, R.; Bonomi, R.; Von Duvillard, S. P. i Viru, A. (2000b). Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med Sci sport Exerc* 32(1), 202-208.

Bovenzi, M. (1986). Some pathophysiological aspects of vibration-induced white finger. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55(4), 381-389.

Bruyere, O.; Wuidart M.; Palma, E.; i Reginster, J. (2004). Controlled whole body vibrations improve health related quality of life in elderly patients, University of Liege / WHO-Center.

Cardinale, M. i Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* 31(1), 3-7.

Cardinale, M. i Lim, J. (2003). The Acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance, *Med Sport* (56), 287-292.

Cardinale, M. i Pope, M. H. (2003). The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiol Hung* 90(3):195-206

Cordo, P.; Inglis, J. T.; Verschuere, S.; Collins, J. J.; Merfeld, D. M.; Rosenblum, S., Buckley, S. i Moss, F. (1996). Noise in human muscle spindles. *Nature* (31);383(6603):769-70.

Da Silva, M; Vaamonde, D. M. i Padullés (2006). Efectes de l'entrenament amb vibracions mecàniques sobre la performance neuromuscular. *Apunts. Educació Física i Esports* (84), 39-47.

Delecluse, C.; Roelants, M. i Verschuere, S. (2003). Strength increase after Whole Body Vibration compared resistente training. 35 (6), 1033-1041.

Fitts, R. H.; Riley D. R. i Widrick, J. J. (2001). Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *J Exp Biol* (204), 3201-3208.

Fliieger, J.; Karachalios, T.; Khaldi, L.; Raptou, P. i Lyritis, G. (1998). Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int* (63), 510-514.

García-Manso, J. M.; Vázquez Pérez I.; Hernández Rodríguez, R. i Tous Fajardo, J. (2002). Efecte de dos mètodes d'entrenament de la força sobre la musculatura extensora de l'articulació del genoll. *Apunts. Medicina de l'Esport* (139), 15-22.

Hsieh, Y. F. i Turner, C. H. (2001). Effects of loading frequency on mechanically induced bone formation. *J Bone Miner Res* 16(5), 918-24.

Issurin, V. B.; Liebermann, D. G. i Tenenbaum, G. (1994). Effect

- of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*; 12(6), 561-6.
- Issurin, V. B. i Tenenbaum, G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J Sports Sci*; 17(3), 177-182.
- Kerschman-Schindl, K.; Gramp, S.; Henk, C.; Resch, H.; Preisinger, E.; Fialka-Moser, V. i Imhof, H. (2001) Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Phys* 21 (3), 377-382.
- Kraemer, W. J.; Patton, J. F.; Knuttgen, H. G.; Marchitelli, L. J.; Cruthirds, C.; Damokosh, A.; Harman, E. A.; Frykman, P. N. i Dziados, J. E. (1989). Hypothalamic-pituitary-adrenal response to short-duration high intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* (66), 161-166.
- Kraemer, W. J.; Marchitelli, L. J.; Gordon, S. E.; Harman, E.; Dziados, J. E.; Mello, R.; Frykman, P. N.; McCurry, D. i Fleck, S. J. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (69), 1442-1450.
- Kraemer, W. J.; Gordon, S. E.; i Fleck, S. J. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* (12), 228-235.
- Kraemer, W. J. (1992). Hormonal mechanisms related to expression of muscular strength and power. In: *Strength and power in Sport*, PV Komi (ed). Boston: Oxford Scientific Publications pp 64-67.
- Kraemer, W. J.; Hakkinen, K.; Newton, R. V.; Patton, J.; Harman, E. A.; Dohi, K.; Bush, I. i Dziados, J. E. (1995). Factors in various strength and power performance in men. In: *Proceedings of the XVth Congress of the International Society of Biomechanics*. Jyvaskyla, University of Jyvaskyla, pàg. 508-509.
- Kraemer, W. J.; Fleck, S. J. i Evans, W. J. (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc Sports Sci Rev* (24), 363-397.
- Lundström, M. R. i Burstöm, L. (1984). Vibrations in hand held tools. The Swedish National Board of Occupational Safety and Health. *Invest Rep*, 84, 1-111
- Luo, J.; Sakakibara, H.; Zhu, S. K.; Kondo, T. i Toyoshima, H. (2000). Effect of vibration magnitude and repetitive exposure on finger blood flow in healthy subjects. *Int Arch Occup Environ Health* (73), 281-284.
- McCall, G. E.; Grindeland, R. E.; Roy, R. R. i Edgerton, V. R. (2000). Muscle afferent activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *J Appl Physiol* 89, pàg. 1137-1141 .
- Nakamura, H.; Ariizumi, M.; Okazawa, T.; Nagase, H.; Yoshida, M. i Okada, A. (1995). Involvement of endothelin in peripheral circulatory change induced by hand-arm vibration. *Cent Eur J Public Health*. 3(suppl):27-30.
- Padulles, J. M. (2001). Vibraciones, un nuevo método de entrenamiento. *Set Voleibol* (Mayo), 54-56.
- Palacios, N.; Santaella, O. i Sainz, L. (2001). Relación entre masa ósea y la fuerza muscular: Nuevo campo en la aplicación de vibroestimulación en el mundo del deporte. *IX Congreso Nacional de la Federación Española de Medicina del Deporte Oviedo*.
- Rittweger, J.; Schiessl, H. i Felsenberg, D. (2001). Oxygen uptake during whole body-vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol* (86), 169-173
- Rittweger, J.; Ehrig, J.; Kust, K.; Multschelkanauss, M.; Kirsch, K. A. H. i Felsenberg, D. (2002a). Oxygen uptake in whole body-vibration exercise: Influence of Vibration frequency, Amplitude and external load. *Int J Sports Med* 23, 428-432.
- Roelants, M.; Delecluse, C.; Goris, M. i Verschuere, S. (2004). Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med*. 25(1), 1-5.
- Rubin, C. i McLeod, K. (1994). Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain. *Clin Orthop* (298), 165-174.
- Rubin, C.; McLeod, K.; Pope, M.; Magnusson, M.; Rostedt, M.; Fritton, C. i Hansson, T. (1994). Transmissibility of ground vibration to the axial and appendicular skeleton: an alternative strategy for the treatment of osteoporosis. *18th Am Soc Biom* (5), 79-80.
- Rubin, C.; Turner, S.; Bain, S.; Mallinckrodt, C. i McLeod, K. (2001a). Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* (412), 603-604.
- Rubin, C.; Xu, G. i Judex, S. (2001b). The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low -magnitude mechanical stimuli. *Faseb J* (15), 2225-2229.
- Rubin, C.; Sommerfeldt, D.; Judex, S. i Qin, Y. (2001c). Inhibition of osteopenia by low magnitude, high-frequency mechanical stimuli. *DDT* (6), 848-858
- Rubin, C.; Turner, S.; Muller, R.; Mitra, E.; McLeod, K.; Lin, W. i Qin, Y. (2002a) Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, non-invasive mechanical intervention. *JBMR* (17), 349-357.
- Rubin, C.; Turner, S.; Mallinckrodt, C.; Jerome, C.; McLeod, K. i Bain, S. (2002b). Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone*; (30), 445-452.
- Rubin, C.; Recker, R.; Cullen, D.; Ryaby, J.; McCabe, J.; McLeod, K. (2004). Prevention of Postmenopausal Bone Loss by a Low-Magnitude, High-Frequency Mechanical Stimuli: a Clinical Trial Assessing Compliance, Efficacy, and Safety. *J Bone Miner Res* (19), 343-351.
- Schwab, R.; Johnson, G. O.; Housh, T. J.; Kinder, J. E.; Weir, J. P. (1993). Acute effects of different intensities of weight-lifting on serum testosterone *Med Sci Sports Exerc* 28:1381-1386.
- Sugawara, N.; Nagano, C.; Terui, K i Okada, A. (1972). The effect of vibration on corticosterone and nicotinamide-adenine-dinucleotide-phosphate level in the rat adrenal and serum. *Jpn Hyg* 27:347-352.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M.; Kontulainen, S.; Järvinen, T. L. N.; Järvinen, M.; Oja, P. i Vuori, I. (2002a). Effect of vibration exposure on muscle performance and body balance: A randomized cross-over study. *Clin Physiol & Func Im* (22), 145-152.
- Torvinen, S.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M.; Kontulainen, S. i Kannus, P. (2002b). Effect of 4-min vertical whole vibration reflex on muscle performance and body balance: A randomized cross-over study. *Int J Sport Med* (23), 374-379.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M.; Kontulainen, S.; Järvinen, T. L. N.; Järvinen, M.; Oja, P. i Vuori, I. (2002c). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* 34 (9):1523-1528.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Sievanen, H.; Jarvinen, T. A.; Pasanen, M.; Kontulainen, S.; Nenonen, A.; Jarvinen, T. L.; Paakkala, T.; Jarvinen, M. i Vuori, I. (2003). Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *J Bone Miner Res*. 18(5), 876-84.
- Verschuere, S.; Roelants, M.; Delecluse, C.; Swinnen, S.; Vanderschuere, D. i Boonen, S. (2004). Effect of 6-Month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study. *J Bone Miner Res* (19), 352-359.
- Viru, A. (1994) Molecular cellular mechanisms of training effects. *J Sports Med Phys Fitness* (34), 309-322
- Weinbaum, W.; Cowin S.; Zeng Y. (1994) A model for the excitation of osteocytes by mechanical loading-induced bone fluid shear stresses. *J Biomech* (27), 339-360