

Entrenamiento con vibraciones mecánicas y salud: efectos sobre los sistemas óseo, endocrino y cardiovascular

MARZO EDIR DA SILVA*

DIANA MARÍA VAAMONDE MARTÍN

Laboratorio de Ciencias Morfofuncionales del Deporte. Facultad de Medicina.
Universidad de Córdoba

JOSÉ MARÍA PADULLÉS

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - Barcelona

Correspondencia con autores

* pit_researcher@yahoo.es

Resumen

El entrenamiento con vibraciones mecánicas (VT) es un nuevo método que se viene usando para la mejora de la performance neuromuscular. Más recientemente su aplicación se está ampliando hacia otras áreas más directamente ligadas a la salud. El VT se presenta como un posible método eficaz en la prevención de varias dolencias. El objetivo de la presente revisión es intentar clarificar si realmente el VT es beneficioso para la salud (sistemas óseo, endocrino, cardiovascular, la composición corporal y la calidad de vida) y cuáles son los mecanismos por los que se producen tales beneficios. Con respecto al sistema óseo se ha observado un aumento de la densidad mineral ósea y una consiguiente disminución de la osteoporosis. Por otra parte, tras exposiciones cortas al VT se ha observado un aumento de los niveles séricos de la testosterona y la hormona de crecimiento mientras que los de cortisol disminuyen y los de insulina se mantienen. Durante la exposición a VT aumenta el consumo de oxígeno y la actividad muscular. La exposición controlada al VT a largo plazo puede disminuir el dolor lumbar. En vista de todo lo expuesto anteriormente se puede destacar como conclusión que el VT consigue a largo plazo una mejora global de la calidad de vida.

Palabras clave

Vibraciones Mecánicas, Entrenamiento deportivo, Respuesta hormonal, Masa ósea, 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.

Introducción

La exposición vibratoria a la que el cuerpo humano se ve sometido en las diversas actividades del día a día (viajes en tren, paseos en bici) y algunos deportes y profesiones (esquí, *mountain bike*, conductor de camión, de tractor, etc.) es capaz de producir respuestas fisiológicas complejas. Basado en estas observaciones se ha introducido un nuevo método de entrenamiento denominado

entrenamiento con vibraciones mecánicas (VT) que se desvela como un posible método muy efectivo para la mejora de la *performance* neuromuscular.

Realizados ya muchos estudios experimentales (Issurin *et ál.*, 1994; Bosco *et ál.*, 1998; Issurin y Tenenbaum, 1999; García-Manso *et ál.*, 2002; Torvinen *et ál.*, 2002a, 2002b, 2002c; Cardinale y Lim, 2003) e incluso revisiones (Padullés, 2001; Cardinale y Bosco,

2003; Cardinale y Pope, 2003; Da Silva *et ál.*, 2006) sobre el efecto del VT sobre la *performance* neuromuscular se ha pasado a investigar los efectos potenciales en otras áreas que atañen a la salud y la calidad de vida. Aunque las vibraciones mecánicas se han aplicado en los entrenamientos, en general de atletas, se pretende indagar si existe un beneficio con un alcance más generalizado como puede ser el bienestar del día a día.

El aumento de la expectativa de vida experimentado en años recientes conlleva por otra parte unas preocupaciones inherentes como las caídas y las posibles fracturas óseas debido a la osteoporosis, los problemas cardiovasculares como varices e infartos, los dolores articulares, desórdenes metabólicos como obesidad, diabetes, etc. Para intentar disminuir y tratar tales problemas se ha sugerido el uso del VT.

El objetivo de la presente revisión es hacer un compendio del conocimiento disponible de los efectos del VT sobre los sistemas óseo, endocrino, cardiovascular, la composición corporal y la calidad de vida además de los mecanismos responsables por éstos.

Efectos del VT sobre la masa ósea

La normalidad de la arquitectura esquelética, el pico de masa ósea o la masa ósea en un momento concreto, no son sólo parámetros genéticamente determinados, sino que además son el reflejo de una historia de modelamiento y remodelamiento la cual se encuentra profundamente influida por la sobrecarga mecánica.

Es sabido que la masa ósea va aumentando a través de los años desde la infancia a la madurez, hasta un momento álgido (más o menos sobre los 30 años) en el cual se detiene tal aumento. Una vez alcanzado su valor máximo, empieza a disminuir a partir de los 40. Sin tener clara la pauta de disminución ósea, se puede decir que la pérdida media anual es del 0,5-1 %, siendo esta pérdida más acentuada en las mujeres, las cuales en la post-menopausia temprana pueden llegar a perder un 5-8 % al año. Asimismo se sabe que el tejido óseo más afectado es el trabecular (Palacios *et ál.*, 2001). Sobre el efecto benéfico de la actividad física sobre el tejido óseo se han postulado diversos mecanismos. Aloia y Cohn (1978) ofrecen tres posibles explicaciones: una influencia nerviosa directa, cambios vasculares y del flujo sanguíneo asociado al ejercicio y la tensión mecánica y muscular como resultado del esfuerzo para mantener el peso (Palacios *et ál.*, 2001). Parece que el tejido óseo se ve influido por los esfuerzos de compresión en su eje

longitudinal, normalmente producido por efecto gravitatorio y por tensión muscular, pero también como resultado de fuerzas de impactos longitudinales que a su vez provocan vibración en el hueso como en el caso de la marcha y la carrera.

Las explicaciones ofrecidas por los estudios de vibración se centran más sobre los factores intrínsecos del propio hueso y su ambiente. Una de ellas sugiere que la carga induce alteraciones de la presión intermedular lo cual induce un flujo de líquido a través de los espacios extracelulares en las lagunas y canaliculas, el cual aumenta al utilizar frecuencias más altas. El flujo causa un “estrés de cizallamiento” sobre la membrana celular lo cual se sabe que estimula células en cultivo (Weinbaum *et ál.*, 1994; Hsieh y Turner, 2001); podría ser que también estimulase las células in vivo. Además, también se ha sugerido la posibilidad de que los potenciales eléctricos generados por el estrés inducido por la carga mejoren el flujo extracelular y estimulen las células óseas (Hsieh y Turner, 2001).

Se han propuesto también diversos mecanismos para la conversión de fuerzas de líquido extracelular en respuestas celulares; tales mecanismos son mecanorreceptores de membrana, proteínas de adhesión locales, señales citoesqueléticas, y la curvatura de las fibras extracelulares. Desde el punto de vista biológico las señales mecánicas osteogénicas que forman y previenen la pérdida de hueso pueden también influir sobre moléculas que participan en la formación y reabsorción ósea. Rubin y colaboradores (2001a) mostraron que hay una relación inversa entre la citoquina (osteoclastogénesis) y la tasa de formación ósea. Cualquiera que sea la verdadera explicación, se requieren más estudios, pues los mecanismos de mejora ósea no están bien explicados.

Para intentar retrasar la problemática de la pérdida de masa ósea, se han realizado muchos estudios que han reflejado el efecto benéfico del ejercicio para aumentar o, al menos, disminuir la pérdida del contenido mineral óseo.

Asimismo, el auge del entrenamiento con vibraciones ha llevado también a examinar los distintos efectos de dicho método de entrenamiento, entre los cuales se encuentra también el efecto sobre la masa ósea. Los estudios más numerosos se deben a Rubin y la mayoría se han realizado con modelos animales. Ya en su primer trabajo con McLeod (1994) se puso de manifiesto la sensibilidad del tejido óseo al estímulo vibratorio. Un año más tarde usando también un modelo animal (pavo) para su experimento observó que una vibración de baja am-

Densidad ósea total	+6.5%
Volumen óseo total	+32%
Tasa de formación ósea	+113%
Densidad trabecular	+34.2%
Número trabecular	+45%
Superficie mineralizada	+144%

Tabla 1

Diferencias porcentuales en parámetros óseos en ovejas sometidas a vibración vs. control (después de 1 año) (Rubin et ál., 2001.)

plitud y alta frecuencia puede mejorar de forma eficaz la formación de tejido trabecular. Los índices dinámicos de neoformación ósea (tasa de aposición mineral y superficie etiquetada) se estimularon de manera significativa (un 51 % tras 30 días de intervención) en la trabécula de la parte distal de la tibia.

Recientemente Rubin y colaboradores han continuado su investigación con otros modelos animales. Estudiaron los efectos de la vibración tras un periodo de 12 meses (5 veces a la semana, 20 minutos al día), sobre las porciones proximal y distal del fémur (2001a y 2002a) y sobre la tibia (2002b). Se aplicó una vibración vertical a 30 Hz, con aceleración pico de 0,3 G y amplitud de 0,1 mm. Tras el periodo de estimulación se observó que la densidad mineral ósea (medida a través de DXA) de la porción proximal del fémur era un 5,4 % mayor (aunque no había diferencia estadísticamente significativa) en los animales experimentales. Tampoco se encontró diferencia significativa en el aumento de la densidad total de la porción proximal del fémur (aunque éste fue del 6,5 %); sin embargo, en el trocánter menor se encontró un aumento del 34,2 % en la densidad ósea trabecular (Rubin et ál., 2001a y 2001c). La histología del hueso sin descalcificar mostró un aumento en la densidad trabecular reflejado por un incremento del 32,2 % en el volumen de hueso trabecular, un 45 % de aumento en el número de malla trabecular, y un 36 % de reducción en el espacio de malla; lo cual indica mejora en la calidad del hueso trabecular. De la misma manera, aunque tampoco fue estadísticamente significativo, se sugirió un aumento en la tasa de formación y mineralización según el estudio histomorfométrico. Sin embargo, ninguno de los parámetros corticales presentó cambios significativos y por eso se postula que el efecto anabólico producido por la vibración es sumamente específico del tejido óseo trabecular (Rubin et ál., 2001a y 2001b) (Tabla 1).

Por su parte, los hallazgos en hueso trabecular de la porción distal del fémur, también estimulado, fueron un aumento del contenido mineral en un 10,6 %, y aumento del número trabecular en un 8,3 %, mientras que el espacio trabecular disminuyó un 11,3 %. El escáner de tomografía computerizada, mostró un aumento de rigidez (*stiffness*) y fuerza en el plano que soporta el peso. El DXA por su parte no mostró diferencias en contenido mineral óseo entre los grupos control y experimental en el cóndilo medial del fémur. Por otra parte en la tibia no se realizaron medidas de pQCT. Sí se realizó en cambio el análisis del contenido mineral óseo (CMO) por DXA, el cual, tras un año de experimentación, reveló que el CMO era mayor en el grupo experimental que en el control en todas y cada una de las veces que fue realizado. El cambio alcanzó la significancia estadística a las 29 semanas (Rubin et ál., 2002a).

Rubin evaluó también la capacidad de la vibración para neutralizar la osteoporosis inducida por la falta de actividad, para lo cual se sometieron ratas a un protocolo de vibración durante 28 días (10 minutos al día durante 5 días a la semana). Al final de dicho periodo se comprobó que el entrenamiento con vibración había neutralizado por completo los efectos negativos de la falta de actividad.

Por otra parte, Flieger y colaboradores (1998) demostraron que una vibración de 50 Hz con una aceleración de 2 G, durante 30 minutos al día, 5 días a la semana y 12 semanas producía una prevención en la pérdida de la masa ósea en ratas ovariectomizadas pero no se apreciaba efecto alguno en ratas que no lo estaban.

Los dos últimos estudios realizados emplean periodos de tiempo bastante largos (6 y 12 meses) y utilizan como sujetos a mujeres posmenopáusicas. El estudio de 6 meses (Verschueren et ál., 2004) comparó los efectos producidos en tres grupos sometidos a condiciones diferentes como fueron VT, entrenamiento de fuerza y sin entrenamiento (grupo control). El protocolo de VT consistía en 3 sesiones a la semana de un máximo de 30 minutos (incluido calentamiento y vuelta a calma). Cada sesión estaba separada de la precedente por un mínimo de un día. La amplitud máxima alcanzada fue de 2,5 mm, la frecuencia 35-40 Hz y la aceleración varió entre 2,28 y 5,09 G. Tras los 6 meses de tratamiento observaron que mientras la densidad mineral ósea total y en la zona lumbar no había cambiado sí había aumentado en la zona de la cadera (*fig. 1*). Sin embargo, los marcadores séricos de remodelamiento óseo (osteocalcina y telopeptido-c) no mostraron diferencias para ninguno de los

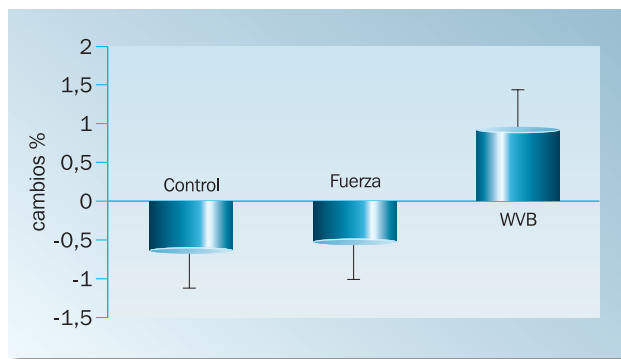


Figura 1

Cambios observados en porcentaje de la densidad mineral ósea (DMO) en la cadera tras 24 semanas en tres grupos (Control, entrenamiento de Fuerza y WVB) (Verschuere *et al.*, 2004).

grupos. Por otra parte, en un estudio realizado por un periodo de 1 año (Rubin *et al.*, 2004) se sometió a mujeres que estaban en periodo posmenopáusico desde hacía 3-8 años a un tratamiento con WBV. El protocolo usado fue de 2 entrenamientos diarios de 10 minutos separados por 10 h cada uno. La frecuencia empleada era de 30 Hz y la aceleración producida de 0,2 g. El entrenamiento se aplicó todos los días durante un año. Tras este periodo se aplicaron tests para ver si la densidad mineral ósea había cambiado; se analizó la DMO tanto en la cabeza del fémur como en la columna lumbar. Los resultados encontrados fueron un aumento relativo del 2,17 % para la cabeza del fémur y un 1,5 % para la columna; aunque la columna mostró un beneficio relativo, la DMO en el grupo experimental disminuyó tras el periodo de un año; sin embargo, la disminución fue mínima con respecto al grupo placebo. Al mismo tiempo los autores observaron que los cambios más beneficiosos se daban en mujeres con un peso corporal más bajo (Rubin *et al.*, 2004) (Fig. 1).

¿Posee el WBV propiedades osteogénicas?

Con respecto a la falta de efecto positivo encontrada por Torvinen se puede decir que se debe a las características de su muestra, sujetos jóvenes, es posible por tanto que no necesitasen de una adaptación al estímulo vibratorio; esta teoría viene apoyada por el hecho de que las ovejas usadas por Rubin *et al.* (2002b) en sus estudios eran viejas. Quizás si los participantes hubiesen sido mayores o su tejido óseo más débil, posiblemente se hubiesen observado cambios. También, como manifiestan

Rubin y colaboradores (2001b), donde aparecen los primeros cambios esqueléticos es en aquellos casos en los que algún componente de la fisiología normal de la señal reguladora esté disminuido, como por ejemplo cuando hay falta de actividad muscular por inmovilizaciones o causas neurológicas. Esta teoría viene también apoyada por los estudios más recientes (Rubin *et al.*, 2004; Verschuere *et al.*, 2004) en los que se observó con mujeres posmenopáusicas una mejora de masa ósea o, por lo menos, una disminución de pérdida de ésta.

Es posible que el tipo de carga vibratoria también pueda influir sobre los resultados. Así pues, los resultados positivos descritos en estudios animales fueron llevados a cabo con muy baja magnitud (0,3 G) y a una alta frecuencia 30 Hz (Rubin *et al.*, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b). Torvinen y colaboradores (2003) por otra parte utilizó un estímulo mecánico que proveía una relativa alta magnitud y una exposición multidireccional. Es posible que, como postulan Rubin y McLeod (1994), el efecto anabólico sobre el hueso trabecular lo constituyan los estímulos mecánicos de baja magnitud y alta frecuencia.

Torvinen y colaboradores (2003) querían observar al mismo tiempo los efectos de la vibración sobre la *performance* física, para lo cual hacían que los sujetos realizaran una serie de ejercicios, como cambiar el peso de una pierna a otra, dar pequeños saltos o mantenerse en una posición relajada. Con estas diversas posiciones se conseguía una vibración no sólo sobre el hueso sino también sobre los músculos; por otra parte, es posible que estas posiciones produjesen una disminución en la capacidad de transmisión de las ondas vibratorias a través del sistema esquelético. El mantenimiento de una posición de media sentadilla sobre la plataforma a 30 Hz disminuye la transmisión de la onda vibratoria a valores inferiores a una quinta parte de lo que sería en bipedestación (Rubin *et al.*, 1994). La transmisión viene afectada por otra parte por la frecuencia empleada, y así frecuencias que se acercan a los 40 Hz disminuyen dramáticamente la capacidad de transmisión; por tanto, las frecuencias ideales en este sentido son frecuencias de un valor límite de unos 35 Hz. Hay que recordar también que mientras Torvinen usó un tratamiento de vibración de 4 min. de duración por sesión, los estudios en los que se ha encontrado una mejora en la masa ósea utilizan 20 o 30 min, por lo tanto es posible que las condiciones del estudio de Torvinen no ofreciesen un estímulo suficiente para que se produjesen dichas mejoras. Finalmente, es posible que los cambios óseos precisen de más tiempo para ocurrir y ser observados. En cualquier caso, el estudio de Torvinen no fue ca-

paz ni siquiera de observar los cambios iniciales en marcadores séricos. Este hecho parece sin embargo no poseer una gran importancia ya que Verschueren *et ál.* (2004) no consiguieron en su estudio observar cambios en osteocalcina y telopéptido-C mientras que hubo un aumento de la DMO en la región de la cadera. Los autores concluyeron que tal ganancia de DMO (similar a la producida por agentes farmacológicos anti-resorción usados durante el mismo periodo de tiempo) no podía resultar por tanto de una disminución de la resorción del hueso. El hecho de que se produzca un aumento de DMO en la región de la cadera pero no en la región lumbar o el total corporal hace que los autores postulen que el efecto sobre el tejido óseo sea de tipo local. Los autores también propusieron que el efecto osteogénico de las vibraciones no está mediado por las contracciones musculares reflejas ya que la ganancia muscular no está estadísticamente relacionada a los aumentos de fuerza generados por las vibraciones. La razón por la cual la alta frecuencia puede ser el estímulo más adecuado no se sabe aun, pero según Rubin y colaboradores (2002b) tal respuesta del hueso puede no resultar de la deformación del hueso sino de los derivados de la señal de alta frecuencia como el “estrés de cizallamiento” causado por el flujo de fluido. También surge la pregunta que por qué unas frecuencias pueden producir el cambio y otras no. Es posible que se deba a la denominada resonancia estocástica la cual es un fenómeno por el que un ruido mecánico mejora la respuesta de un sistema no lineal a una señal débil empujándola por encima de su umbral. La resonancia estocástica puede aumentar la mecanosensibilidad de distintos mecanorreceptores como los husos musculares (Cordo *et ál.*, 1996). De todos modos parece que aun queda por definir que protocolo de vibración puede resultar más osteogénico.

Efectos del VT sobre el sistema endocrino

Se ha observado que tras la realización de ejercicios de fuerza de corta duración como pueden ser: 60 segundos de saltos consecutivos (Bosco *et ál.*, 1996a), ejercicios anaeróbicos (Adlercreutz *et ál.*, 1976; Kraemer *et ál.*, 1989) y levantamiento de pesas (Kraemer *et ál.*, 1990; Schwab *et ál.*, 1993) producen respuestas hormonales rápidas tanto en hombres como en mujeres (Kraemer, 1992; Kraemer *et ál.*, 1991). Aun se desconocen sin embargo muchos de dichos efectos y hay resultados discordantes debido en parte al control inadecuado de la intensidad y la duración del entrenamiento. Parece ser

que existe cierta relación entre las concentraciones plasmáticas de hormonas y la *performance* de corta duración. Se postula que atletas con una mejor fuerza explosiva y de alto rendimiento en sprint tienen una concentración de testosterona basal mayor (Kraemer *et ál.*, 1995; Bosco *et ál.*, 1996b). Dichos cambios hormonales son significativos tanto para la adaptación aguda como para el desencadenamiento de efectos a largo plazo (Virus, 1994; Kraemer *et ál.*, 1996).

De igual modo parece ser que el entrenamiento con WBV no sólo produce mejoras significativas a nivel de músculo esquelético y su *performance* sino que además produce cambios significativos sobre el perfil hormonal que pueden ser importantes para la mejora crónica de la función neuromuscular.

Se realizaron estudios preliminares con ratas para ver el efecto de las WBV sobre las hormonas. Ariizumi y Okada (1983) investigaron el contenido de serotonina en el cerebro y corticosterona en sangre. Realizaron varios experimentos en función de la aceleración y de la frecuencia. Los resultados fueron un aumento de ambas hormonas y relación entre el aumento en ambas. Los autores reflejan que, al igual que el estudio de Sugawara y colaboradores (1972), el nivel de corticosterona subió, como posible función de mantenimiento de la homeostasis. Los autores también concluyeron que la serotonina juega un papel importante, especialmente a nivel del hipotálamo, sobre la función hipofiso-adrenocortical.

El grupo de Bosco publica un estudio (2000a) sobre las respuestas agudas de las concentraciones de hormonas plasmáticas y del *performance* neuromuscular tras un tratamiento de vibración sobre cuerpo entero. Se observaron incrementos en las concentraciones de testosterona y hormona del crecimiento (7 y 460 % respectivamente) y una disminución de la concentración de cortisol (32 %) (Fig. 2).

Al mismo tiempo se observa un aumento de la efectividad neuromuscular. Aunque ambos hechos fueron simultáneos pero independientes, los autores especularon que los dos fenómenos pueden tener mecanismos subyacentes comunes. Los autores concluyeron que la disminución de cortisol representaba que la sesión de vibración no producía un estrés general (al contrario que el estudio de ratas) ni producía una respuesta que es común a los ejercicios de alta intensidad (Virus, 1994; Bosco, 2000). Dicha respuesta del cortisol (disminución) se puede deber a una estimulación insuficiente del comando nervioso central y del feedback nervioso proveniente de

músculos esqueléticos. Dicho *feedback* es esencial para las respuestas de corticotrofina y β -endorfina; al contrario que en el estudio de las ratas, los autores exponen la posibilidad de que las estructuras serotoninérgicas del hipocampo posean un papel inhibitorio sobre los centros neurosecretorios hipotalámicos.

Aunque los estudios hasta ahora citados reflejan efectos positivos sobre el sistema hormonal, en un estudio de Bosco (1999c), no citado en otros artículos, se publica una supresión parcial en los sistemas pituitario-adrenocortical y pituitario-testicular, reflejado por una concentración disminuida de cortisol y testosterona en sangre después de una sola sesión. La sesión, realizada con la plataforma vibratoria Galileo 2000 constaba de 7 series de 1 min, con 1 min de intervalo. La sesión estaba precedida por un calentamiento de 5 min en bicicleta y 5min de estiramiento estático. Las vibraciones tenían una frecuencia de 26 Hz, amplitud de 10 mm y aceleración de 54 m/s^2 . Se observaron resultados muy semejantes en estudios realizados después de una sola sesión de entrenamiento intenso de fuerza tradicional. En tales estudios se encontró una relación inversa entre los cambios en la concentración de T y la tasa EMG/W durante el test de medio *squat* con carga externa de 200 % de la masa corporal y de *squat* completo con carga extra del 100 % de la masa corporal (Bosco *et ál.*, 2000b). Los autores mantienen que un nivel adecuado de hormona sexual masculina (T) puede compensar el efecto de la fatiga asegurando una eficacia neuromuscular en fibras rápidas, lo cual estaría de acuerdo con el descenso tanto hormonal como neuromuscular publicado en dicho estudio.

¿Qué mecanismos se postulan como responsables de los cambios hormonales al utilizar WBV?

Las adaptaciones neuromusculares podrían estar relacionadas o influidas por factores hormonales. Se sabe que las respuestas a los cambios ambientales externos conllevan factores tanto neurales como hormonales (Fitts *et ál.*, 2001; McCall *et ál.*, 2000) incluso en las respuestas a los cambios gravitacionales, ya mencionados en el apartado de los efectos sobre el sistema neuromuscular, se observan alteraciones hormonales (Fitts *et ál.*, 2001); y así, estudios realizados con astronautas han mostrado que la microgravedad lleva a una disminución en los niveles de andrógenos y hormona del crecimiento (McCall *et ál.*, 2000).

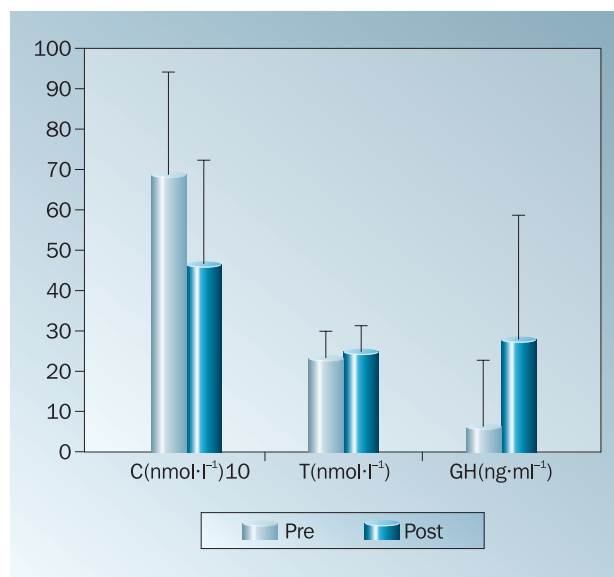


Figura 2

Efectos agudos del entrenamiento con WBV sobre los valores (media \pm DS) de concentración hemática de cortisol (C), testosterona (T) y hormona del crecimiento (GH) (Bosco *et ál.*, 2000a.)

Los cambios mencionados se deben a la gran perturbación sobre la homeostasis corporal, producida por la microgravedad, debido a la falta de tensión física en el sistema músculo-esquelético, la pérdida de presión hidrostática y la alteración del sistema motor sensorial (Cardinale y Bosco, 2003).

Por otra parte, el aumento de la carga gravitacional impuesto por el ejercicio de fuerza aumenta los niveles de las hormonas ya mencionadas (androgénicas y GH). El alto stress impuesto por esta forma de ejercicio sobre las estructuras músculo-esqueléticas requieren un alto nivel de activación neural y representa una demanda aumentada con respecto a las situaciones homeostáticas, estimulando así respuestas fisiológicas rápidas (Cardinale y Bosco, 2003). Al realizar un entrenamiento de fuerza, se pone en marcha una rápida activación endocrina por las colaterales del comando motor central y se transmite a los centros autonómicos y neurosecretorios hipotalámicos. Las influencias de retroalimentación de los propioceptores y metaborreceptores del músculo estimulan aun más tales respuestas. Las características mecánicas de la vibración podrían proporcionar un estímulo adecuado para la secreción hormonal. Se ha comprobado que la vibración también aumenta los niveles de T y GH además de producir efectos sobre la retroalimentación sensorial (Bosco *et ál.*, 2000a).

Investigaciones recientes subrayan la interacción entre los propioceptores y las respuestas hormonales; así se ha comprobado con los niveles de GH tras identificar la activación de músculos específicos tras la aplicación de vibración (McCall *et ál.*, 2000). Parece razonable que los aumentos de T observados tras la vibración estén relacionados con el mayor *output* de fuerza y potencia; de hecho, la posible influencia de este andrógeno sobre el mecanismo de manejo del calcio en el músculo esquelético podría facilitar una activación muscular más poderosa.

Efectos del VT sobre el sistema cardiovascular

Los primeros estudios que analizaron el efecto de las vibraciones sobre el sistema cardiovascular se centraron en el efecto producido de manera localizada sobre la mano. Estos estudios se debían a los síntomas presentados por trabajadores que estaban sometidos a vibración sobre la mano. Esos individuos exhibían desórdenes vasoespásticos en los dedos, el llamado dedo blanco producido por vibración o *Vibration-induced White Finger* (VWF). Los primeros estudios evaluaron el efecto de la vibración sobre la mano que estaba sometida a vibración. Más tarde se analizaron también los efectos producidos tanto en la mano ipsilateral como en la contralateral y posteriormente se empezaron a introducir otros parámetros como distintas frecuencias y aceleraciones y distintos tiempos de exposición. Algunos estudios también realizaron experimentos semejantes sobre el pie. Se puede destacar que una magnitud aumentada de vibración tiene una tendencia a acrecentar la disminución del flujo sanguíneo del dedo en las dos manos al igual que la temperatura de la piel. Se postula que el fenómeno subyacente es la actividad del sistema nervioso simpático, el cual al ser activado produce una vasoconstricción (Luo *et ál.*, 2000).

Algunos estudios también demuestran que cuanto mayor es la vibración, mayor es la vasoconstricción producida, y que tal vasoconstricción puede ser agravada por la exposición repetida. Hay que mencionar que una vasoconstricción repetida acelerará cambios vasculares tales como la hipertrofia muscular medial. Además, la exposición prolongada a vibración de alta intensidad puede producir factores tan adversos en el SNS como una mayor respuesta simpática frente al frío tal como se ha observado en pacientes con VWF (Luo *et ál.*, 2000; Bovenzi, 1986).

No hay consenso, sin embargo, sobre tales resultados y, por su parte, Nakamura y colaboradores (1995) encontraron efectos opuestos sobre el flujo sanguíneo digital. Aunque el flujo disminuyó en un principio, lo cual puede ser atribuido al hecho de realizar el agarre en la máquina vibratoria, éste aumentó gradualmente con la vibración. Al mismo tiempo encontraron que los niveles de endotelina (que es un potente vasoconstrictor) eran significativamente menores tras la vibración; por tanto, los autores postularon que el efecto de la vibración sobre la mano era una vasodilatación.

En un estudio realizado con la aplicación de vibraciones con una frecuencia alta (80-100Hz) se ha observado un efecto negativo tanto sobre la fuerza muscular como sobre el flujo sanguíneo (Lundström y Burstöm, 1984). Hay muchos estudios realizados acerca del efecto de la vibración de baja frecuencia sobre la fuerza muscular (Bosco *et ál.*, 1998, 1999a, 1999b, 1999c, 2000a; Cardinale y Lim, 2003; Delecluse *et ál.*, 2003; Torvinen *et ál.*, 2002a, 2002b, 2002c), pero pocos son los estudios que han examinado el efecto de tales vibraciones sobre el flujo sanguíneo. Kersch-Schindl y colaboradores en el 2001 realizaron un estudio para observar la posible influencia del VT utilizando la plataforma Galileo 2000 a una frecuencia de 26 Hz. Estudiaron el volumen sanguíneo muscular del gastrocnemio y cuádriceps femoral mediante sonografía *Power Doppler* y el flujo sanguíneo de la arteria poplítea con un ecógrafo *Doppler*. Encontraron que el volumen sanguíneo muscular en la pantorrilla y en muslo había aumentado después del ejercicio al igual que la velocidad media de flujo de la arteria poplítea.

Además de los posibles efectos ya citados se han estudiado otros parámetros cardiovasculares importantes como el consumo de oxígeno.

Rittweger y colaboradores en el 2001 realizan un estudio con la misma plataforma para evaluar el consumo de oxígeno durante un ejercicio de WBV con el fin de probar la existencia de una respuesta muscular, puesta en duda por algunos. Si no hubiese respuesta muscular, la potencia metabólica, medida por el consumo de oxígeno, no resultaría alterada por el entrenamiento con vibraciones; por tanto, la evaluación del consumo de oxígeno se presenta como un método válido para demostrar la respuesta muscular. Los autores usaron los siguientes parámetros para el entrenamiento: frecuencia de 26 Hz y amplitud de vibración de 6 mm ($\approx 18G$). Se observó un aumento en el consumo de oxígeno, siendo a veces éste más controlable en el caso de la vibración que con la realización de sentadilla tradicional, lo cual indica

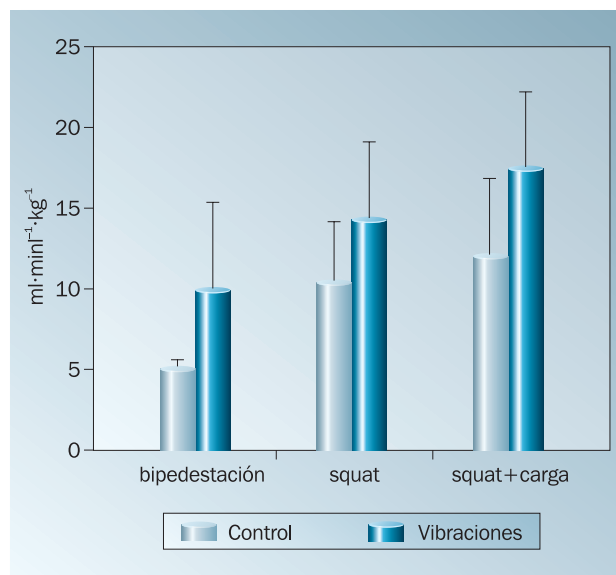
que la WVB aumenta la respuesta muscular. Los autores comentan que este tratamiento con vibraciones requiere un nivel de metabolismo energético comparable al de un paseo moderado.

Tras este estudio se estudiaron los efectos de distintos parámetros como son distintas frecuencias de vibración, amplitud y carga externa (Rittweger *et al.*, 2002a). En dicho estudio los autores verificaron que el $\dot{V}O_2$ aumentaba proporcionalmente con la frecuencia de vibración (18, 26 y 34 Hz), con la amplitud (2,5; 5 y 7,5 mm) y con la carga externa, para este último parámetro se utilizó el 40 % de la LBM con carga bien sujeta a la cintura bien a los hombros (las cargas externas utilizadas 0kg de carga extra, carga del 40 % LBM sujeta a la cintura, carga del 40 % LBM sujeta a los hombros) (Fig. 3).

Los autores concluyeron que el entrenamiento con vibraciones mejora de manera substancial la potencia metabólica y por ende la actividad muscular.

¿Qué mecanismos se postulan como responsables de los cambios en el sistema cardiovascular al utilizar WBV?

En el estudio de Kersch-Schindl y colaboradores (2001) hubo un aumento del número de vasos visualizados con un diámetro mínimo de 2 mm, lo cual refleja el ensanchamiento de pequeños vasos producido por el ejercicio; tal ensanchamiento capilar observado en cuádriceps y gastrocnemio viene apoyado por un “blush score” aumentado y que posiblemente se puede atribuir al paso de un mayor número de moléculas. Aunque en este estudio se utilizó el método Newmam para medir el volumen relativo de sangre en movimiento y éste es incapaz de distinguir entre el *loop* capilar arterial y el venoso, tal hecho no es un problema ya que las dos camas capilares tienen aproximadamente la misma velocidad de flujo. Con respecto a la arteria poplítea, su área sistólica y su velocidad sistólica y diastólica máxima no cambiaron; sin embargo, la velocidad media de flujo aumentó, siendo la explicación más razonable el ensanchamiento observado en los vasos pequeños que reduce la resistencia periférica con lo cual puede aumentar la velocidad de flujo de la arteria poplítea. Al mismo tiempo el tixotropismo también puede influir; es posible que la vibración reduzca la viscosidad sanguínea y esto puede permitir el aumento en la velocidad media. Es posible que la relación encontrada en el estudio de Nakamura y colaboradores (1995) entre la endotelina y el flujo sanguíneo ofrezca una explicación para el fenómeno de la vasodilata-



▲ **Figura 3**

Valores (media \pm DS) de consumo de oxígeno durante el último minuto de ejercicio en 6 condiciones distintas: bipedestación sobre la plataforma sin y con WBV, realización de squat sin WBV, realización de squat sin y con WBV y realización de squat con carga sin y con WBV (Rittweger *et al.*, 2001.)

ción, ya que la endotelina es un potente vasoconstrictor y en el citado estudio sus niveles disminuyeron.

En relación al consumo de oxígeno se postula que el $\dot{V}O_2$ estaba correlacionado con los niveles control; es decir, cuanto mayor sea el $\dot{V}O_2$ en condiciones normales mayor la potencia metabólica relacionada con la vibración. Tal potencia metabólica que está relacionada con la vibración disminuye con un aumento del coste metabólico general, lo cual se puede deber a una mayor proporción del trabajo muscular excéntrico o al almacenamiento de energía elástica a mayores precargas musculares. Para entender las vibraciones es de suma importancia tener en cuenta tanto el ejercicio excéntrico como el almacenamiento elástico.

Efectos del VT sobre la calidad de vida y composición corporal

Se ha estudiado el efecto del VT sobre la calidad de vida en 42 habitantes de una residencia para la tercera edad, divididos de manera aleatoria en 2 grupos, experimental y control. El grupo experimental realizó un entrenamiento con WBV de 6 semanas realizando 4 exposiciones de 1 min cada una, 3 veces en semana con una frecuencia variable (10 y 25 Hz). La calidad de vida

se midió mediante 9 subescalas del cuestionario SF-36, encontrando los autores diferencias favorables en 7 de ellas para el grupo experimental (Bruyere *et ál.*, 2004).

A pesar que la vibración industrial se considera como un riesgo para la salud, Rittweger y colaboradores (2002b), comparando el entrenamiento de vibraciones con el convencional de fuerza han demostrado que el VT produce una reducción en el dolor lumbar crónico, siendo esta similar a la producida por el entrenamiento de fuerza específico para los músculos de esta región. El aumento en la fuerza de los músculos extensores lumbares aumentó significativamente en ambos grupos, aunque fue mayor en el grupo que realizaba entrenamiento de fuerza convencional.

El efecto de 24 meses de WVB sobre la composición corporal fue estudiado por Roelants *et ál.* (2004), comparándose el WVB con un entrenamiento tradicional de musculación. No hubo cambios significativos en el porcentaje de grasa, ni tampoco en el sumatorio de pliegues en ninguno de los grupos; sin embargo, la masa libre de grasa aumentó significativamente (2,2 %) en el grupo WVB.

Conclusiones

Parece lógico admitir que el VT produce modificaciones que pueden resultar beneficiosas en algunos ámbitos de la salud como son los sistemas endocrino, óseo o cardiovascular. Tales beneficios pueden repercutir directamente sobre la calidad de vida. Las modificaciones que se producen a nivel hormonal tienen un efecto anabólico que puede ser utilizado como estímulo previo al entrenamiento de fuerza y velocidad, así como preparación para la competición o como recuperación. Al mismo tiempo se hace patente la necesidad de establecer parámetros claros en la aplicación del VT, pues no todas las frecuencias, amplitudes y/o tiempos de exposición, producen efectos beneficios; de hecho, algunos parámetros mal aplicados, lejos de conseguir los efectos deseados pueden llegar a provocar el deterioro de las variables que se pretende mejorar.

A los beneficios globales de salud y calidad de vida que puede producir el ejercicio físico se puede añadir la facilidad de uso y el poco tiempo necesario para la obtención de resultados por medio de las máquinas de vibraciones.

Bibliografía

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

- Aloia, J. F.; Cohn, S. H. (1978) "Prevention of involutional bone loss by exercise", *Ann Int Med* 8: pp. 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. y Viru, A. (1996a). Hormonal responses to strenuous jumping 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. y 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. En G. Lyritis (ed.): *Musculo-Skeletal Interactions*, vol. 2, pp. 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. y 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. y 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.; y Reginster, J. (2004). Controlled whole body vibrations improve health related quality of life in elderly patients, University of Liege / WHO-Center.
- Cardinale, M. y Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* 31(1), 3-7.
- Cardinale, M. y Lim, J. (2003). The Acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance, *Med Sport* (56), 287-292.
- Cardinale, M. y 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. y Moss, F. (1996). Noise in human muscle spindles. *Nature* (31):383(6603):769-70.
- Da Silva, M; Vaamonde, D. M. y Padullés (2006). Efectos del entrenamiento con vibraciones mecánicas sobre la performance neuromuscular. *Apunts. Educación Física y Deportes* (84), 39-47.
- Delecluse, C.; Roelants, M. y Verschuere, S. (2003). Strength increase after Whole Body Vibration compared resistance training. 35 (6), 1033-1041.
- Fitts, R. H.; Riley D. R. y Widrick, J. J. (2001). Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *J Exp Biol* (204), 3201-3208.
- Flieger, J.; Karachalios, T.; Khaldi, L.; Raptou, P. y 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. y 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. y 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. y Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*; 12(6), 561-6.
- Issurin, V. B. y 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.; Grampp, S.; Henk, C.; Resch, H.; Preisinger, E.; Fialka-Moser, V. y 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.; Cruithirds, C.; Damokosh, A.; Harman, E. A.; Frykman, P. N. y 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. y 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., y 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. y 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. Jyväskylä, University of Jyväskylä, pp. 508-509.
- Kraemer, W. J.; Fleck, S. J. y Evans, W. J. (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc Sports Sci Rev* (24), 363-397.
- Lundström, M. R. y 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. y 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. y Edgerton, V. R. (2000). Muscle afferent activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *J Appl Physiol* 89, pp. 1137-1141 .
- Nakamura, H.; Ariizumi, M.; Okazawa, T.; Nagase, H.; Yoshida, M. y Okada, A. (1995). Involvement of endothelin in peripheral circulatory change induced by hand-arm vibration. *Cent Eur J Public Health*. 3(suppl):27-30.
- Padullés, J. M. (2001). Vibraciones, un nuevo método de entrenamiento. *Set Voleibol* (Mayo), 54-56.
- Palacios, N.; Santaella, O. y 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. y 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. y 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. y Verschueren, 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. y 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. y 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. y McLeod, K. (2001a). Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* (412), 603-604.
- Rubin, C.; Xu, G. y 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. y 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. y 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. y 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 y 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. y 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. y 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. y 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. y 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.
- Verschueren, S.; Roelants, M.; Delecluse, C.; Swinnen, S.; Vanderschueren, D. y 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