
ENTRENAMIENTO POR MEDIO DE VIBRACIONES MECÁNICAS: REVISIÓN DE LA LITERATURA.

Julio Tous Fajardo^a, Gerard Moras Feliú^b

^a *Universidad Ramón Llull (Barcelona, España)*

^b *INEFC Barcelona (España)*

Publicado en *Lecturas E.F. y Deportes*. Año 10. Nº 79. Diciembre de 2004.

<http://www.efdeportes.com/efd79/vibrac.htm>

RESUMEN

La exposición a vibraciones ha sido considerada tradicionalmente como perjudicial para el organismo humano. Sus efectos han sido estudiados de manera pormenorizada en medicina del trabajo habiéndose establecido incluso normativas ISO para evitar al máximo su aparición en los puestos de trabajo. Estas vibraciones suelen caracterizarse por su baja o muy alta frecuencia, su alta amplitud y la larga duración de su exposición al ser humano. Sin embargo, existen otras vibraciones que parecen provocar efectos beneficiosos en el organismo. En este caso, las frecuencias son moderadas (25-40 Hz), las amplitudes pequeñas (2-10 mm) y la duración de la exposición corta (inferior a los 30 minutos con intermitencias). En el presente texto se recogen fundamentalmente las aplicaciones de este método en campos como el entrenamiento deportivo, el fitness, la rehabilitación y la geriatría. De este modo, se incluye una revisión crítica de los estudios más relevantes así como la presentación de diferentes experiencias realizadas por los autores en los últimos cinco años.

ABSTRACT

Exposure to vibrations has been traditionally considered as harmful for the human biological system. Extensive research has been done in occupational medicine and even ISO normative has been established to avoid vibrations in workplaces. These vibrations are usually of low or very high frequency, high amplitude and long term chronic exposure. However, there are other vibrations that may provoke beneficial effects on human biological system. In this case, we usually have moderate frequencies (25-40 Hz), low amplitudes (2-10) and short term exposure (less than 30 intermittent minutes). This text mainly includes applications for different fields such as sports training, fitness, rehabilitation and geriatrics. Thus, a critical review of most relevant studies is included among different practical experiences performed by the authors during the last five years.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años se ha introducido en el mercado una serie de dispositivos capaces de, mediante movimientos oscilatorios sinusoidales, provocar un estímulo mecánico. Este estímulo se transmite por todo el cuerpo consiguiendo aumentar la carga gravitatoria a la que es sometido el sistema neuromuscular. Aparece así lo que se conoce como vibraciones de cuerpo completo¹ (*Whole-body vibration*; WBV) que han de diferenciarse de las vibraciones aplicadas localmente. Las primeras ocurren cuando todo el cuerpo es sometido a movimiento y el efecto no es localizado. Las segundas ocurren cuando una parte determinada del cuerpo es sometida a movimiento (por ejemplo, aplicación directa al bíceps braquial)^{19, 26}.

Las vibraciones son muy habituales en la vida diaria. Fuentes de vibración se encuentran en medios de transporte como: coches^{99,21}, motos, trenes, helicópteros²⁶, aviones, embarcaciones, etc...; o de trabajo: tractores⁵², camiones⁵³ y multitud de tipos de maquinaria y herramientas^{20,73}. También en la actividad física y el deporte pueden encontrarse ejemplos evidentes como el patinaje en línea⁹⁵, el surf, el ski, la equitación, la vela, el mountain-bike. Todo material conocido por el hombre tiene una frecuencia natural a la que vibra¹⁰³ y los tejidos biológicos como el músculo también vibran a frecuencias específicas tanto en reposo como en activación⁴.

La forma más habitual de aplicar vibraciones con el objeto de mejorar el rendimiento físico es mediante plataformas, que consiguen el efecto “por todo el cuerpo”, aunque también se han aplicado de manera localizada empleando mancuernas⁹ o cables^{54,41,40,62}.



Figura 1. Izquierda: ejemplo de ejercicio sobre plataforma vibratoria donde se combina el estímulo vibratorio con una acción muscular excéntrica. Derecha: ejemplo de ejercicio para el tren superior donde predomina la sollicitación sobre el deltoides anterior y el pectoral mayor.

¹ Se emplea la traducción propuesta en la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo

Las investigaciones sobre los efectos de las vibraciones en el ser humano tienen ya una larga tradición. Sus resultados van desde muy perjudiciales -perspectiva tradicional de la medicina del trabajo- a muy beneficiosos -perspectiva más actual del campo de la actividad física y el deporte así como la rehabilitación-. La explicación a estas grandes divergencias podría residir en los diferentes parámetros de vibración empleados. Si anteriormente distinguíamos la localización o no de las vibraciones, también se ha de tener muy en cuenta su frecuencia, amplitud, dirección y duración, ya que el cuerpo humano ha demostrado responder de manera altamente específica a la variación de estos parámetros¹⁹. La aplicación de vibraciones al cuerpo humano puede ser descrita como placentera o molesta, puede influir en el rendimiento en ciertas tareas y provocar lesiones o enfermedades pero también provocar efectos positivos como el alivio del dolor crónico^{87,57}.

En la presente revisión se analizarán los efectos agudos y crónicos de la aplicación de vibraciones mecánicas sobre el cuerpo humano desde la perspectiva del rendimiento físico. Sin embargo, en el caso de no disponer de evidencias científicas al respecto, en algunas ocasiones se recurrirá a investigaciones en animales o en tejidos *in vitro* o a trabajos donde el objetivo no era observar la influencia sobre el rendimiento físico.

2. VARIABLES QUE AFECTAN A LAS VIBRACIONES

Existen numerosas variables o parámetros que pueden afectar a los movimientos oscilatorios sobre el cuerpo humano, aunque pueden ser divididas en dos grandes categorías: variables extrínsecas (que ocurren fuera del cuerpo humano) y variables intrínsecas (aquellas que ocurren dentro del cuerpo o entre diferentes personas).

2.1. Variables extrínsecas:

2.1.1. Magnitud: la magnitud de una vibración suele expresarse por razones prácticas en unidades de aceleración (m/s^2), empleándose para ello acelerómetros. En los aparatos que se emplean para la mejora del rendimiento físico no se ofrece información sobre este parámetro pero puede obtenerse a partir de la frecuencia (f) y el desplazamiento (d), mediante la ecuación : $a=(2\pi f)^2d$. Esto quiere decir que un movimiento oscilatorio sinusoidal con un frecuencia de 30 Hz y 4 mm de desplazamiento resultará en una aceleración de 14,48 g.

2.1.2. Frecuencia: es el número de ciclos de movimiento sinusoidal realizado en un segundo expresado mediante la unidad hertzio (Hz). El rango de frecuencias de vibración empleadas en los estudios de entrenamiento está entre 23 y 44 Hz.

2.1.3. Amplitud: es el desplazamiento que se realiza en cada ciclo de movimiento sinusoidal expresado por lo general en mm. El rango de amplitud empleado en los estudios se sitúa entre 2 y 10 mm, aunque el valor más empleado son 4 mm.

2.1.4. Dirección: las tres principales direcciones de la vibraciones aparecen en los ejes antero-posterior (x), lateral (y) y vertical (z) . En el mercado existen plataformas vibratorias donde predomina la dirección vertical y otras donde existe además un marcado componente lateral (por ejemplo, las plataformas GalileoTM).

2.1.5. Duración: algunas respuestas del cuerpo humano dependen fundamentalmente de la duración de la vibración a la que es expuesto. La normativa ISO 2631 establece los límites de tiempo de exposición basándose en los valores de la dosis de vibración. En los estudios orientados a la mejora del rendimiento la exposición total va desde 4 min hasta un máximo de 20.

2.2. Variables intrínsecas:

2.2.1. Intrasujeto:

-Postura corporal, posición y orientación del cuerpo (sentado, de pie, recostado, etc...).

2.2.2. Intersujeto:

-Tamaño y peso corporal, respuesta biodinámica corporal, edad, sexo, experiencia, expectativas, actitud, personalidad y nivel de forma física.

Por otro lado, un concepto físico que conviene aclarar es la frecuencia a la cual un cuerpo entra en resonancia. Se dice que un cuerpo resuena cuando vibra al recibir impulsos de frecuencia igual a la suya o múltiplo de ella. En el momento en el que todo el cuerpo humano entra en resonancia se produce el máximo desplazamiento entre los órganos y la estructura esquelética, siendo esta una frecuencia de vibración a evitar para minimizar el impacto que sufren los tejidos implicados. Esta frecuencia parece ser independiente del peso corporal y la estatura⁷³ aunque podría estar influenciada por la tensión muscular, presentando la mayoría de sujetos una mayor frecuencia cuando están tensos³¹. Randall et al encontraron un rango de frecuencias resonantes en todo el cuerpo entre 9 y 16 Hz (promedio de 12,3 Hz). Sin embargo, otros autores defienden una frecuencia principal de 5Hz y una secundaria de 8Hz⁴⁶ así como una respuesta no-lineal⁵⁹. Por otro lado, algunos efectos provocados por las vibraciones pueden alcanzar su máximo a una frecuencia algo superior a la de resonancia. Por esta razón, se recomienda emplear frecuencias superiores a los 20 Hz en los dispositivos habitualmente empleados para el entrenamiento de la fuerza¹⁰⁵.

3. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS

Cuando el cuerpo humano es sometido a vibraciones responde de una manera bastante compleja que afecta a los diferentes sistemas que regulan sus funciones^{73,58}. Así, las respuestas del organismo pueden diferenciarse según el momento de su aparición (agudas o crónicas) y el sistema biológico afectado (neuromuscular, sensorial, metabólico, endocrino, óseo y cartilaginoso).

3.1. EFECTOS AGUDOS

3.1.1. Sistema neuromuscular

A mediados de los años 60 se describieron tres efectos motores que resultaban de la aplicación de una vibración directa al músculo o al tendón⁸:

1) *El músculo sometido a vibración se contrae de manera activa*, efecto al que se le dio el nombre de *Reflejo Tónico Vibratorio (RTV)*^{29,30,43,25,39,61}. Este reflejo ha sido observado en todos los músculos esqueléticos excepto en los de la cara y la lengua³⁰. Aunque la fuerza de su respuesta es muy variable entre individuos, su respuesta ha demostrado ser muy reproducible en todo tipo de sujetos^{30,43}. La fuerza de respuesta del RTV depende de cuatro factores: localización del vibrador (sobre músculo o tendón), longitud inicial del músculo (cuanto más estirado mayor respuesta)⁴³, estado de la excitabilidad del SNC, parámetros del estímulo vibratorio.

En la figura 2 puede observarse el arco reflejo que explica la aparición del RTV. Fundamentalmente son las terminaciones primarias de los husos musculares, por su alta sensibilidad a los cambios de longitud, las que inician la contracción refleja. Desde los husos musculares el impulso es transmitido mediante las fibras la aferentes hacia la médula espinal donde realizan sinapsis con las alfa-motoneuronas. Éstas transmiten la señal de vuelta, vía eferente, a las mismas fibras musculares extrafusales, lo que provoca su contracción⁴³. Estos efectos han sido vueltos a comprobar con técnicas modernas de microneurografía capaces de registrar la activación de las terminaciones primarias de los husos musculares⁷⁵. Mediante esta técnicas se demuestra que las vibraciones estimulan predominantemente las fibras la aferentes y en menor grado las Ib aferentes de Golgi y las secundarias aferentes (II)⁸³. Además, el RTV no sólo parece estar mediado por las vías mono y polisinápticas de las fibras la, sino también por las vías de los receptores cutáneos^{1,84}. Por otro lado, se ha podido comprobar con técnicas de descomposición electromiográfica que las unidades motoras adicionales que se reclutan al aplicar vibración a un músculo proceden del mismo *pool* que las que se activan al realizar un esfuerzo volitivo equivalente al 10% de la MVC. Esto implica que se respeta el orden normal de reclutamiento de unidades motoras⁶⁰.

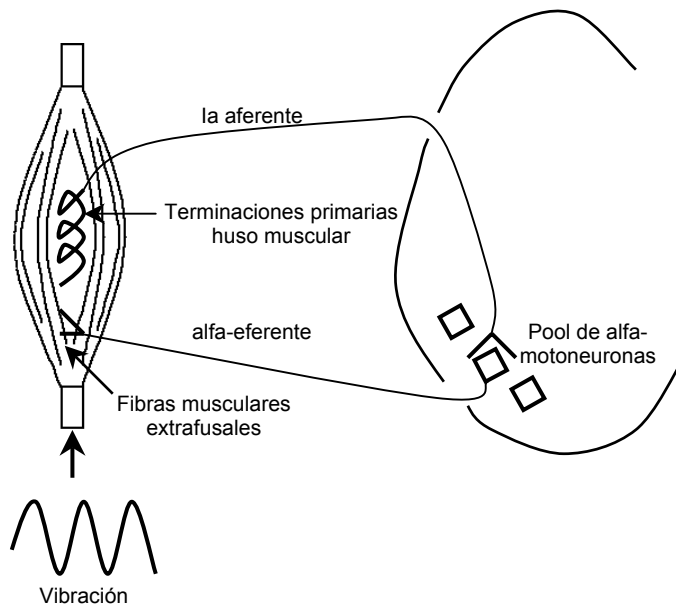


Figura 2. Arco reflejo solicitado en la aparición del reflejo tónico vibratorio (Johnston et al, 1970)

Por otro lado, recientemente se ha demostrado que la vibración aplicada al músculo o al tendón induce a un aumento significativo de los potenciales motores evocados por lo que se sugiere que la vibración afecta a la modulación de la excitabilidad de la corteza motora. Esta excitabilidad puede afectar a los impulsos voluntarios^{92,48,47}

Cuando la vibración es aplicada mediante plataformas o mancuernas los resultados son bastante parecidos. Bosco et al encuentran, en boxeadores de élite, un aumento del 200% entre los niveles de la señal EMGrms del bíceps braquial en reposo con respecto a la puesta en funcionamiento de una mancuerna de 2,6 kg vibrando a 30 Hz con una amplitud de 6 mm⁹. En el tren inferior también se ha encontrado un claro aumento de la señal EMGrms de la musculatura de la pierna al emplear plataformas vibratorias con respecto a la misma posición sin vibración^{101,18,27,7}. Además, parecen existir frecuencias de vibración que producen una mayor señal EMGrms que otras. Así, se ha descrito que frecuencias de 30 Hz son más estimulantes que las de 40 Hz y éstas a su vez que las de 50 Hz¹⁸. Estos datos han sido corroborados en nuestro laboratorio, donde además se han encontrado frecuencias de vibración óptimas para cada músculo y persona. El comportamiento de la evolución entre señal EMG y frecuencia de vibración suele ser similar a las curvas de potencia: sube hasta alcanzar un pico para después bajar (figura 3).

Fuente	Músculo	Frecuencia (Hz)	Ampl. (mm)	Efecto EMG
Bosco et al (1999)	Bíceps braquial	30	6	+200 % RMS
Warman et al (2002)	Recto femoral	50	¿	Isom. +30,1% Isok. +43% Din.+107 % RMS
Delecluse et al (2003)	Recto femoral	35	5	+35% RMS
Cardinale y Lim (2003)	Vasto lateral	30	10 (pico a pico)	+34% RMS
Verschuere et al (2004)	Cuádriceps Gastrocnemio	35	¿	+17,2 % RMS
		35	¿	+170% RMS

Tabla 1. Estudios que han registrado el efecto de la aplicación de vibraciones en la señal EMG con respecto a niveles basales (Bosco) o respecto a la misma posición sin aplicar vibración (RMS= root mean square). Los estudios de Delecluse et al (2003) y Verschuere et al (2004) presentan datos de caso único.

Un comentario aparte requiere el estudio realizado por Warman et al debido a que emplearon una estimulación vibratoria diferente. En este caso se empleó un pistón accionado por un motor que se unía al muslo mediante unas tiras de velcro para transmitir una vibración de $50,42 \pm 1,16$ Hz y $13,24 \pm 0,18$ m/s². Se comparó la actividad EMG durante la realización de acciones isométricas, isocinéticas o dinámicas encontrándose, como puede observarse en la tabla 1, una mayor activación para las acciones dinámicas. Los autores sugieren que la aplicación de vibraciones debería realizarse de manera concurrente a una acción muscular dinámica¹⁰³.

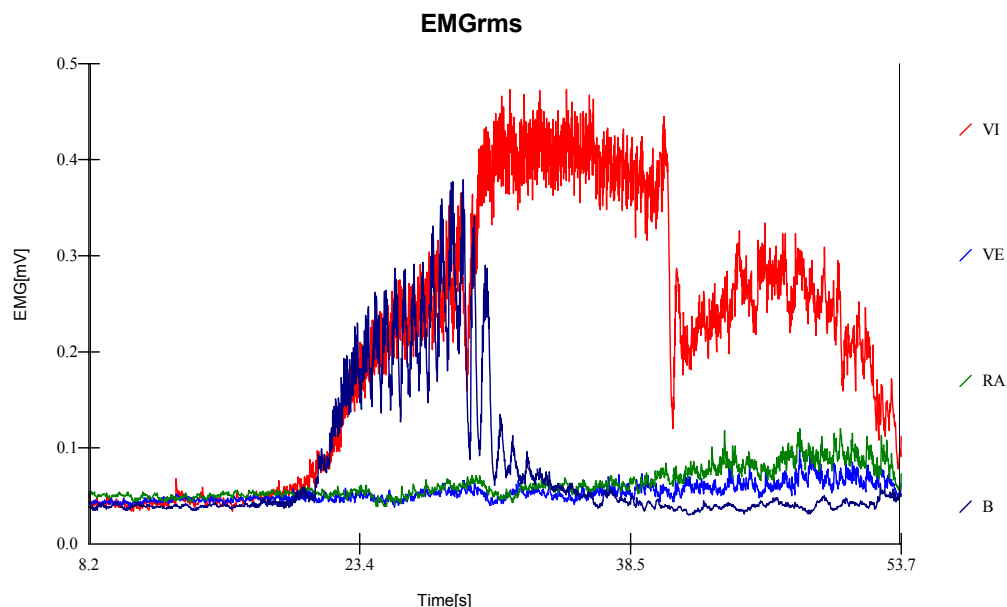


Figura 3. Evolución de la señal EMG como consecuencia del aumento progresivo (1Hz/seg) de la frecuencia de vibración. La actividad EMG comienza a subir de manera significativa a los 20 Hz. Puede observarse cómo para el vasto interno (en rojo) se alcanza la máxima actividad entre 30 y 35 Hz. Si embargo, el gemelo interno (en azul) alcanza su máximo a frecuencias inferiores (25-30 Hz). La posición mantenida sobre la plataforma es similar a la expuesta en la figura 1.

2) La excitabilidad de las motoneuronas que inervan los músculos antagonistas queda deprimida vía inhibición recíproca^{25,39}. Esto quiere decir que si se somete a vibración al

gastrocnemio se producirá una inhibición recíproca de las motoneuronas del tibial anterior y viceversa. Sin embargo, en estudios más recientes se encuentra que la vibración produce una mayor coactivación agonista-antagonista tanto durante^{86,7} como después³³ de ser aplicada, lo que podría tener un efecto positivo en la estabilización activa de la articulación⁷.

3) *Los reflejos monosinápticos del músculo sometido a vibración quedan suprimidos durante su aplicación*^{25,61}. Por ejemplo, al someter al músculo gastrocnemio a vibración desaparece el reflejo del tendón de Aquiles al ser golpeado o el reflejo H como respuesta a la estimulación eléctrica del nervio poplíteo. Sin embargo, ambos reflejos reaparecen una vez terminada la aplicación de vibración². No obstante, varios autores encuentran que el reflejo H queda alterado durante varios minutos.

Nishihira et al investigaron la evolución del reflejo H y la respuesta M antes y después de mantener una contracción isométrica sobre una plataforma Galileo (movimiento horizontal) durante 3 series de 3 minutos. La relación H/M se emplea como un índice de eficacia de la transmisión entre las fibras la y la-alfa motoneurona. Encontraron un aumento de la relación H/M después de la vibración. Los autores sugieren como explicación que las fibras la aferentes se excitan como consecuencia del estímulo vibratorio y que este hecho, unido a la contracción isométrica voluntaria, aumenta la excitación del pool de alfa motoneuronas⁷¹.

Rittweger et al encontraron un mantenimiento o incluso aumento de la amplitud del reflejo de estiramiento patelar como consecuencia de haber realizado sentadillas hasta la extenuación (duración de 349 ± 230 s) sobre una plataforma vibratoria (26 Hz; 12 mm) con una sobrecarga extra en las caderas del 40% del peso corporal. Sin embargo, cuando se realizó el mismo ejercicio sin vibración añadida (duración de 515 ± 338 s), el reflejo disminuyó como es habitual después de la realización de un ejercicio exigente. Los autores sugieren que la causa de que el reflejo de estiramiento presente este comportamiento como consecuencia de la estimulación vibratoria podría residir en que ésta aumenta la excitabilidad central motora particularmente en las unidades motoras más rápidas⁸⁰.

3.1.1.1. Influencia aguda en la fuerza máxima dinámica, en la potencia y el salto vertical.

Bosco et al, sometieron a 12 boxeadores de élite a 5 series de 60 segs (1' desc.) de vibraciones con una mancuerna (modelo Galileo 2000; Novotec, Pforzheim, Alemania) a una frecuencia de 30 Hz. y una amplitud de 6 mm. Según los autores, este entrenamiento era similar a un mes de entrenamiento realizando 50 repeticiones, 3 sesiones por semana, con una carga del 5% del peso corporal. Como consecuencia de esta única sesión de entrenamiento se encontró un aumento de la potencia de los flexores del codo sometidos a vibración además de un aumento de la señal EMGrms normalizada durante el tratamiento. Aunque en este estudio se empleó como control la extremidad contraria, falta por saber si el aumento de la potencia

registrado se mantuvo en los días posteriores, ya que dicho aumento pudo deberse a un mayor calentamiento y circulación en la zona y no a una adaptación neural⁹.

El mismo grupo de autores realizó un estudio similar con 6 jugadoras de voleibol altamente entrenadas que fueron sometidas a 10 series de 60 segs con 1 min de descanso (parámetros: plataforma de vibración horizontal Galileo a 26 Hz y 10mm, manteniendo una flexión de rodillas a 100°), empleando también una extremidad como control de forma que sólo una pierna es sometida a vibración. Tras la sesión, se encontró un aumento de la fuerza, velocidad y potencia medias en el ejercicio de prensa de piernas con 70, 90, 110 y 130 kgs en la pierna sometida a vibración¹¹. Según los autores, este entrenamiento de sólo 10 minutos, equivale a un estímulo de entrenamiento consistente en realizar 150 repeticiones en el ejercicio de prensa de piernas o de media sentadilla con una carga de 3 veces el peso corporal dos veces por semana durante 5 semanas. Sin embargo, los autores no aportan los datos que les ha permitido establecer esta sorprendente equivalencia.

Similares protocolos de trabajo fueron empleados en un posterior estudio (10 series de 60 segundos con 1 min de descanso entre cada serie y 6 min de descanso después de las 5 primeras series) a 14 jóvenes deportistas de equipo (volumen de trabajo habitual: 3 sesiones de entrenamiento semanal) aunque en esta ocasión se empleó una plataforma de vibración vertical (NEMES) con una frecuencia de 26 Hz y una amplitud de 4 mm. Se detectó un aumento, después de ser sometidos a vibración, en el salto con contramovimiento y en la potencia aplicada en la prensa de piernas con una carga equivalente al 70% de 1RM. Por otro lado, se redujo la amplitud de la señal EMGrms, lo que según los autores indica una mejora en la eficiencia neuromuscular, al requerirse una menor actividad muscular para aplicar incluso una mayor potencia mecánica¹³.

Lieberman e Issurin comprobaron el efecto de levantar una carga del 60%, 70%, 90% y 100% de 1RM realizando una flexión dinámica de codo con o sin la aplicación de una vibración (44 Hz y 0,6-3 mm). Para ello estudiaron a 41 deportistas de diferentes niveles (Olímpico, Nacional, Junior y Amateur), encontrando un aumento de la 1RM y una disminución de la percepción subjetiva del esfuerzo cuando se realizó el ejercicio con la aplicación de vibraciones. Además, en el grupo de mayor nivel (8 deportistas olímpicos) los efectos fueron superiores⁵⁴. Varios años más tarde, el mismo grupo de investigadores, con igual metodología, reportaron resultados similares, encontrando mejoras en la potencia máxima de un 10,4% (élite) y un 7,9% (amateur) al levantar una carga de un 65-70% de 1RM con vibración añadida con respecto al mismo ejercicio sin vibración⁴¹.

3.1.2. Sistema cardiovascular

En cuanto a los efectos agudos que provoca este método, Rittweger et al encontraron, después de la aplicación de vibraciones con una frecuencia de 26 Hz y una amplitud de 10,5

mm (con una sobrecarga en la cintura del 40% del peso corporal en hombres y 35% en mujeres), los cambios expuestos en la tabla 2⁷⁶:

Parámetro	Línea de base	Fatiga	Recup (15 min)
Tiempo (s)	0	325 (125)	
Lactato (mM/l)	1,69 (0,5)	3,5 (1,6)	
FC (b/m)	98 (17)	128 (22)	95 (19)
Presión sistólica (mmHg)	114(11)	132 (16)	109 (11)
Presión diastólica (mmHg)	68 (8)	52 (14)	69 (7)
VO ₂ (ml/kg/min)	7,3 (1,5)	21,3 (4,0)	
Cociente respiratorio	0,82 (0,05)	0,90 (0,08)	

Tabla 2. Cambios provocados en diferentes parámetros como consecuencia de la realización de flexo-extensiones de rodilla hasta la fatiga (con sobrecarga del 40% del peso corporal) sobre una plataforma vibratoria (Rittweger et al, 2000).

El ejercicio que realizaron los 40 sujetos participantes consistió en, después de mantenerse de pie durante 30 segundos, realizar sentadillas, flexionando las rodillas en ciclos de 6 segundos (3 segundos de subida y 3 de bajada) lo más suavemente posible.

Por otro lado, en 14 sujetos trasplantados de corazón (56±11 años) se registraron los cambios expuestos en la tabla 2. El ejercicio realizado sobre la plataforma vibratoria (26 Hz; 3 mm) demostró ser un método adecuado y seguro para la rehabilitación y mejora funcional de este tipo de sujetos²³.

Parámetro	Línea de base	Fatiga	Recup (3 min)	Recup (5 min)
Tiempo (s)	0	248		
Lactato (mM/l)	1,2 (0,3)*	2,0 (1,5)*	2,3 (0,8)*	2,1 (0,7)*
FC (b/m)	98 (10)	121 (20)*	107 (15)	104 (14)
Presión sistólica (mmHg)	136 (17)	158 (23)*	139 (15)	139 (15)
Presión diastólica (mmHg)	90 (13)	93 (16)	93 (13)	91 (13)

Tabla 3. Cambios provocados en diferentes parámetros en sujetos trasplantados de corazón como consecuencia de la realización de flexo-extensiones de rodilla hasta la fatiga sobre una plataforma vibratoria (Crevenna et al, 2003)

En el estudio de Rittweger et al⁷⁶, se registró la aparición de edemas y eritemas en la zona de la pantorrilla, sobre todo después en la primera sesión y particularmente en las mujeres. Sin embargo, Crevenna et al²³ no observaron estos efectos, probablemente por la diferente amplitud de vibración empleada así como por la ausencia de sobrecarga externa añadida. No obstante, la percepción subjetiva del esfuerzo (Escala de Borg) fue igual a 18 en ambos estudios. También Russo et al corroboraron la aparición de eritemas en mujeres posmenopáusicas aunque siempre de manera transitoria, moderada y no perturbadora⁹¹.

Más recientemente, se ha investigado el efecto que provoca la aplicación de diferentes frecuencias y amplitudes de vibración así como distintas sobrecargas externas en el consumo

de oxígeno. De esta manera, se encontró un aumento lineal del VO_2 con respecto al aumento de la frecuencia de vibración (18/26/34 Hz). Así, cada ciclo de vibración provocaba un aumento de 2,5 $\mu\text{l} / \text{kg}$ (manteniendo la amplitud a 5 mm). Al variar la amplitud de la vibración de 2,5 a 5 y 7,5 mm, el VO_2 aumentaba más que proporcionalmente. Por último, la colocación de una sobrecarga en la cadera correspondiente a un 40% del peso corporal provocó un aumento del VO_2 que fue aún mayor cuando la carga se situó en los hombros. Los autores concluyen en que la potencia metabólica puede ser controlada paramétricamente mediante la frecuencia y amplitud de vibración así como con la colocación de sobrecargas externas⁷⁷.

Anteriormente se ha comentado la aparición de un edema en determinados sujetos como consecuencia de la aplicación de vibraciones. Incluso en el campo de la medicina del trabajo se acepta que las vibraciones de alta frecuencia provocadas por distintos utensilios industriales reducen el flujo sanguíneo pudiendo ocasionar lo que se conoce como *dedo blanco inducido por vibración*^{14,16,15}. Sin embargo, Kerschman-Schindl et al⁴⁵ encontraron un aumento del flujo sanguíneo y ensanchamiento de capilares, después de aplicar vibraciones, lo que provocaba una mejora de la circulación periférica. Además, los autores sugieren la posible existencia de un efecto tixotrópico, de forma que la viscosidad de la sangre se ve reducida y de esta manera la velocidad media del flujo sanguíneo aumenta. Los parámetros empleados fueron 26hz, 3mm y 9 min de vibración en sentido horizontal, lejos de las altas frecuencias (superiores a 80 Hz) soportadas durante largos periodos a las que se ven sometidas los trabajadores, lo cual explica la diferencia en los resultados encontrados. Este aumento del flujo sanguíneo también fue encontrado por Rittweger et al⁷⁶ empleando parámetros de vibración similares y por Nakamura et al empleando un vibrador en la mano con unos parámetros de 120 Hz y 50 m/s^2 en el eje x⁶⁸. También Zhang et al encontraron un aumento de un 20% en el flujo sanguíneo del músculo tibial anterior como consecuencia de la aplicación de vibraciones al pie (aceleración=16-46 m/s^2)¹⁰⁶. Como aplicación práctica, este aumento del flujo sanguíneo tras ser sometido a vibraciones, podría facilitar la eliminación del lactato después de realizar un esfuerzo intenso. Sin embargo, en nuestro conocimiento, no se han publicado trabajos al respecto.

3.1.3. Sistema endocrino

Uno de los estudios que más sorpresa ha causado en los últimos años es el de Bosco et al¹³ indicando la respuesta hormonal como posible causa de las mejoras tan espectaculares en cuanto a fuerza explosiva encontradas en la mayoría de estudios. Estos autores encontraron un aumento de la hormona del crecimiento (GH) de más de un 400% con respecto a los niveles basales. Además la concentración de testosterona (T) aumentó significativamente y la de cortisol (C) disminuyó, por lo que podría establecerse un entorno idóneo para el anabolismo, al aumentar el ratio T/C. Los citados grandes aumentos en la concentración de GH también se producen de manera similar o superior después de realizar un trabajo intenso con sobrecargas aunque con una duración del estímulo muy superior. Nindl et al encontraron después de realizar 6 series de 10 RM (con dos minutos de descanso) en el ejercicio de sentadilla, unos

aumentos de 1,47 a 25 ng/l (hombres) y de 4 a 25,4 ng/l (mujeres)⁷⁰. Lo mismo ocurre con la testosterona, como observó Kraemer en sus numerosos estudios sobre el tema^{49,50,51}. Sin embargo, es la disminución de la concentración de cortisol la que más dudas plantea, haciéndose necesaria la realización de más estudios sobre la respuesta hormonal a la aplicación de vibraciones.

Mccall et al fueron los primeros en encontrar en humanos que la activación de las vías aferentes de los husos musculares como consecuencia de la vibración modulaba las concentraciones plasmáticas de hormona del crecimiento bioensayable (BGH). Esta hormona es sintetizada por la glándula pituitaria, constituyendo un factor de crecimiento que estimula la formación ósea⁶⁵. Aunque comparte con la clásica GH un origen pituitario y su efecto sobre el crecimiento óseo, la regulación de la BGH parece ser diferente a la de la GH³⁷. En el estudio de McCall et al se aplicó directamente al tibial anterior un estímulo vibratorio (100 Hz y 1,5 mm de amplitud) de una duración de 10 min. Inmediatamente después del estímulo se registró un aumento del 94% en la concentración plasmática de BGH en el tibial anterior y un descenso de un 22% en el sóleo. Esto podría indicar que existe una regulación diferenciada en la liberación de BGH en estos dos músculos con predominio de fibra lenta que podría estar relacionada con su antagónica función flexora o extensora. Los autores concluyen en la evidencia indirecta de un eje músculoaferente-pituitario que modula la liberación de BGH de manera específica al músculo sometido a vibración. Estos hallazgos tienen aplicación para los viajes al espacio, ya que se ha observado cómo en microgravedad o en encamamiento queda alterada la liberación de BGH inducida por el ejercicio^{64,63}.

Recientemente, Di Loreto et al han realizado un ensayo controlado sobre el efecto de 25 min de estímulo vibratorio (30 Hz) en el sistema endocrino de 10 varones sanos. Encontraron una ligera reducción de la glucosa plasmática y un aumento de las concentraciones plasmáticas de norepinefrina, pero no se registraron cambios en las concentraciones circulantes de otras hormonas. Esto indica que se aumenta la utilización de glucosa por parte de la musculatura activa²⁸.

3.1.4. Sistema sensorial, propioceptivo y control postural

Es conocida la función de los mecanorreceptores en la capacidad de discriminar sensaciones. Por ejemplo, la piel de la palma de la mano posee 4 tipos de receptores: dos de adaptación rápida (FAI y FAII) y dos de adaptación lenta (SAI y SAII). Todos son sensibles a la aplicación de un estímulo vibratorio en mayor o menor medida. Así, los FAI son más sensibles a vibraciones entre 30 y 40 Hz y los FAII entre 60 y 100 Hz; por otro lado, los SAI y SAII presentan una respuesta similar pero en este caso con frecuencias inferiores a los 15 Hz⁹⁶. Se ha de tener en cuenta que la exposición prolongada a vibraciones puede alterar el rendimiento de estos receptores disminuyendo el rendimiento de los procesos perceptivos y sensorimotrices⁷⁴.

Parece ser que las vibraciones tienen capacidad para estimular la propiocepción y provocar efectos duraderos sobre la postura en adultos sanos^{104,72}. Además, recientemente se ha encontrado una mejora aguda del control postural y propioceptivo en sujetos que habían padecido infartos como consecuencia de la realización de 4 reps de 45 seg con 1 min de pausa (30 Hz; 3 mm)¹⁰⁰

Por otro lado, Gianutsos et al, de la Universidad de Nueva York, han descrito la posibilidad de provocar el reflejo de permanecer en pie inducido por las vibraciones en sujetos con lesiones en la médula espinal^{36,34,35}. De este modo, las vibraciones parecen constituir un método prometedor en la rehabilitación de sujetos con disfunción motriz de origen medular.

3.2. EFECTOS CRÓNICOS

Los mecanismos de acción de este método a corto, medio y largo plazo han sido relativamente poco investigados hasta la fecha, aunque muy recientemente se han publicado varios trabajos al respecto.

3.2.1. Adultos sanos

A corto plazo (9-10 días de entrenamiento) existen trabajos que han encontrado mejoras significativas en la potencia y el salto vertical¹⁰ y otros que no han encontrado significación estadística en las mejoras de salto o ninguna mejora en diferentes tests de velocidad y agilidad²².

Torvinen et al, estudiaron los efectos de 4 meses de entrenamiento con un protocolo de 4 sers de 60", alternando distintos movimientos. La frecuencia de estimulación osciló entre 25 y 40 Hz y la amplitud de 2 mm. Después del periodo de entrenamiento se registró un aumento de un 8,5% en CMJ y un 3,5% en la fuerza isométrica. Sin embargo, no se constató una mejora del equilibrio postural, lo cual podría estar condicionado por la amplitud de vibración empleada (2 mm en lugar de 4 mm). No obstante, el escaso tiempo de estimulación por sesión (sólo 4 min) podría ser la causa de unas mejoras tan escasas en comparación con otros estudios⁹⁷.

Por otro lado, el primer estudio comparado con un entrenamiento de fuerza clásico (10-20RM) es el realizado por Delecluse et al. El programa incluyó los parámetros de vibración que observamos en la tabla 4.

Parámetros	Inicio	Final
<i>Volumen</i>		
Duración total de la vibración en una sesión (min)	3	20
Series por ejercicio	1	3
Ejercicios diferentes para extensores de piernas	2	6
Mayor duración de la vibración sin descanso (s)	30	60
<i>Intensidad</i>		

Intervalo de descanso entre ejercicios (s)	60	5
Amplitud de la vibración (mm)	2,5	5
Frecuencia de la vibración (Hz)	35	40

Tabla 4. Parámetros del programa de vibraciones al comienzo y al final del mismo (Delecluse et al²⁷)

Después de 12 semanas de entrenamiento la fuerza del tren inferior aumento en igual medida que el programa de entrenamiento clásico, y sólo en el grupo que entrenó con vibraciones aumentó el salto con contramovimiento en un 7,6%. En este estudio se empleó además como novedad un grupo placebo que era sometido a una vibración ineficaz; este grupo no obtuvo mejoras de ningún tipo. De este modo se descarta la posible eficacia de realizar ejercicio sobre la plataforma sin ponerla en funcionamiento²⁷.

Rønnestad comparó los efectos de la realización de sentadillas sobre una plataforma vibratoria (40 hz; 4 mm) con respecto a la realización de sentadillas convencionales. Ambos grupos entrenaron empleando el mismo porcentaje de 1RM. Después de cinco semanas de entrenamiento con las características expuestas en la tabla 5 se encontraron mejoras significativas en el test de CMJ sólo en el grupo sometido a vibración. Por otro lado, ambos grupos obtuvieron mejoras significativas en el test de 1RM. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las mejoras de rendimiento de cada grupo, aunque sí una tendencia a la significación estadística⁸⁵.

Semana	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3
1	3x10	3x10	4x10
2	4x10	4x8	
3	4x8	3x8	4x8
4	3x8	4x6	
5	4x6	3x6	4x6

Tabla 5. Parámetros de entrenamiento para los grupos de entrenamiento con y sin vibración⁸⁵

3.2.2. Adultos lesionados (rehabilitación)

Desafortunadamente, no se han localizado estudios que hayan comprobado el efecto de la estimulación vibratoria en deportistas lesionados en su periodo de rehabilitación. En los últimos años hemos realizado aplicaciones clínicas de caso único como la que se muestra en la figura 4 y 5, donde una estudiante operada de rodilla (que había seguido un plan de rehabilitación clásico sin obtener resultados positivos) logró mejorar su fuerza y potencia además de reducir su déficit unilateral, después de sólo 12 sesiones de entrenamiento con vibraciones mecánicas (30-35 Hz; 4 mm; progresión de series de 30 a 60 seg -5 a 10 min totales de exposición- con 3 min de descanso entre series).

Pese a tratarse de un estudio de caso único se pueden extraer datos interesantes de cara la aplicación de las vibraciones en el campo de la rehabilitación postoperatoria. Como ya

se constató en anteriores experiencias que no fueron valoradas objetivamente, el tiempo de recuperación de una lesión después de realizar un periodo de entrenamiento mediante este método disminuye de manera dramática. En este caso la persona en cuestión había seguido anteriormente otro tipo de métodos para rehabilitar su rodilla y no había conseguido volver a su estado pre-operatorio. Como puede observarse en la figura 5, la recuperación del déficit de fuerza unilateral fue completa, pasándose de un 91% a un 3%. Por otro lado, la paciente en cuestión pudo volver a realizar su profesión habitual (profesora de aeróbic) sin molestias en las rodilla operada.

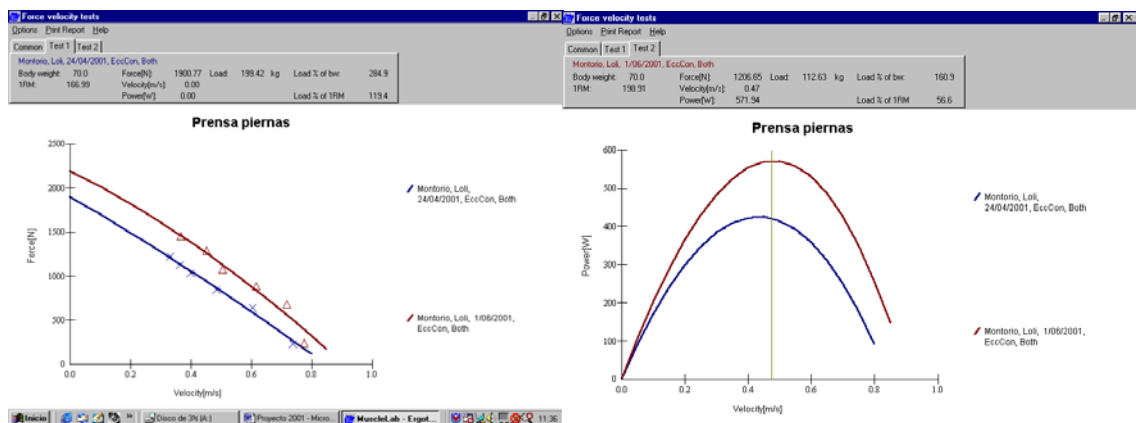
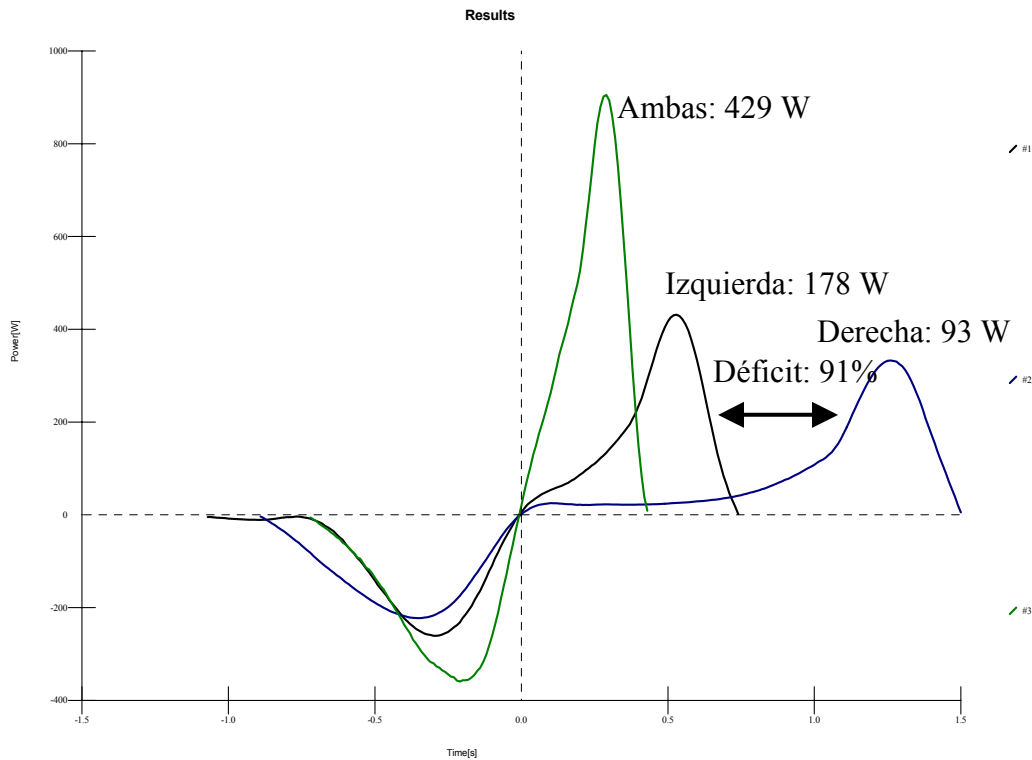


Figura 4. Efectos de la aplicación de vibraciones mecánicas en la mejoras de la curva de fuerza-velocidad y de la potencia en un sujeto operado de rodilla (Tous, 2001; datos sin publicar)



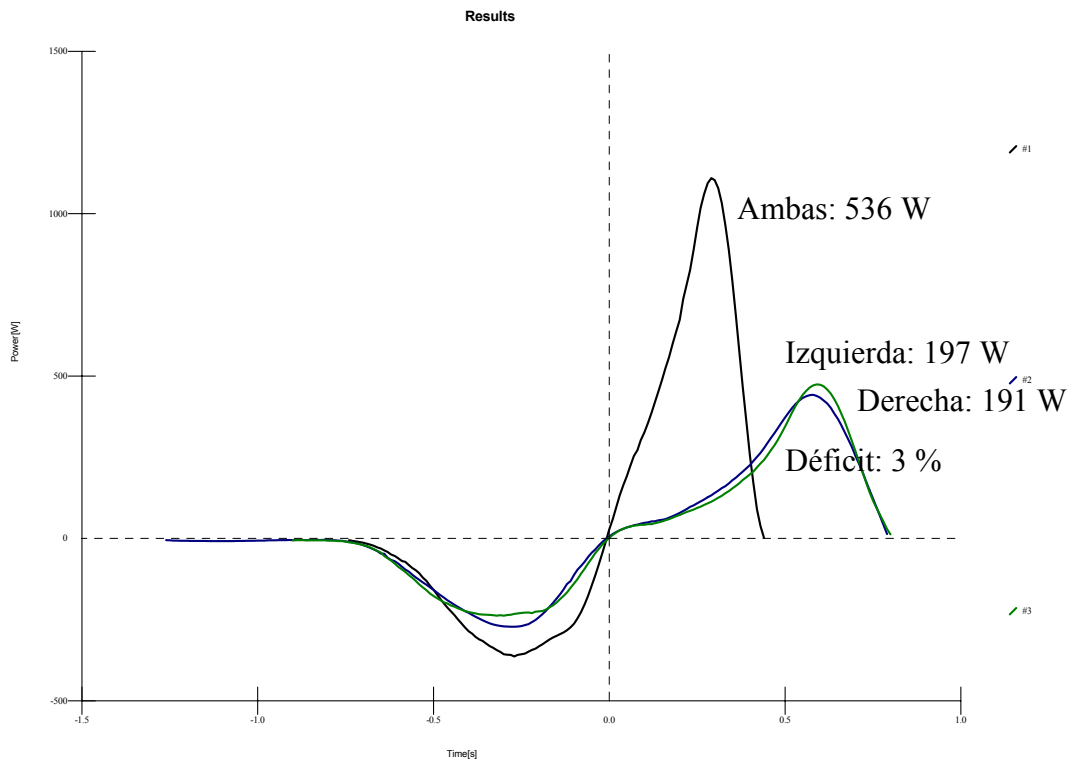


Figura 5. Efectos de la aplicación de vibraciones mecánicas en la reducción del déficit unilateral en un sujeto operado de rodilla (derecha) después de 12 sesiones de entrenamiento. La gráfica de arriba refleja una curva de potencia-tiempo con los resultados del primer test al movilizar una carga cercana al peso corporal (60 kgs); puede observarse la gran diferencia de potencia aplicada entre ambas piernas. La gráfica de abajo indica la restitución del déficit a valores normales (Tous, 2001; datos sin publicar)

Otra experiencia que pudimos controlar fue un entrenamiento por medio de vibraciones mecánicas en un jugador profesional de baloncesto que padecía una condropatía rotuliana y como consecuencia fuertes dolores en la articulación de la rodilla que le impedían ejercitarse al máximo. Los resultados fueron altamente satisfactorios tanto objetiva como subjetivamente (percepción del jugador sobre el estado de su articulación).

Peso (kgs)	% Mejora izda	%Mejora dcha	%Mejora ambas
20	23,04	35,72	34,86
40	48,74	58,51	45,90
60	28,12	16,49	37,87
80	-4,81	7,98	11,25
90	23,04	34,46	15,77

Tabla 6. Mejoras en un test de potencia en prensa 45° con diferentes cargas para cada pierna y para las dos piernas (Tous, 2001; datos sin publicar).

En la tabla 6 pueden observarse las mejoras después de 12 sesiones de entrenamiento (4 semanas) empleando un volumen de 10 minutos de trabajo sobre la plataforma con 3 minutos de descanso entre serie.

Pese a tratarse de una persona altamente entrenada, se pudo constatar también las mejoras que provoca la aplicación de vibraciones mecánicas. Se ha de tener en cuenta que el sujeto no realizó durante el periodo de tiempo investigado ningún otro tipo de ejercicio con el objeto de desarrollar la fuerza muscular. Se encontraron mayores mejoras en la zona de cargas ligeras que en la de cargas pesadas, lo cual concuerda con anteriores experiencias realizadas en deportistas altamente entrenados. Sin embargo, durante la realización del test posentrenamiento con la carga de 80 kgs el sujeto probablemente no se esforzó al máximo; de ahí que se observara un descenso en la potencia media desarrollada.

3.2.3. Adultos entrenados

En sujetos entrenados existen muy pocos trabajos que empleen diseños de investigación controlados. Issurin et al⁴⁰ son los primeros en presentar en publicaciones indexadas un estudio con deportistas con una cierta experiencia en entrenamiento. Dividieron a 24 varones practicantes de diferentes deportes en tres grupos: (a) ejercicios convencionales de fuerza para los brazos y ejercicios de flexibilidad con estimulación vibratoria para las piernas; (b) ejercicios con estimulación vibratoria para los brazos y ejercicios de flexibilidad para las piernas; (c) grupo control, entrenamiento irrelevante. Las vibraciones fueron aplicadas mediante un sistema especial de cables unidos a una polea con cargas que recibía vibración por medio de un motor. Los parámetros empleados fueron 44 Hz y 3 mm con una frecuencia de 3 sesiones semanales y una duración por sesión de 20-23 min. Después de 3 semanas de entrenamiento, se encontró una mejora de la 1RM en tracción en banco sentado de un 49% en el grupo (b) sometido a vibraciones, por un 16% en el grupo convencional (a) y ningún cambio en el grupo control (c). En cuanto a las ganancias de flexibilidad, fueron equivalentes a un 43,6% en (a), un 19,2 % en (b) y un 5,8 en el grupo control (c).

Un sistema que también empleaba cables transmisores de vibración fue empleado por Becerra y Becker⁵ en nadadores bien entrenados. La muestra (n=23) fue dividida en 4 grupos: (a) vibración (20-24 Hz; 4 mm) añadida a la movilización de una carga equivalente al 50-60% de la fuerza máxima isométrica a una velocidad angular de 180°/s en la articulación del hombro (empleo de banco isocinético). 2 min de trabajo, 2 minutos de pausa, con incremento de 2 repeticiones de sesión a sesión. 3 sesiones semanales para un total de 7 sesiones; (b) mismo trabajo sin vibración añadida; (c) vibración añadida a la movilización de una carga equivalente al 90-95% de la fuerza máxima isométrica a una velocidad angular de 30°/s. 30 seg de trabajo seguidos de 90 seg de recuperación, con incremento de repeticiones de 10 a 14; (d) mismo trabajo que (c) pero sin vibración añadida. Un resumen de los resultados obtenidos puede consultarse en la tabla 7.

Grupo	Fmax (%)	Fexp (%)	50 m (%)	100 m (%)	200 m (%)	400 m (%)	800 m (%)
A	-6,6	13,9	-0,89	-2,5	-1,38	-1,88	-4,5
B	-6,1	37,6	0,0	-1,9	-1,4	0,0	1,3
C	19,2	20,6	-5,1	-5,4		-1,8	0,1
D	13,6	6,9	-5,1	-3,6		-0,2	-2,1

Tabla 7. Resultados obtenidos en los diferentes tests generales y específicos empleados. Fexp: índice de fuerza explosiva⁵

La presentación de resultados en este estudio es bastante confusa por lo que los resultados han de ser interpretados con cautela hasta que otros autores puedan repetir la investigación. Sin embargo, es el único estudio que ha comprobado la influencia de la estimulación vibratoria en la mejora del rendimiento en un deporte, de ahí su interés. En este caso se encuentran mejoras en los tiempos empleados para nadar diferentes distancias, aunque dichas mejoras no alcanzan la significación estadística. Desafortunadamente, algunos datos presentados en las tablas no se corresponden con los presentados en gráficos o en el texto por lo que se hace difícil la valoración de la investigación.

Bosco et al sometieron a un plan de entrenamiento por medio de WBV a futbolistas profesionales durante la fase de pretemporada (n= 17; 21-34 años). Se realizó 1 mes de entrenamiento (5 sesiones semanales) con 5 sers de 60" con 60" de pausa; SQ 90°; 30 Hz; 5 mm (3,6g; equivale a DJ60). Se encontró un aumento significativo en CMJ, RJ15, RJ5 y test "seat and reach" (12 cms de mejora). Sin embargo, este estudio no incluyó grupo control por lo que las mejoras pudieron deberse a otros factores no relacionados con la aplicación de vibraciones¹².

Por otro lado, Berschin et al compararon en jugadores de rugby profesionales un programa de entrenamiento mediante WBV (5 series x 3' con 2-3' de pausa; 20 Hz; 3 mm; sobrecarga sobre la espalda creciente cada semana hasta llegar al 70% de 1RM) con respecto a un programa de entrenamiento de fuerza clásico (5 x 12 reps al 70% levantado explosivo con 2' de pausa entre serie). El grupo sometido a vibraciones mejoró más en todas las pruebas empleadas que el grupo convencional. Este fue el primer estudio en incluir un test de agilidad (cambios de dirección) en las pruebas de valoración funcional. Además los sujetos refirieron una mayor capacidad de aceleración, movilidad lateral y una mayor estabilidad en las acciones de juego⁶.

Cronin et al²⁴ investigaron el efecto de 10 días de entrenamiento por medio de vibraciones mecánicas (26 Hz; 5,2 mm; programa progresivo de 5 ejercicios con duración de entre 90 y 120 seg y 40 seg de pausa) en 15 bailarines experimentados. Los sujetos fueron divididos de manera aleatoria en tres grupos: (a) vibraciones; (b) mismos ejercicios sin vibraciones; (c) control (sólo entrenamiento de danza habitual). Los resultados obtenidos pueden consultarse en la tabla 7.

Parámetro	Cambio (%)	Diferencia (%)	Beneficioso (%)	Trivial (%)	Perjudicial (%)
CMJ (cm)	Vib 2,7 Nvib 1,3 Con -0,4	- 1,4 3,1	34 51	53 43	13 6
DJ (cm)	Vib 3,9 Nvib -4,8 Con -2,1	- 8,7 6,0	81 89	14 11	0 3
CR	Vib 7,8 Nvib -6,9 Con -3,5	- 14,0 11,3	92 89	6 9	2 3

Tabla 8. Porcentajes de cambios producidos en los tres grupos investigados entre los niveles iniciales y después de 10 días. En las tres últimas columnas se incluye la probabilidad de que ese porcentaje de cambio sea clínicamente beneficioso, trivial o perjudicial²⁴

Como puede observarse en la tabla 8, los efectos más claros se produjeron en la mejora del ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) rápido, medido mediante el test DJ (*Drop Jump*) y el cálculo del CR (coeficiente de reactividad = altura de salto/ tiempo de contacto). Así, existe un 89 % de probabilidad de que el programa de vibraciones empleado sea beneficioso para mejorar estos dos parámetros citados.

Durante el verano del 2001 realizamos una experiencia novedosa al combinar la preparación para los campeonatos internacionales de voley-playa femenino con un entrenamiento por medio de vibraciones mecánicas. Participaron 9 jugadoras integrantes de la selección española de voley-playa ($25,4 \pm 2,7$ años de edad; $173,04 \pm 5,1$ m de altura; $65,7 \pm 7,3$ kgs de peso corporal). La duración del entrenamiento fue de 24 días, con un total de 11 sesiones, 10 series de 1 min con 3 min de recuperación, una frecuencia de estimulación de 30 Hz y una amplitud de 4 mm.

Se realizaron antes y después del periodo de entrenamiento tests de sobrecarga progresiva en media sentadilla para estimar la potencia mecánica desarrollada en cada carga. Los sujetos, durante el periodo de tiempo estudiado continuaron con su entrenamiento técnico-táctico y físico, añadiendo la aplicación de vibraciones. Desafortunadamente, no se pudo incluir un grupo control debido a las características excepcionales de la muestra que se encontraba en un periodo de preparación para una competición internacional. En la tabla 9 se muestran los resultados correspondientes a los porcentajes de mejora obtenidos después de las 11 sesiones de entrenamiento.

% de mejora								
Sujeto	20 kgs	30 kgs	40 kgs	50 kgs	60 kgs	70 kgs	80 kgs	90 kgs
1	9,6	0	-2,5	-0,5	2,7	-2,6	0,6	4
2	-7,1	-2,98	-1,35	-3,8	-5,9	3,5	-3,2	8,4
3	10	15,9	-7,5	-8,6	-0,5	-4,6	0,9	-0,6
4	27	6,8	-13,5	22,7	1,4	4,8	13	4,7
5	7,7	7,5	1,06	-0,46	2,5	6,4	6,4	2,47
6	0,6	-9,5	7,4	7,9	1,5	8,1	-0,85	
7	-9,3	1,4	-0,7	1,8	5	2,6	5,7	
8	7,1	-4,5	-2,4	8,1				
9	-	-	-4,5	-	-	-	-	-
promedio	5,7	4,96	-2,67	3,39	0,96	5,08	3,22	3,79
D.S.	11,4	12	5,76	9,59	3,45	4,64	5,51	3,28
t	0,1	0,3	0,48	0,19	0,27	0,15	0,08	0,02*

Tabla 9. Porcentajes de mejora en la potencia mecánica media desarrollada para diferentes cargas en el ejercicio de media sentadilla obtenidos después de 11 sesiones en jugadoras internacionales de voley playa (Moras y Tous, 2001; datos sin publicar).

En esta experiencia nos encontramos con una situación real de entrenamiento donde se combina todo tipo de trabajo condicional con un trabajo técnico-táctico de una magnitud de carga elevada. Sin embargo, esto constituye un gran problema a la hora de investigar los efectos de la aplicación de vibraciones; ya que no se puede diferenciar los efectos de las vibraciones de los del resto de entrenamientos. De esta manera, se observa en el estudio una gran variabilidad en el rendimiento de las diferentes deportistas que puede deberse al diferente nivel de entrenamiento con que llegaron a la concentración. Aunque se producen mejoras en la potencia media desarrollada para todas las cargas (excepto para 40 ks), sólo son estadísticamente significativas para la carga mayor (90 kgs) No obstante, las mayores mejoras se encuentran en la zona de 20 kgs (no significativas) tal y como habíamos observado en anteriores experiencias. Sin embargo, el resultado más importante para este tipo de muestra y situación fue la no aparición de lesiones durante este periodo intenso de preparación para una competición internacional.

Como aplicación más importante se puede extraer que es posible combinar un periodo de entrenamiento intenso con la aplicación de vibraciones mecánicas sin que por ello se vea disminuida la potencia aplicada en un test de media sentadilla ni aumente el índice de lesiones.

3.2.3. Tercera edad

También en la tercera edad se han realizado aplicaciones de este método. Runge et al⁹⁰ encontraron un aumento significativo promedio de un 18% en el test de levantarse de la silla, después de 2 meses de entrenamiento (3 días por semana; 3 series de 2 minutos) en un grupo mixto de sujetos de 67 años de media. El test de levantarse de la silla consiste en elevarse 5 veces de una silla tan rápido como sea posible sin emplear los brazos de ayuda, por lo tanto es un indicador de la potencia del tren inferior (trabajo realizado por unidad de tiempo) Los autores

indican su larga experiencia con el método de entrenamiento como tratamiento en una clínica geriátrica y la exclusión de pacientes con lesiones agudas de la columna y extremidades inferiores así como en la trombosis y urolitiasis aguda.

Iwamoto et al comprobaron la eficacia de un programa de entrenamiento en la competencia ambulatoria de 25 mujeres de $72,8 \pm 7,0$ años de edad. El programa de entrenamiento incluía una sesión semanal de vibraciones (4 minutos a 20 Hz; 0,7-4,2 mm) combinada con ejercicios diarios de equilibrio estático (*flamencos*) y de fuerza (10 sentadillas con el propio peso corporal). Después de 3 meses de entrenamiento se observó una mejora significativa en los siguientes tests: longitud de paso, máximo momento extensor de la rodilla, máximo tiempo mantenido sobre una pierna. Por otro lado, no se observaron efectos adversos como fracturas vertebrales y problemas cardiovasculares. Desafortunadamente en este estudio no se pudo separar la posible eficacia de la estimulación vibratoria con respecto a los otros dos modelos de entrenamiento. Además, la no inclusión de un grupo control limita las inferencias que pudiera realizarse al resto de población⁴².

También Miyamoto et al. encontraron una mejora del equilibrio después de 6 meses de entrenamiento en una muestra de 20 sujetos de una media de 72,6 años de edad, por lo que sugieren su aplicación como prevención de las caídas. Se ha de tener en cuenta que más del 90% de fracturas de cadera se produce como consecuencia de caídas⁹⁰. Además, el 80% de sujetos mayores de 80 años sufren al menos una caída al año³.

Russo et al⁹¹ investigaron el efecto de 6 meses de entrenamiento por medio de vibraciones mecánicas (28 Hz; amplitud variable) en 14 mujeres posmenopáusicas ($60,7 \pm 6,1$ años de edad) con respecto a 15 mujeres de similares características ($61,40 \pm 7,3$ años de edad) incluidas en un grupo control. El grupo de entrenamiento realizó 2 sesiones semanales (promedio de 32 sesiones y 200 minutos de exposición totales) que incluían 3 series de 2 minutos de trabajo con 1 minuto de recuperación. Después de los 6 meses de intervención, el grupo que realizó el entrenamiento mejoró un 5% su potencia, siendo esta mejora significativa con respecto al grupo control que incluso disminuyó con respecto a sus niveles iniciales. Sin embargo, la fuerza muscular no se vio afectada como consecuencia del entrenamiento. Desafortunadamente, el método administrado para evaluar la fuerza y la potencia en este estudio deja bastante que desear ya que se empleó un salto vertical sobre una plataforma de fuerzas para obtener los citados parámetros.

Roelants et al⁸¹ han reportado mejoras en la fuerza muscular y velocidad de movimiento de los extensores de la rodilla así como en la capacidad de salto de mujeres posmenopáusicas (58-74 años de edad) después de 24 semanas de entrenamiento en una plataforma vibratoria. Las mejoras fueron similares a las de otro grupo que realizó un entrenamiento de fuerza convencional y se produjeron fundamentalmente en las primeras doce semanas.

Parámetros	Inicio	Semana 12	Semana 24
<i>Volumen</i>			
Duración total de la vibración en una sesión (min)	3	20	30
Series por ejercicio	1	3	3
Ejercicios diferentes para extensores de piernas	2	6	9
Mayor duración de la vibración sin descanso (s)	30	60	60
<i>Intensidad</i>			
Intervalo de descanso entre ejercicios (s)	60	5	5
Amplitud de la vibración (mm)	2,5	5	5
Frecuencia de la vibración (Hz)	35	40	40
Resultados salto			
<i>Salto (CMJ)</i>			
Grupo control	-	ns	ns
Grupo WBV	-	+16%*	ns
Grupo Entrenamiento Fuerza Clásico	-	+12,1%*	ns

Tabla 10. Parámetros del programa de vibraciones al comienzo y al final del mismo⁸²

3.2.4. Tejido óseo

Por otro lado, una de las aplicaciones más prometedoras de este método es la prevención y rehabilitación de osteoporosis. El equipo de Clinton Rubin de la Universidad Estatal de Nueva York, es el que mayores aportaciones ha realizado en este campo. En una serie de interesantes estudios encontraron que las vibraciones de alta frecuencia y baja magnitud provocan un efecto anabólico en el tejido óseo de ovejas⁸⁹ y ratas^{32,44}. Más recientemente se han publicado los mismos efectos en mujeres posmenopáusicas^{101,88} y en niños discapacitados¹⁰². Parece que estas poblaciones tienen mayor capacidad de beneficiarse que población joven y sana como la empleada por Torvinen et al⁹⁸ que no encontraron ninguna adaptación ósea después de 8 meses de entrenamiento. Bien es cierto que Russo et al⁹¹ tampoco encontraron mejoras en la densidad ósea después de 6 meses de entrenamiento en mujeres posmenopáusicas aunque al igual que Torvinen et al., el volumen de trabajo por sesión fue muy escaso (6 y 4 minutos respectivamente con respecto a 2 sesiones de 10 min diarias en el trabajo de Rubin et al. y 30 min por sesión en el trabajo de Verschueren et al.).

La frecuencia y amplitud de vibración parece tener gran importancia en la proliferación de osteoblastos en cultivo, habiéndose encontrado que éstos son más sensibles a vibraciones de baja amplitud y frecuencia amplia (de 0 a 50 Hz)⁹⁴. Esta respuesta osteogénica a la carga mecánica parece ser aumentada si se emplea el fenómeno de resonancia estocástica. Para conseguir este efecto se ha añadir ejercicio dinámico a la aplicación de vibraciones⁹³. Estos dos estudios han sido realizados con cultivos o con ratas. En humanos, el grupo de Rubin promueve el uso de vibraciones en torno a los 30 Hz pero con una amplitud muy pequeña que resulta en una aceleración de sólo 0,3 g. En cambio, en el trabajo de Verschueren et al¹⁰¹, se emplean frecuencias similares (35-40 Hz) pero amplitudes entre 1,7 y 2,5 mm, para resultar en aceleraciones muy superiores de 2,28-5,09 g. Ambos estudios obtuvieron mejoras significativas

por lo que se hace necesario realizar más estudios para conocer la posible especificidad de la respuesta osteogénica a la amplitud y frecuencia de vibración.

Otro modelo de investigación es el empleado por Rittweger y Felsenger para prevenir la pérdida de masa ósea en sujetos que permanecieron encamados durante 8 semanas. El grupo de entrenamiento recibió vibraciones mecánicas en posición supina (19-23 Hz), a razón de 4 series de 1 minuto, 2 veces al día, 6 días a la semana. Después del entrenamiento la pérdida de masa ósea no fue significativa pero sí diferente a la pérdida obtenida en el grupo control .

3.2.5. Tejido cartilaginoso

El tejido cartilaginoso, al contrario que otros tejidos conectivos, no posee vasos sanguíneos o terminaciones nerviosas propias. Por esta razón, la regeneración del mismo ante una lesión es sumamente dificultosa requiriendo de una neovascularización e inervación de la zona. Para evitar degradarse, este tejido necesita recibir cargas dinámicas mecánicas externas⁵⁶. En nuestro conocimiento no se han publicado estudios que hayan comprobado la posible adaptación del tejido cartilaginoso ante un estímulo vibratorio como el que puede provocarse con una plataforma disponible comercialmente. Sin embargo, se han realizado estudios con cultivos de condrocitos articulares de conejo cuyos resultados son muy prometedores. De este modo, Liu et al⁵⁶ encontraron que una vibración de 300 Hz y 1,4 g provocaba un aumento considerable de la síntesis de ADN en dichos condrocitos así como un aumento en la síntesis de proteoglicanos. Sin embargo, frecuencias de 200 Hz y 400 Hz provocaban un efecto contrario.

Esta es una de las líneas de trabajo donde más se ha de investigar para comprobar si en sujetos con osteoartritis se producen mejoras significativas como consecuencia de la aplicación de estímulos vibratorios.

3.2.6. Efectos perjudiciales

La aplicación prolongada de altas frecuencias de vibración ha demostrado ser nociva en otros aspectos. Así, Necking et al⁶⁹ aplicaron vibraciones a ratas a una frecuencia de 80Hz durante 5 horas diarias y 5 días consecutivos, encontrando como respuesta una degeneración fibrilar en distintos músculos⁶⁹. También Bovenzi et al encontraron que aquellos trabajadores que empleaban la sierra mecánica tenían una menor fuerza de prensión con la mano que los que no la utilizaban¹⁷. En estudios epidemiológicos se ha descrito la aparición de los primeros síntomas del síndrome por vibración después de una exposición de 2000 horas (2-8 horas diarias) a herramientas de mano vibradoras⁶⁷. Por otro lado, la aplicación prolongada de bajas frecuencias ha demostrado guardar una relación con el *low back pain*^{55,16}. Sin embargo, un trabajo reciente del grupo de Rittweger ha encontrado todo lo contrario en una muestra de 50 sujetos de $51,7 \pm 5,8$ años y un historial médico de LBP crónico de $13,1 \pm 10,0$ años. Los

sujetos participantes realizaron 18 sesiones de entrenamiento durante 12 semanas, de forma que durante las primeras 6 semanas se realizaban 2 sesiones y durante las segundas sólo una sesión semanal. La amplitud de la vibración tuvo su máximo en 6mm y la frecuencia se estableció en 18 Hz; por otra parte la duración del ejercicio fue incrementándose hasta alcanzar un máximo de 7 min. A partir de la 10ª sesión se añadió una sobrecarga en los hombros de hasta un 30% del peso corporal. Después del periodo de entrenamiento se encontró una reducción de la percepción de dolor similar a la de otro grupo que entrenó con máquinas MedX y un aumento del momento flexor lumbar que en este caso fue menor que el del grupo MedX. De esta manera se concluye que la aplicación controlada de vibraciones mecánicas puede ser la cura y no la causa del LBP⁷⁹.

4. Conclusiones

La aplicación de vibraciones mecánicas al organismo humano parece representar un intenso estímulo para las diferentes estructuras que lo componen. Mientras la exposición crónica a estas vibraciones parece ser perjudicial, el empleo de vibraciones con frecuencias de entre 25 y 40 Hz y amplitudes entre 2 y 10 mm aplicadas en sesiones de una duración total inferior a lo 30 minutos ha demostrado provocar efectos beneficiosos en diferentes parámetros de rendimiento físico. De esta manera, se ven aumentadas vía refleja las respuestas musculares y propioceptivas, lo que provoca mejoras a medio y largo plazo en los niveles de potencia, fuerza y equilibrio postural en diferentes poblaciones. Asimismo, diversos tejidos que requieren de impactos mecánicos para regular su metabolismo, como es el caso del óseo y del cartilaginoso, han demostrado adaptarse positivamente a la estimulación vibratoria. Resta por comprobar la posible adaptación positiva de tejidos elásticos (fascias, ligamentos, tendones) a la vibración, por la incidencia que tendría la misma en la mejora de la economía del movimiento.

La respuesta a las vibraciones parece ser bastante específica al individuo y a los parámetros (frecuencia, amplitud y duración) de estimulación empleados. El conocimiento de estos parámetros es sumamente importante a la hora de analizar los diferentes estudios y los resultados obtenidos, ya que en muchas ocasiones se han empleado vibraciones totalmente diferentes a las que aplica una plataforma disponible comercialmente. Por esta razón se hace necesaria la realización de estudios adicionales a largo plazo de cara a conocer la dosis óptima para cada individuo y si podrían llegar a provocar los efectos perjudiciales descritos ampliamente en medicina ocupacional.

Referencias

1. **Abbruzzese, G., Hagbarth, K.E., Homma, I., and Wallin, U.** Excitation from skin receptors contributing to the tonic vibration reflex in man. *Brain Research* 1978;150:194–197.
2. **Arcangel, C.S., Johnston, R., and Bishop, B.** The Achilles tendon reflex and the H-response during and after tendon vibration. *Physical Therapy* 1971;51:889-902.
3. **Armstrong, A.L. and Wallace, W.A.** The epidemiology of hip fractures and methods of prevention. *Acta Orthopaedica Belgica* 1994;60:85-101.
4. **Barry, D.T. and Cole, N.M.** Fluid mechanics of muscle vibrations. *Biophysical Journal* 1988;53:899-905.
5. **Becerra, J. and Becker, R.** Die wirksamkeit der biomechanischen stimulation (BMS) in verbindung mit traditionellen methoden der kraftausdaurentwicklung im schwimmsport. *Leistungssport* 2001;31:29-34.
6. **Berschin, G., Schmiedeberg, I., and Sommer, H.-M.** Zum einsantz von vibrationkrafttraining als spezifisches schneñnkrafttrainingsmittel in sportspielen. *Leistungssport* 2003;33:11-13.
7. **Berschin, G. and Sommer, H.** Vibrationskrafttraining und Gelenkstabilität: EMG-Untersuchungen zur Wirkung von Vibrationsfrequenz und Körperhaltung auf Muskelaktivierung und -koaktivierung. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin* 2004;55:152-56.
8. **Bishop, B.** Vibratory stimulation:1. Neurophysiology of motor responses evoked by vibratory stimulation. *Physical Therapy* 1974;54:1273-82.
9. **Bosco, C., Cardinale, M., and Tsarpela, O.** Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;79:306-11.
10. **Bosco, C., Cardinale, M., Tsarpela, O., Colli, R., Tihany, J., Von Duvillard, S.P., and Viru, A.** The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biology of Sport* 1998;15:157-64.
11. **Bosco, C., Colli, R., Introini, E., Cardinale, M., Tsarpela, O., Madella, A., Tihanyi, J., and Viru, A.** Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology* 1999; 19:183-7.

12. **Bosco, C., Dellisanti, F., Fucci, A., Tsarpela, O., Annino, G., Foti, C., Giombini, A., and D'Ottavio, S.** Effetto della vibrazione su forza esplosiva, resistenza alla forza veloce e flessibilità muscolare. *Medicina dello Sport* 2001;54:287-93.
13. **Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., Viru, M., De Lorenzo, A., and Viru, A.** Hormonal responses to whole-body vibration in men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 2000;81:449-54.
14. **Bovenzi, M., Barbone, F., Pisa, F.E., Betta, A., and Romeo, L.** Scleroderma and occupational exposure to hand-transmitted vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 2001;74:579-82.
15. **Bovenzi, M. and Griffin, M.J.** Haemodynamic changes in ipsilateral and contralateral fingers caused by acute exposures to hand transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine* 1997;54:566-76.
16. **Bovenzi, M. and Hulshof, C.T.** An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1999;72:351-65.
17. **Bovenzi, M., Zadini, A., Franzinelli, A., and Borgogni, F.** Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration. *Ergonomics* 1991;34:547-62.
18. **Cardinale, M. and Lim, J.** Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 2003;17:621-4.
19. **Cardinale, M. and Pope, M.H.** The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiologica Hungarica* 2003;90:195-206.
20. **Cederlund, R., Nordenskiöld, U., and Lundborg, G.** Hand-arm vibration exposure influences performance of daily activities. *Disability and Rehabilitation* 2001;23:570-577.
21. **Chen, J.C., Chang, W.R., Shih, T.S., Chen, C.J., Chang, W.P., Dennerlein, J.T., Ryan, L.M., and Christiani, D.C.** Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. *Ergonomics* 2003;46:1075-90.
22. **Cochrane, D.J., Legg, S.J., and Hooker, M.J.** The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *J Strength Cond Res* 2004;18:828-32.

23. **Crevenna, R., Fialka-Moser, V., Rödler, S., Keilani, M., Zöch, C., Nuhr, M., Quittan, M., and Wolzt, M.** Safety of whole-body vibration exercise for heart transplant recipients . *Phys Med Rehab Kuror* 2003;13:1-5.

24. **Cronin, J., McLaren, A., and Bressel, E.** The effects of whole body vibration on jump performance in dancers. *Journal of Human Movement Studies* 2004;47:237-51.

25. **De Gail, P., Lance, W.P., and Neilson, P.D.** Differential effects on tonic and phasic reflex mechanics produced by vibration of muscles in man. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 1966;29:1-11.

26. **de Oliveira, C.G., Simpson, D.M., and Nadal, J.** Lumbar back muscle activity of helicopter pilots and whole-body vibration. *Journal of Biomechanics* 2001;34:1309-15.

27. **Delecluse, C., Roelants, M., and Verschueren, S.** Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2003;35:1033-41.

28. **Di Loreto, C., Ranchelli, A., Lucidi, P., Murdolo, G., Parlanti, N., De Cicco, A., Tsarpela, O., Annino, G., Bosco, C., Santeusano, F., Bolli, G.B., and De Feo, P.** Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men. *Journal of Endocrinological Investigation* 2004 ;27:323-7.

29. **Eklund, G. and Hagbarth, K.E.** Motor effects of vibratory muscle stimuli in man . *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1965;19:619.

30. **Eklund, G. and Hagbarth, K.E.** Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Experimental Neurology* 1966;16:80-92.

31. **Fairley, T.E. and Griffin, M.J.** The apparent mass of the seated human body: vertical vibration. *Journal of Biomechanics* 1989 ;22:81-94.

32. **Flieger, J., Karachalios, T., Khaldi, L., Raptou, P., and Lyritis, G.** Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcified Tissue International* 1998;63:510-4.

33. **Gabriel, D.A., Basford, J.R., and An, K.-N.** Vibratory facilitation of strength in fatigued muscle. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2002;83:1202-5.

34. **Gianutsos, JG., Ahn, JH., Richter, EF., Heath-Gyorok, S., and Grynbaum, BB.** The effects of whole body vibration on reflex-induced standing in persons with chronic and acute spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2001;81:129.
35. **Gianutsos, JG., Oakes, LC., Siasoco, V., Appelblatt, S., Hamel, J., and Gold, JT.** Motor rehabilitation of spinal cord dysfunction by means of whole body vibration. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2001;82:p222.
36. **Gianutsos, JG., Vainrib, AF., Weissbart, S., Ragucci, M., Hutchinson, M., and Ahn, JH.** Long-Term Potentiation as a Possible Mechanism for Vibration-Induced Reflex Standing 8 Years After SCI. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2004;85:E50.
37. **Gosselink, K.L., Roy, R.R., Zhong, H., Grindeland, R.E., Bigbee, A.J., and Edgerton, V.R.** Vibration-induced activation of muscle afferents modulates bioassayable growth hormone release. *Journal of Applied Physiology* 2004;96:2097-102.
38. **Griffin, M.J.,** Vibration and motion . In **Salvendy, G.** (Ed.) *Handbook of human factors and vibration*. John Wiley and Sons, New York 1997, pp 829-857.
39. **Hagbarth, K.E.** EMG studies of stretch reflex in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1967;Suppl 25:74-79.
40. **Issurin, V.B., Liebermann, D.G., and Tenenbaum, G.** Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *Journal of Sports Sciences* 1994;12:561-6.
41. **Issurin, V.B. and Tenenbaum, G.** Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences* 1999;17 :177-82.
42. **Iwamoto, J., Otaka, Y., Kudo, K., Takeda, T., Uzawa, M., and Hirabayashi, K.** Efficacy of training program for ambulatory competence in elderly women. *Keio Journal of Medicine* 2004;53:85-89.
43. **Johnston, R.M., Bishop, B., and Coffey, G.H.** Mechanical vibration of skeletal muscles. *Physical Therapy* 1970;50:499-505.
44. **Judex, S., Donahue, L.R., and Rubin, C.** Genetic predisposition to low bone mass is paralleled by an enhanced sensitivity to signals anabolic to the skeleton. *FASEB Journal* 2002;16:1280-2.

45. **Kerschman-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V., and Imhof, H.** Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology* 2001;21:377-82.
46. **Kitazaki, S. and Griffin, M.J.** Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture. *Journal of Biomechanics* 1998;31.
47. **Kossev, A., Siggelkow, S., Kapels, H., Dengler, R., and Rollnik, J.D.** Crossed effects of muscle vibration on motor-evoked potentials. *Clinical Neurophysiology* 2001;112:453-6.
48. **Kossev, A., Siggelkow, S., Schubert, M., Wohlfarth, K., and Dengler, R.** Muscle vibration: different effects on transcranial magnetic and electrical stimulation. *Muscle and Nerve* 1999;22:946-8.
49. **Kraemer, W.J., Fry, A.C., Warren, B.J., Stone, M.H., Fleck, S.J., Kearney, J.T., Conroy, B.P., Maresh, C.M., Weseman, C.A., Triplett, N.T., and et al.** Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *International Journal of Sports Medicine* 1992;13:103-9.
50. **Kraemer, W.J., Gordon, S.E., Fleck, S.J., Marchitelli, L.J., Mello, R., Dziados, J.E., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C., and Fry, A.C.** Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine* 1991;12:228-35.
51. **Kraemer, W.J., Marchitelli, L., Gordon, S.E., Harman, E., Dziados, J.E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D., and Fleck, S.J.** Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology* 1990;69:1442-50.
52. **Kumar, A., Varghese, M., Mohan, D., Mahajan, P., Gulati, P., and Kale, S.** Effect of whole-body vibration on the low back. A study of tractor-driving farmers in North India. *Spine* 1999;24:2506-15.
53. **Kumar, S.** Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied Ergonomics* 2004;35:509-20.
54. **Lieberman, DG. and Issurin, V.** Effort perception during isotonic muscle contractions with superimposed mechanical vibratory stimulation. *Journal of Human Movement Studies* 1997;32:171-86.
55. **Lings, S. and Leboeuf-Yde, C.** Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and*

56. **Liu, J., Sekiya, I., Asai, K., Tada, T., Kato, T., and Matsui, N.** Biosynthetic response of cultured articular chondrocytes to mechanical vibration. *Research in Experimental Medicine* 2001;200:183-93.
57. **Lundeberg, T.M.C.** Vibratory stimulation for the alleviation of chronic pain. *Acta Physiologica Scandinavica* 1984;Suppl. 523:1-51.
58. **Lundström, R., Holmlund, P., and Lindberg, L.** Absorption of energy during vertical whole-body vibration exposure. *Journal of Biomechanics* 1998;31:317-26.
59. **Mansfield, N.J. and Griffin, M.J.** Non-linearities in apparent mass and transmissibility during exposure to whole-body vertical vibration. *Journal of Biomechanics* 2000;33:933-41.
60. **Mao, C.C., McGill, K.C., and Dorfman, L.J.** Muscle vibration facilitates orderly recruitment of motor units. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 1990;30:245-52.
61. **Marsden, C.E., Meadows, J.C., and Hodgson, H.J.F.** Observations of the reflex response to muscle vibration in man and its voluntary control. *Brain* 1969;92:829-46.
62. **McBride, J.M., Schuenke, M., and Porcari, J.** Vibration alters pattern of muscle activity during fatiguing resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2003;35:S294.
63. **McCall, G.E., Goulet, C., Grindeland, R.E., Hodgson, J.A., Bigbee, A.J., and Edgerton, V.R.** Bed rest suppresses bioassayable growth hormone release in response to muscle activity. *Journal of Applied Physiology* 1997;83:2086-90.
64. **McCall, G.E., Goulet, C., Roy, R.R., Grindeland, R.E., Boorman, G.I., Bigbee, A.J., Hodgson, J.A., Greenisen, M.C., and Edgerton, V.R.** Spaceflight suppresses exercise-induced release of bioassayable growth hormone. *Journal of Applied Physiology* 1999;87 :1207-12.
65. **McCall, G.E., Grindeland, R.E., Roy, R.R., and Edgerton, V.R.** Muscle afferent activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *Journal of Applied Physiology* 2000;89:1137-41.
66. **Miyamoto, K. , Mori, S., Tsuji, S., Tanaka, S., Kawamoto, M., Mashiba, T., Komatsubara, S.,**

Akiyama, T., Kawanishi, J., and Norimatsu, H. Whole-body vibration exercise in the elderly people. *IBMS-JSBMR*. P506F. 2003.

67. **Miyashita, K., Shiomi, S., Itoh, N., Kasamatsu, T., and Iwata, H.** Epidemiological study of vibration syndrome in response to total hand-tool operating system. *British Journal of Industrial Medicine* 1983;40:92-98.
68. **Nakamura, H., Okazawa, T., Nagase, H., Yoshida, M., Ariizumi, M., and Okada, A.** Change in digital blood flow with simultaneous reduction in plasma endothelin induced by hand-arm vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1996;68:115-9.
69. **Necking, L.E., Lundstrom, R., Lundborg, G., Thornell, L.E., and Friden, J.** Skeletal muscle changes after short term vibration. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 1996;30:99-103.
70. **Nindl, B.C., Kraemer, W.J., and Hymer, W.C.** Immunofunctional vs immunoreactive growth hormone responses after resistance exercise in men and women. *Growth Hormone and IGF Research* 2000;10:99-103.
71. **Nishihira, Y., Iwasaki, T., Hatta, A., Wasaka, T., Kaneda, T., Kuroiwa, K., Akiyama, S., Kida, T., and Ryol, KS.** Effect of whole body vibration stimulus and voluntary contraction on motoneuron pool. *Advances in Exercise and Sport Physiology* 2002;8:83-86.
72. **Priplata, AA., Niemi, JB., Harry, JD., Lipsitz, LA., and Collins, JJ.** Vibration insoles and balance control in elderly people. *Lancet* 2003;362:1123-24.
73. **Randall, J.M., Matthews, R.T., and Stiles, M.A.** Resonant frequencies of standing humans. *Ergonomics* 1997;40.
74. **Ribot-Ciscar, E., Roll, JP., Tardy-Gervet, M.F., and Harday, F.** Alteration of human cutaneous afferent discharges as the result of long lasting vibration. *Journal of Applied Physiology* 1996;80:1708-15.
75. **Ribot-Ciscar, E., Rossi-Durand, C., and Roll, J.P.** Muscle spindle activity following muscle tendon vibration in man. *Neuroscience Letters* 1998;258:147-50.
76. **Rittweger, J., Beller, G., and Felsenberg, D.** Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology* 2000;20:134-42.

77. **Rittweger, J., Ehrig, J., Just, K., Mutschelknauss, M., Kirsch, K.A., and Felsenberg, D.** Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *International Journal of Sports Medicine* 2002;23 :428-32.
78. **Rittweger, J. and Felsenberg, D.** Resistive vibration exercise prevents bone loss during 8 weeks of strict bed rest in healthy male subjects: results from the Berlin BedRest (BBR) study. 26th Annual Meeting of The American Society of Bone and Mineral Research. Presentation 1145. 2004.
79. **Rittweger, J., Just, K., Kautzsch, K., Reeg, P., and Felsenberg, D.** Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. *Spine* 2002;27:1829-34.
80. **Rittweger, J., Mutschelknauss, M., and Felsenberg, D.** Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* 2003;23:81-6.
81. **Roelants, M., Delecluse, C., Goris, M., and Verschueren, S.** Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *International Journal of Sports Medicine* 2004;25:1-5.
82. **Roelants, M., Delecluse, C., and Verschueren, S.M.** Whole-Body-Vibration Training Increases Knee-Extension Strength and Speed of Movement in Older Women. *Journal of the American Geriatrics Society* 2004;52:901-8.
83. **Roll, J.P., Vedel, J.P., and Ribot, E.** Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study. *Experimental Brain Research* 1989;76:213-22.
84. **Romaiguere, P., Vedel, J.P., Azulay, J.P., and Pagni, S.** Diferential activation of motor units in the wrist extensor muscles during the tonic vibration re.ex in man . *Journal of Physiology* 1991;444:645-67.
85. **Rønnestad, B.R.** Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 2004;18:839-45.
86. **Rothmuller, C. and Cafarelli, E.** Effect of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue in humans. *Journal of Physiology* 1995;485:857-64.
87. **Roy, E.A., Hollins, M., and Maixner, W.** Reduction of TMD pain by high-frequency vibration:a spatial and temporal analysis. *Pain* 2003;101:267-74.

88. **Rubin, C., Recker, R., Cullen, D., Ryaby, J., McCabe, J., and McLeod, K.** Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *Journal of Bone and Mineral Research* 2004;19:343-51.
89. **Rubin, C., Turner, A.S., Bain, S., Mallinckrodt, C., and McLeod, K.** Anabolism. Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* 2001;412:603-4.
90. **Runge, M., Rehfeld, G., and Resnick, E.** Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskel Neuron Interact* 2000;1:61-65.
91. **Russo, C.R., Lauretani, F., Bandinelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Guralnik, J.M., and Ferrucci, L.** High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2003;84:1854-57.
92. **Siggelkow, S., Kossev, A., Schubert, M., Kappels, H.H., Wolf, W., and Dengler, R.** Modulation of motor evoked potentials by muscle vibration: the role of vibration frequency. *Muscle and Nerve* 1999;22:1544-8.
93. **Tanaka, SM., Alam, IM., and Turner, CH.** Stochastic resonance in osteogenic response to mechanical loading. *Faseb Journal* 2003;17:313-14.
94. **Tanaka, SM., Li, J., Duncan, RL., Yokota, H., Burr, DB., and Turner, CH.** Effects of broad frequency vibration on cultured osteoblasts. *Journal of Biomechanics* 2003;36:73-80.
95. **Thompson, C. and Belanger, M.** Effects of vibration in inline skating on the Hoffmann reflex, force, and proprioception. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002;34 :2037-44.
96. **Toma, S. and Nakajima, Y.** Response characteristics to cutaneous mechanoreceptors to vibratory stimuli in human glabrous skin. *Neuroscience Letters* 1995;195:61-63.
97. **Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T.A., Pasanen, M., Kontulainen, S., Jarvinen, T.L., Jarvinen, M., Oja, P., and Vuori, I.** Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002;34:1523-8.
98. **Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T.A., Pasanen, M., Kontulainen, S., Nenonen, A., Jarvinen, T.L., Paakkala, T., Jarvinen, M., and Vuori, I.** Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *Journal of Bone and Mineral Research* 2003;18:876-84.

99. **Troup, J.** Driver's back pain and its prevention: A review of postural, vibratory and muscular factors together with problem of transmitted road-shock. *Applied Ergonomics* 1978;9:207-14.
100. **van Nes, I.J., Geurts, A.C., Hendricks, H.T., and Duysens, J.** Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* 2004;83:867-73.
101. **Verschueren, S.M., Roelants, M., Delecluse, C., Swinnen, S., Vanderschueren, D., and Boonen, S.** Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *Journal of Bone and Mineral Research* 2004;19:352-9.
102. **Ward, K., Alsop, C., Caulton, J., Rubin, C., Adams, J., and Mughal, Z.** Low magnitude mechanical loading is osteogenic in children with disabilities conditions. *Journal of Bone and Mineral Research* 2004;19:360-9.
103. **Warman, G., Humphries, B., and Purton, P.** The effects of timing and application of vibration on muscular contractions. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 2002;73:119-27.
104. **Wierzbicka, M.M., Gilhodes, J.C., and Roll, J.P.** Vibration-induced postural posteffects. *Journal of Neurophysiology* 1998;79:143-50.
105. **Yue, Z. and Mester, J.** A Modal Analysis of Resonance during the Whole-Body Vibration. *Studies in Appl Math* 2004;112:293-314.
106. **Zhang, Q., Ericson, K., and Styf, J.** Blood flow in the tibialis anterior muscle by photoplethysmography during foot-transmitted vibration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 2003;90:464-9.