

Efectos del entrenamiento con vibraciones mecánicas sobre la 'performance' neuromuscular

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

Hace ya varias décadas que se estudian los efectos de las vibraciones sobre el organismo humano. En un principio se evaluaban estos efectos con respecto a patologías producidas por la exposición prolongada de tipo ocupacional. Sin embargo, se empezaron a hacer estudios sobre el posible beneficio de la aplicación de la vibración en deportistas y a la luz de los primeros hallazgos se concluyó que se producía una mejora en la flexibilidad. Fue el ruso Nazarov quien realizó esos primeros estudios con atletas, aplicando una vibración local. Poco a poco fueron surgiendo diversos estudios sobre la vibración local o aplicada a todo el cuerpo (WBV) pero en otras variables como son la fuerza, la potencia y la capacidad de salto. A pesar de que no hay un consenso en la aplicación de protocolos de entrenamiento y los resultados que se obtienen, el entrenamiento con WBV está en auge porque parece ofrecer unos resultados benéficos de manera más rápida que el entrenamiento convencional. El propósito del presente artículo es realizar una revisión bibliográfica sobre la evolución del entrenamiento de WBV con sus aplicaciones y efectos sobre la performance muscular.

Palabras clave

Vibración mecánica, Entrenamiento deportivo, Fuerza muscular, Potencia muscular.

Abstract

Effects of mechanical vibration training on neuromuscular performance

The effects of vibration upon the human organism are being studied since a few decades ago. In the beginning, such effects were studied regarding certain pathologies produced by the prolonged exposure of occupational type vibration. However, the possible benefits of the application of vibration to sports men started being studied, and it was concluded, from the first results, that there was an improvement in flexibility. The first studies were done with athletes by the Russian Nazarov, applying a local vibration. Afterwards, other studies were performed, either with local application of vibration or with whole body vibration (WBV), with other variables such as strength, power, and jump ability. Even though there is no consensus on the protocol application and the results obtained, the WBV training is gaining popularity since it seems to offer beneficial effects much quicker than conventional training. The purpose of the present study is to present a bibliographic review about the evolution of WBV training with its applications and effects on muscle performance.

Key words

Whole Body Vibration, Vibration Training, Muscle strength, Muscle power.

Introducción

En los últimos años han aparecido en las publicaciones científicas algunos artículos sobre experimentos realizados con un nuevo sistema de entrenamiento que utiliza vibraciones aplicadas a una parte o la totalidad del cuerpo. A finales de los noventa, en Alemania, Italia, Noruega y Estados Unidos, se diseñaron unos dispositivos que permitían transmitir vibraciones mecánicas a distintas partes del cuerpo humano. Algunos se aplicaban al tendón, otros a algún segmento corporal y otros a todo el cuerpo, este último método es el más utilizado y se denomina WBV (Whole Body Vibration).

Los instrumentos vibratorios permiten controlar la frecuencia, la amplitud y el tiempo de aplicación de las vibraciones. Los dispositivos más utilizados consisten en una plataforma vibratoria sobre la que se coloca el sujeto que efectúa el entrenamiento y un sistema computerizado de control. Estos dispositivos transmiten las vibraciones a todo el cuerpo (WBV).

El entrenamiento mediante aplicación de vibraciones (VT) provoca efectos similares al entrenamiento con ciclos de estiramiento-acortamiento de una forma mucho más controlada y garantizando la integridad del aparato locomotor.

Como efecto de la vibración, el tejido muscular se ve sometido a una modificación de su longitud en un período breve de tiempo, este rápido estiramiento favorece la estimulación del reflejo miotático. Al aplicar vibraciones de ciertas características, se activa el reflejo tónico vibratorio (RTV), que provoca la estimulación muscular por vía refleja. El RTV representa una sucesión de estímulos reflejos inducidos por la vibración.

Cuando se aplican vibraciones de cierta frecuencia y amplitud al cuerpo se observa un aumento de la actividad electromiográfica (EMG), inmediatamente después aparecen respuestas hormonales, y a largo plazo parece posible que se produzcan cambios estructurales, tanto en músculos como en tendones y huesos. El método produce un altísimo volumen de trabajo, no reproducible en otros sistemas. Como ejemplo diremos que 5 series de 30 segundos de vibración a 30 Hz producen 4500 contracciones. Algunos autores han considerado que es uno de los mayores avances en los medios de entrenamiento de la fuerza, la velocidad y la flexibilidad.

Las expectativas que el sistema ha generado se basan en la facilidad de uso y en la rapidez en la aparición de resultados, si a ello le añadimos que el tiempo necesario para efectuar una sesión de entrenamiento puede ser de diez minutos, efectuado tres días por semana, no resulta nada extraño que el sistema se empiece a utilizar en ámbitos tan variados como el entrenamiento deportivo, la medicina espacial, rehabilitación, fitness en empresas, medicina preventiva, etc.

El objetivo del presente estudio es realizar una revisión de la literatura disponible sobre WBV intentando ofrecer una visión global sobre su desarrollo, bases físicas, aplicaciones, beneficios y posibles riesgos en el ámbito de la *performance* neuromuscular.

Modelo mecánico de vibraciones aplicadas a todo el cuerpo (WBV)

El cuerpo humano está expuesto a vibraciones en muchos deportes como por ejemplo esquí alpino, bicicleta de montaña, skating, etc. (Griffin, 1994; Nigg *et al.*, 1997; Mester *et al.*, 2000; Yue y Mester, 2002), en algunas realizaciones de trabajo (Griffin, 1994) al igual que durante un viaje ya sea por carretera, ferrocarril o mar.

Las vibraciones pueden causar molestias, interferencias con las actividades y problemas de salud aunque también tienen el potencial de causar mejoras en ciertos entrenamientos de fuerza, normalmente realizados en pie;

es lo que se conoce en el entorno del deporte como entrenamiento con vibraciones de cuerpo entero (WBV-Whole Body Vibration).

Las respuestas humanas a las vibraciones conllevan tanto respuestas biomecánicas como fisiológicas. Los procesos de las respuestas biomecánicas implican complicaciones ya que el cuerpo consiste además de muchos segmentos de masas rígidas y oscilantes, siendo estas últimas todas las partes no rígidas del cuerpo como órganos internos fluidos, tejidos blandos y hasta músculos.

Se han diseñados varios modelos de muelle-amortiguación-masa para simular la transmisión de la vibración de cuerpo entero (Roberts *et al.*, 1966; Von Gierke, 1971; Sandover, 1971; King, 1975; Cole, 1978; Ghista, 1982).

En el caso de WBV el estímulo mecánico se aplica en los pies del sujeto situado sobre la plataforma vibratoria. Las oscilaciones producidas se transmiten por todo el cuerpo siendo amortiguadas en cada articulación. Los sistemas viscoelásticos que se encuentran en cada articulación provocan una atenuación de la señal mecánica conforme nos alejamos del foco generador (plataforma) de tal manera que la parte más alejada, la cabeza, recibe una señal especialmente débil ya que ésta ha sido atenuada primero en los tobillos y a continuación en las rodillas, caderas y columna.

El movimiento oscilatorio produce aceleraciones en la dirección vertical del orden de $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (7,24 veces la aceleración de la gravedad) a nivel del apoyo utilizando una frecuencia de 30 Hz con una amplitud de 4 mm. La aceleración quedará más atenuada si los segmentos inferiores se hallan en semi-flexión. En este caso con cada oscilación se produce un estiramiento a nivel de los músculos y tendones implicados. Estos se comportan como un sistema formado por un resorte y un amortiguador. Si se desea transmitir mayor nivel de vibración a la parte superior de la pierna simplemente deben apoyarse los talones sobre la plataforma eliminando la acción amortiguadora de los tobillos.

La atenuación del nivel de vibración en la parte superior del cuerpo disminuye el riesgo de que algún órgano pueda entrar en resonancia. La frecuencia de resonancia de las distintas partes del cuerpo sometidas a vibraciones verticales se encuentran por debajo de los 10 Hz excepto en los ojos que tienen entre 20 y 25 Hz de frecuencia de resonancia (Yue *et al.*, 2001). Con el objetivo de evitar los problemas de resonancias, la mayoría de las máquinas de vibración no permiten el uso de frecuencias que puedan representar un riesgo para la salud (*Fig. 1*).

Efectos del VT sobre la flexibilidad

Las primeras observaciones sobre los efectos de la aplicación de vibraciones mecánicas a todo el cuerpo como método de entrenamiento, se centraron en los efectos sobre el sistema neuromuscular. Fue Nazarov, citado por Künnemeyer y Schmidtbleicher (1997), quien observó que el ejercicio de estiramiento junto con vibraciones producía una mejora en la flexibilidad mayor que el ejercicio de estiramiento por sí solo. A raíz de esta observación se hipotetizaron dos mecanismos posibles de la WBV para aumentar la flexibilidad: cambio en el umbral de dolor, y estimulación de los órganos tendinosos de Golgi (inhibición de la contracción) (Issurin *et ál.*, 1994). Sin embargo, algunos investigadores (Magnusson *et ál.*, 1998 y 2000; Halbertsma *et ál.*, 1999) postulan que el primer mecanismo es el más probable debido a que se produce un cambio en la percepción del estiramiento del músculo; por tanto, parece que los cambios en los detectores de longitud (husos musculares) influirían en la percepción del movimiento.

En un estudio realizado con mujeres sedentarias, midiendo la flexibilidad con el test “seat and reach”, los autores observaron el efecto inducido por la WBV sobre este parámetro usando 2 frecuencias distintas. Se usaron una frecuencia de 20 Hz y otra de 40 (amplitud de 4 mm), observándose que la de 20 Hz producía una mejora mientras que la de 40 no sólo no producía mejora sino que disminuía la flexibilidad (Cardinale y Lim, 2003).

Efectos del VT sobre el sistema neuromuscular

A pesar de que casi todos los artículos citados anteriormente tratan sobre la mejora en la flexibilidad, la mayoría de los artículos publicados posteriormente basan sus investigaciones en los efectos sobre la fuerza y activación neural medida por EMG.

Bosco y colaboradores en 1998 estudiaron 2 grupos de sujetos activos practicantes de balonmano, con el fin de estudiar los efectos de las WBV. Tras 10 días de aplicación de vibraciones con una duración de 10 minutos por día se observaron cambios significativos en la potencia de salto (CMJ) y en saltos reactivos continuos en 5 segundos (CJ5) (Fig. 2).

Un año más tarde Bosco y colaboradores publican dos estudios en los que postulan que el efecto de las WBV es también inmediato después de 1 sola sesión (el denominado efecto agudo) (Bosco *et ál.*, 1999a y 1999b).

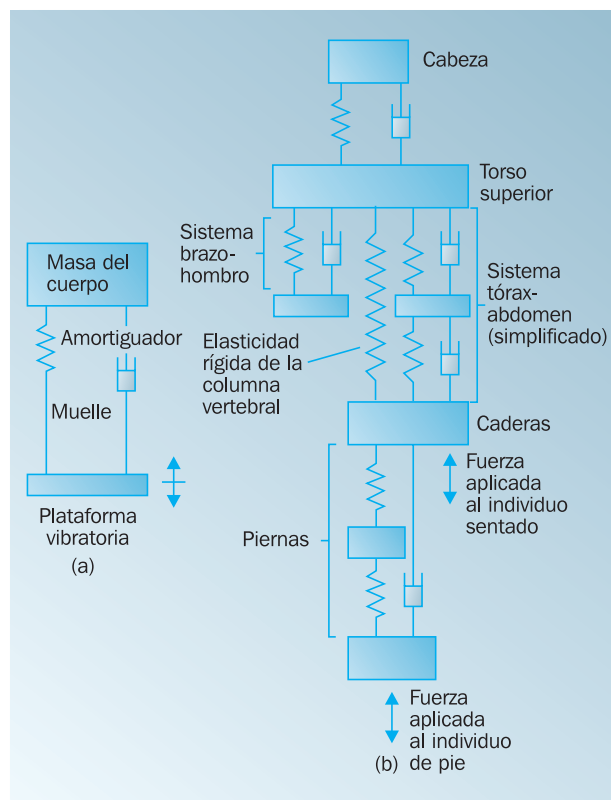


Figura 1
Modelo de simulación del sistema de amortiguación.

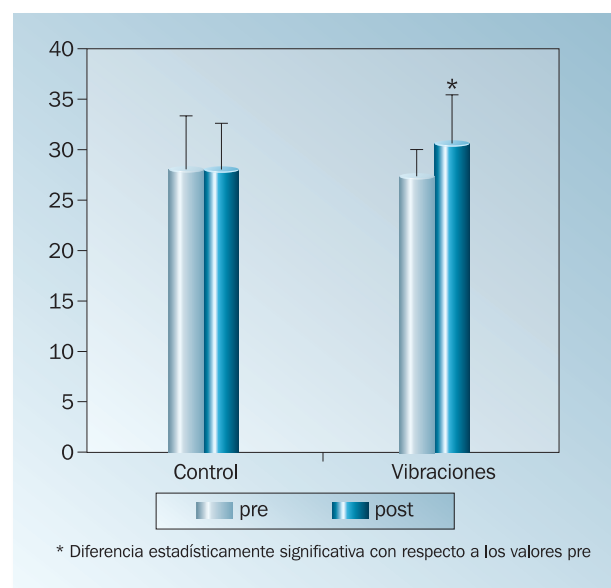


Figura 2
Comparación, entre grupo control y experimental, de la altura de elevación del centro de gravedad para el mejor intento en el test de salto continuo durante 5s (CJ5) antes y después de 10 días de periodo experimental (media ± DS) (Bosco *et ál.*, 1998).

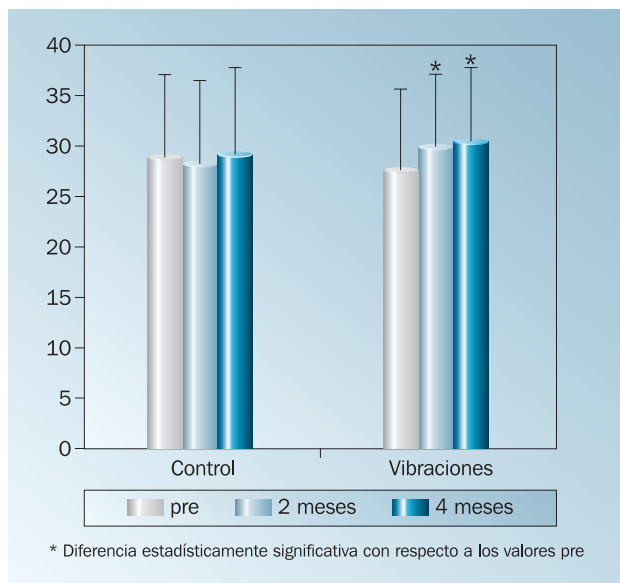


Figura 3

Comparación, entre grupo control y experimental, de la altura de elevación del centro de gravedad para el mejor intento en el test de countermovement jump (CMJ) antes y tras 2 y 4 meses de periodo experimental (media \pm DS) (Torvinen et ál., 2002).

En un estudio de Bosco *et ál.* (1999b) se intenta observar cómo afecta la vibración a las propiedades mecánicas de los músculos flexores de los brazos en sólo una sesión. Para tal finalidad se aplica la vibración sólo a un brazo. Se observan diferencias significativas en potencia media en el brazo tratado con las vibraciones; aunque la electromiografía (RMS) no había cambiado, al dividir ésta por la potencia mecánica, lo que nos permite averiguar el índice de eficacia neural, se observan aumentos estadísticamente significativos.

En el mismo año, Issurin y Tenenbaum (1999) también publican un estudio sobre los efectos agudos del VT; comparando dos poblaciones (atletas y aficionados) observaron mejoras significativas aplicando una sola sesión (efecto agudo) y no hubo diferencias para el efecto residual (en este caso tal efecto viene determinado por un entrenamiento sin vibración después de una serie con vibración). Rittweger y colaboradores (2000) realizaron un estudio con dos poblaciones (hombres y mujeres) en el que observaron una disminución en la fuerza máxima voluntaria (MVF) en la extensión de la pierna, disminución de la altura de salto (CMJ) y atenuación de la frecuencia media de EMG durante la contracción voluntaria máxima. En el índice de eficacia neural (RMS/potencia) se observan aumentos estadísticamente significativos.

El grupo de Bosco (2000) publica un estudio tras un tratamiento de WBV en el cual observaron un aumento de la efectividad neuromuscular. Tal aumento viene expresado mediante el cociente entre la potencia y la señal EMG y, dicha relación ha disminuido después de un entrenamiento de 10 minutos (2 sesiones de 5 minutos con 6 minutos de recuperación entre ellas) pues se observa una disminución de la actividad EMG de los músculos extensores de la pierna y el aumento en el *output* de potencia muscular. Es un efecto similar al que se refleja al final de un programa de larga duración de entrenamiento de fuerza y potencia (Komi *et ál.*, 1978). Del mismo modo, en atletas entrenados con carga sub-máxima en un rango del 70-80 % de 1RM la respuesta máxima de EMG disminuyó al principio del entrenamiento (Häkkinen y Komi, 1985), por tanto, es posible que el VT provoque una adaptación biológica que tiene conexión con un efecto de potenciación neural similar al producido por entrenamiento de fuerza y potencia. Parece que, al igual que con el entrenamiento de fuerza, las primeras estructuras que se ven influidas por el entrenamiento son los componentes neurales específicos y sus mecanismos de *feedback* propioceptivos (Bosco *et ál.*, 1983; Häkkinen y Komi, 1985). La activación neural puede ser influida por un aumento de la actividad de sincronización de las unidades motoras (Milner-Brown *et ál.*, 1975); aunque tampoco se puede excluir la mejora en la co-activación de los sinergistas y una mayor inhibición de antagonistas; de cualquier modo, el aumento de la activación neural parece depender de algún mecanismo intrínseco (Bosco *et ál.*, 2000).

Torvinen y colaboradores (2002a) realizan un estudio con hombres y mujeres en el que se someten a dos sesiones en 2 días consecutivos con WBV aplicada durante 4 minutos a un grupo y sin vibración aplicada al otro grupo. El efecto fue un aumento transitorio en la altura de salto (CMJ), mejora en la fuerza isométrica de los extensores de las rodillas y mejora del equilibrio corporal; a los 60 minutos, sin embargo, las diferencias ya no eran significativas. Por otra parte, en otro estudio similar al anterior (2002b). Torvinen y colaboradores mostraron que los 4 minutos de entrenamiento de vibración no producían cambios estadísticamente significativos en los tests de fuerza y de equilibrio mientras que la señal EMG mostraba signos de fatiga. En otro estudio el mismo grupo (2002c) aumentó el periodo de entrenamiento con vibraciones a 4 meses, utilizando 56 individuos sanos de ambos sexos, en tal investigación se estudió la *performance* y el equilibrio corporal, observando que el entrenamiento producía una mejora neta en la fuerza ex-

plosiva (expresada por un aumento del CMJ), aunque no hubo influencia sobre el equilibrio (Fig. 3).

Delecluse *et ál.* (2003) publicaron un estudio con mujeres comparando el aumento de fuerza tras la aplicación de VT con respecto al entrenamiento tradicional con sobrecargas. En un periodo de 12 semanas se sometió a 3 grupos a un entrenamiento para aumentar la fuerza de los extensores de la rodilla, con una frecuencia de 3 veces por semana. Un grupo, denominado R, realizó entrenamiento con prensa de pierna y ejercicios de extensión de pierna. El grupo de WBV realizó ejercicios de extensión de la rodilla tanto estáticos como dinámicos sobre la plataforma de vibración. La aceleración de la plataforma de vibración varió progresivamente desde un valor inicial de 2,28g hasta 5,09 (mediante la manipulación de las variables de amplitud y frecuencia de la plataforma vibratoria); otro grupo, el grupo PL (placebo), realizó los mismos ejercicios que el grupo de WBV pero con una aceleración de 0,4g. Además de dichos grupos, se tuvo un grupo C (control) que no participó de ningún entrenamiento. Se midió la fuerza de los extensores de la pierna (pre y post en condiciones isométrica, dinámica, balística y explosiva), encontrándose un aumento significativo en la fuerza dinámica e isométrica de los extensores de la rodilla tanto en el grupo R como en el WBV, no siendo significativa la diferencia entre ambos; sin embargo, la fuerza explosiva aumentó de modo significativo exclusivamente en el grupo WBV.

Un estudio del mismo año (Ruiter *et ál.*, 2003) analizó el efecto de 11 semanas de entrenamiento WBV sobre la capacidad de salto y la fuerza isométrica. La muestra (20 sujetos) se dividió en 2 grupos, experimental (E) y control (C); al grupo E se le sometió a un VT 3 veces por semana; durante las 11 semanas los sujetos aumentaron de 5 a 8 series (de 1 minuto de vibración con un minuto de descanso entre series); se utilizó una frecuencia de 30 Hz y una amplitud de 8mm. No se encontró diferencia significativa en ninguno de los parámetros referidos

Recientemente, Rittweger *et ál.* (2003) han realizado un estudio comparativo de realización de ejercicio extremo de sentadilla con y sin vibración. Con tal estudio los autores pretendían ver los efectos en la función neuromuscular y el patrón de reclutamiento de fibras. Aplicaron tres tests distintos: salto continuo máximo durante 30 segundos, electromiografía y evaluación del reflejo patelar. Se comprobó que el tiempo transcurrido hasta el agotamiento era significativamente más corto en el grupo sometido a vibración (26 Hz y 6 mm de amplitud), mientras que los niveles de lactato sanguíneo y de esfuerzo percibido (escala de Borg) indicaban niveles

comparables de fatiga. Tales observaciones llevan a la conclusión de que la vibración asociada al ejercicio crea una alteración tal en el patrón de reclutamiento de fibras que, por lo menos aparentemente, mejora la excitabilidad neuromuscular.

Porta *et ál.* (2004), aplicaron una única sesión de 6 series de 60'' × 60'' de descanso (6 mm, 40 Hz), en deportistas jóvenes que incluía saltadores, ciclistas y un grupo control (practicantes de *fitness*). Los tres grupos redujeron la fuerza (FMDC), siendo dicha disminución significativa en los saltadores ($p < 0,05$). Por otra parte, la capacidad de salto (CMJ) aumentó significativamente en los tres grupos (control, $p < 0,05$; ciclistas, $p < 0,001$; saltadores, $p < 0,05$).

VT asociado a otros métodos de entrenamiento de fuerza

Además de estos estudios que utilizan la vibración como método exclusivo de entrenamiento, un estudio de Zinkovsky *et ál.* (1998) realizan varias series comparando los efectos de la vibroestimulación sola, de la electroestimulación sola y de ambos métodos juntos, la electrovibroestimulación. Los autores concluyeron que la electrovibroestimulación era mejor que cualquiera de los 2 métodos por separado. Con el tratamiento de electrovibroestimulación los autores observaron una mejora de la flexibilidad determinada por un incremento de 6 a 10 cm en la altura de subida de la pierna y una mayor capacidad para separar las piernas de manera pasiva. Al mismo tiempo observaron también un aumento en la fuerza de contracción muscular tanto excéntrica como concéntrica; por último, observaron también una disminución substancial de las zonas de insuficiencia muscular tanto activa como pasiva y un aumento de la movilidad articular. Ante dichos hallazgos, los autores concluyeron que la electrovibroestimulación ejerce un papel positivo sobre la movilidad articular tras un traumatismo y podría ser un método efectivo para uso en rehabilitación.

Recientemente, en un estudio se ha comparado el efecto del entrenamiento mediante el tirante musculador® con respecto al de éste junto con WBV en un entrenamiento de 6 semanas para la mejora de la fuerza máxima, explosiva y reactiva. Los autores han observado que ambos métodos son eficientes en la mejora de la fuerza, siendo el entrenamiento combinado superior en la mejora (García Manso *et ál.*, 2002) además provocaba engrosamiento del tendón rotuliano (García Manso *et ál.*, 2004).

Frec. (Hz)	Ampl. (mm)	Acel. (m/s ²)	Acel. (G)	N.º Contracciones			
				15 seg	30 seg	45 seg	1 min
10	4	7,89	0,80	150	300	450	600
15	4	17,75	1,81	225	450	675	900
20	4	31,55	3,22	300	600	900	1.200
25	4	49,30	5,03	375	750	1.125	1.500
30	4	70,99	7,24	450	900	1.350	1.800
35	4	96,62	9,86	525	1050	1.575	2.100
40	4	126,20	12,88	600	1200	1.800	2.400
45	4	159,73	16,30	675	1350	2.025	2.700
50	4	197,19	20,12	750	1500	2.250	3.000

Tabla 1

Aceleraciones y número de contracciones producidas a distintas frecuencias sobre una plataforma de vibraciones (Padullés, 2001).

Efectos del VT sobre la velocidad

Se podría pensar que si el VT mejora la potencia muscular podría de igual modo producir una mejora de la velocidad; sin embargo, es posible que no sea así pues en un estudio se observó con sujetos atletas, aunque no de élite, la velocidad para sprint de 5, 10 y 20 m no cambió de manera significativa (Cochrane *et ál.*, 2004). Tal estudio observó el efecto de 9 días de entrenamiento repitiendo el protocolo aplicado por Bosco *et ál.*, (1998)

Los resultados comentados anteriormente están en consonancia con unos reportados en otro estudio de nuestro grupo (Da Silva *et ál.*, 2006), aunque nuestro experimento pretendía encontrar los efectos agudos. En dicho estudio se estudiaron los tiempos de carrera en 10 y 20 metros en jugadores de fútbol de la liga universitaria, no hallando diferencia estadísticamente significativa al comparar el grupo control con el grupo experimental sometido a VT. En nuestro caso probablemente este hecho se debió al alto volumen empleado (10 exposiciones) y la poca recuperación entre cada exposición (30 segundos); otro factor podría ser el tiempo entre el término de la exposición y el retest. Hay que tener en mente que algunos jugadores comentaron que estaban cansados. Es posible que si se hubiesen realizado menos exposiciones con un mayor tiempo de recuperación entre ellas y el tiempo entre la última exposición y el retest se aumentase se observasen mejoras en el tiempo de carrera. De ser así habría que considerar que el entrenamiento realizado llevó a una fatiga muscular. Mas por otra parte es posible que la falta de resultados se deba bien al poco tiempo empleado en el entrenamiento o a que los ejercicios de

VT hayan carecido de especificidad de posicionamiento para sprint y por tanto no se hayan producido los efectos neuromusculares necesarios.

¿Por qué el VT mejora la 'performance'?

Bosco y colaboradores (1998, 1999a y 1999b) sugieren que la activación muscular mediante la vibración puede inducir mejoras similares a las producidas por el entrenamiento de fuerza. La similitud con ejercicios pliométricos y de fuerza se debe probablemente a la aceleración impuesta por la vibración (aumento de la carga gravitacional). Se ha descrito que la carga gravitacional en VT puede llegar hasta 14G (Bosco *et ál.*, 1998, 1999a, 1999b, 2000a; Torvinen *et ál.*, 2002a; Cardinale y Bosco, 2003).

Padullés (2001) publica una tabla en la que se han calculado las aceleraciones que se producen a distintas frecuencias sobre una plataforma de vibraciones que oscila con una amplitud de 4 mm. Las aceleraciones observadas aplicando frecuencias de 30 Hz, y la amplitud de 4mm, que son los parámetros más habituales en el VT, son superiores a 7G, similares a las producidas en una batida de salto de longitud. En el mismo estudio aparece el número de contracciones que se provocan en función de la frecuencia y del tiempo de exposición (*Tabla 1*).

La influencia de la carga gravitacional sobre la *performance* muscular es de gran importancia, el efecto de la gravedad sobre el organismo en las rutinas diarias es suficiente para mantener las capacidades funcionales de los músculos. Por otra parte, si se induce un descenso de gra-

vedad, llamado microgravedad, se producirá una disminución tanto en masa como en fuerza muscular, pero si se aumenta la carga gravitacional, *hipergravedad*, se aumentará la masa y la fuerza muscular (Bosco *et ál.*, 1984). Esta última situación (hipergravedad) se usa comúnmente en el entrenamiento con el fin de aumentar la fuerza y la potencia muscular. Se ha visto que este tipo de ejercicio produce respuestas adaptativas específicas en los músculos esqueléticos, ya que éstos son un tejido especializado que modifica su capacidad funcional global en respuesta a estímulos diversos (Da Silva y Peña, 2004).

Las respuestas *adaptativas* conllevan tanto cambios neurales como morfológicos siendo los de tipo neural los primeros en ser producidos, habiendo ya un aumento de fuerza (Sale, 1988).

La situación hipergravitatoria producida por las vibraciones se debe a las altas aceleraciones (Issurin *et ál.*, 1994; Bosco *et ál.*, 1998, 1999a, 1999b, 2000a; Issurin y Tenenbaum, 1999; Torvinen *et ál.*, 2002a). La acción mecánica de la vibración produce cambios rápidos en la longitud del complejo músculo-tendón; la perturbación es detectada por los receptores sensoriales que modulan el *stiffness* muscular a través de la actividad muscular refleja e intentan amortiguar las ondas vibratorias (Cardinale y Bosco, 2003). Las vibraciones mecánicas aplicadas tanto al músculo como al tendón pueden provocar el denominado reflejo tónico vibratorio que es una forma de contracción muscular refleja (Martin y Park, 1997). La vibración produce una activación de los husos musculares y por tanto una mejora del *loop* reflejo de estiramiento. La excitación producida durante la vibración está ligada a la activación refleja. A menudo se observa un aumento en la actividad EMG similar a la obtenida mediante contracción voluntaria máxima (MVC). Aunque las terminaciones primarias del huso muscular son las más sensibles a la vibración, ésta es percibida también por la piel, las articulaciones y las terminaciones secundarias (Ribot-Ciscar *et ál.*, 1989). Así, las diversas estructuras sensitivas facilitarán probablemente la actividad del sistema *gamma* durante la vibración aplicada localmente (Bosco *et ál.*, 1999b) o sobre todo el cuerpo entero (Bosco *et ál.*, 2000). La mejora aguda de la *performance* neuromuscular que hemos citado en los ejemplos se debe probablemente a un aumento en la sensibilidad del reflejo de estiramiento. Parece también que la vibración inhibe la activación de los músculos antagonistas (neuronas Ia inhibitorias); tal inhibición conlleva una fuerza de frenada disminuida sobre las articulaciones (Cardinale y Bosco, 2003).

Al mismo tiempo el estímulo vibratorio influye sobre el comando motor central. Las señales aferentes son procesadas en la unidad central constituida por la corteza somatosensorial primaria y secundaria y el área motora suplementaria (Naito *et ál.*, 2000).

Más aun, según Naito y colaboradores (2000) la vibración es capaz de activar el área motora suplementaria entre otras áreas cerebrales. Esta área motora suplementaria es activada también en la fase temprana del inicio de los movimientos (Cunnington *et ál.*, 2002). El estímulo vibratorio influye sobre el estado excitatorio de las estructuras periféricas y centrales, lo cual facilitaría movimientos voluntarios subsiguientes.

En un estudio de Torvinen y colaboradores (2003) se observó que las mejoras producidas en la capacidad de salto vertical y fuerza por el VT desaparecían después de 60 min. Parece ser que los efectos agudos observados tras la exposición a vibración tienen una vida corta; por tanto, resulta de vital importancia prever la duración del VT. Sin embargo, según Rittweger y colaboradores (2000) una vibración de larga duración reduce la capacidad de generar fuerza. Tal efecto se puede deber a una activación del *feedback* inhibitorio y/o a una sensibilidad reducida de los husos musculares.

Es posible que los niveles aumentados de fuerza tras la vibración se deban tanto a la mejora del reflejo de estiramiento como al estado de excitación del área somatosensorial (Cardinale y Bosco, 2003), aunque hoy por hoy no hay una clara explicación de las adaptaciones neurales específicas.

Conclusiones

De lo expuesto anteriormente se puede considerar que el entrenamiento con vibraciones puede tener numerosas aplicaciones tanto en el mundo del deporte como en la prevención y rehabilitación. Con este tipo de entrenamiento se observan efectos sobre los músculos, tendones, huesos y articulaciones que pueden influir sobre la fuerza máxima y explosiva, potencia, velocidad, agilidad y flexibilidad, entre otros efectos. En otros casos, su aplicación parece de dudosa efectividad. El entrenamiento con vibraciones puede ser utilizado como entrenamiento suplementario o alternativo, especialmente en caso de rehabilitación de lesiones. La facilidad de uso de las máquinas de vibraciones y el poco tiempo necesario para que se produzcan resultados permiten suponer que el entrenamiento con vibraciones puede ser un buen complemento o una buena alternativa a otros medios de entrenamiento.

Bibliografía

- Bosco, C.; Luhtanen, P. y Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* (50), 273-282.
- Bosco, C.; Zanon, S.; Rusko, H.; Dal Monte, A.; Bellotti, P.; Latteri, F.; Candellero, N.; Locatelli, E.; Azzaro, E. y Pozzo, R. (1984). The influence of extra load on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* (53), 149-154.
- 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.; Introi, E.; Cardinale, M.; Iacovelli, M.; Tihanyi, J.; von Duvillard, S. P. y Viru, A. (1999a). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* (16), 317-322.
- Bosco, C.; Cardinale, M. y 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.; Iacovelli, M.; Tsarpela, O.; Cardinale, M.; Bonifazi, M.; Tihanyi, J.; Viru, M.; De Lorenzo, A. y Viru, A. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* (81), 449-454.
- Cardinale, M. y Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* (31), 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.
- Cole, S. H. (1978). The vertical transmission of impulsive energy through the seated human. PhD Thesis, Loughborough University of Technology
- Cochrane, D. J.; Legg S. J. y Hooker M. J. (2004). The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *J Strength Cond Res.* (18), 828-832.
- Cunnington, R.; Windischberger, C.; Deecke, L. y Moser, E. (2002). The preparation and execution of self initiated and externally triggered movement: a study of event-related fMRI. *Neuroimage* (15), 373-385.
- Da Silva, M. E. y Peña, J. (2004). Mecanismos de formación de nuevas fibras en el músculo esquelético. *Archivos de Medicina del Deporte* (102), 329-336.
- Da Silva, M. E.; Padullés, J. M.; Núñez Álvarez, V.; Vaamonde, D. M.; Viana, B.; Gómez, J. R. y Lancho, J. L. (2006). Efectos agudos del entrenamiento con vibraciones mecánicas sobre el tiempo de carrera en corta distancia en jugadores de fútbol. *Medicina del Ejercicio* (en prensa).
- Delecluse, C.; Roelants, M. y Verschueren, S. (2003). Strength increase after Whole Body Vibration compared resistente training. *Med Sci Sports Exerc* (35), 1033-1041.
- 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.
- García-Manso, J. M.; Sarniento Ramos, L.; Ruiz Caballero, J. L.; Ortega Santana, F.; Lejido Arce, J.; Petit, M. y Vázquez Pérez, I. (2004). Reponse adaptative macroscopique du tendon rotulien a l'entraînement de force. *Science & Sport* (en prensa).
- Ghista, D. N. (1982). *Human Body Dynamics: impact, occupational, and athletic aspects*. Oxford: Clarendon Press.
- Griffin, M. J. (1994). *Handbook of human vibration*. London: Academic Press Limited.
- Hakkinen, K. y Komi, P.V. (1985). Alteration of mechanical characteristic of human skeletal muscle during strength training. *J Appl Physiol* (50), 161-162.
- Halbertsma, J. P.; Mulder, I.; Goeken, L. N. y Eisma, W. H. (1999). Repeated passive stretching: acute effect on the passive muscle moment and extensibility of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil* (80), 407-414.
- Issurin, V. B.; Liebermann, D. G. y Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* (12), 561-566.
- 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), 177-182.
- King, A. I. (1975). Survey of the state of the art of human biodynamic response. A *Aircraft Crashworthiness* (eds. K. Saczalski, GT Singley III, WD Pilkey y RL Husten) pp. 83-120. University Press of Virginia.
- Komi, P. V.; Viitasalo, J. T.; Raurama, R. y Vihko, V. (1978). Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol* (40), 45-55.
- Kunemeyer, J., Schmidbleicher, D. (1997). Die neuromuskuläre stimulation RNS, *Leistungssport* (2), 39-42.
- Magnusson, S. P.; Aagaard, P.; Simonsen, E. y Bojsen-Moller, F. (1998). A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int J Sports Med* (19), 310-316.
- Magnusson, S. P.; Aagaard P.; Larsson, B. y Kjaer, M. (2000). Passive energy absorption by human muscle tendon unit is unaffected by increase in intramuscular temperature. *J Appl Physiol* (88), 1215-1220.
- Martin, B. y Park, H.. (1997). Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur J Appl Physiol* (75), 504-511.
- Mester, J.; Hartman, U.; Hoffman, U.; Seifriz, F.; Schwarzwer J., y Spintzenfeil, P. (2000). Biological response to vibration load: general principles lab and field studies in alpine skiing. A E. Müller, R. Roithner, W. Niessen, C. Raschner y H. Schwameder (eds.), *Abstract book of the second international congress on Skiing and Science*, St. Cristoph pp. 74-75.
- Milner-Brown, H. S.; Stein, R. B. y Lee, R. G. (1975). Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr Clin Neurophys* (38), 245-254.
- Naito, E.; Kinomura, S.; Geyer, S.; Kawashima, R.; Roland, P. E. y Zilles, K. (2000). Fast reaction to different sensory modalities activates common field in the motor areas, but the anterior cingulate cortex is involved in the speed of reaction. *J Neurophysiol* (83), 1701-1709.
- Nigg, B. M.; Van der Borget, A. J.; Reed, L. y Reinschmidt, C. (1997). Load of locomotor system during skiing. A E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl y C. Raschner (eds.) *Science and Skiing. E & F Spon*. London, pp. 27-35.
- Padullés, J. M. (2001). Vibraciones, un nuevo método de entrenamiento. *Set Voleibol* (Mayo), 54-56.
- Porta, J.; Mas, J.; Paredes, C.; Izquierdo, E.; Aliaga, J. y Martí, D. (2004). Efectos de una sesión de vibroestimulación en la fuerza máxima y explosiva de ciclistas y saltadores juniors. *Red* (27), 9-14.
- Ribot-Ciscar, E.; Vedel, J. P. y Roll, J.P. (1989). Vibration sensitivity of slowly and rapidly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot and leg. *Neurosci Lett* (104), 130-135.
- Rittweger, J.; Schiessl, H. y Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology* (20), 134-142.
- Rittweger, J.; Mutschelknauss, M. y Felsenberg, D. (2003) Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* (23), 81-86.
- Roberts, V. N.; Terry, C. T. y Stech, E. L. (1966). Review of mathematical models which describe human response to acceleration. A

- American Society of Mechanical Engineers 66-WA/BHF-13, pp.2-12. *American Society of Mechanical Engineers*.
- Ruiter, C. J.; Raak, S. M.; Schilperoot, J. V.; Hollander, A. P. y Haan, A. (2003). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* (88), 472-475.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sport. Exerc* (20), S135-S145.
- Sandover, J. (1971). *Study of Human Analogues, Part 1. A survey of the Literature*. Department of Ergonomics and Cybernetics. Loughborough University of Technology.
- 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):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), 876-84.
- Von Gierke, H. E. (1971). Biodynamic models and their applications. *The Journal of the Acoustic Society of America* (50), 1397-1413.
- Yue, H.; Kleinöder, J. y Mester, J. (2001). A model analysis of the effects of wobbling mass on Whole-Body Vibration (2001). *European Journal of Sport Science*, vol. 1, issue 1, © by Human Kinetics and the European College of Sport Science.
- Smith, S. D. (2000). Modelling differences in the vibration response characteristics of the human body. *J Biomechs* (33), 1513-1516.
- Zinkovsky, A. V.; Zoubova, I. A.; Schmidt, K. P. y van Zwieten, K. J. (1998). Training of the skeletal -muscle apparatus of sportsmen through electrovibrostimulation. *Fysische Therapie* (4), 9-11.