

Monograph

# Efectos del Entrenamiento Vibratorio Corporal Total Sobre la Cinemática del Esprint y de la Fuerza Explosiva

Giorgos Paradisis<sup>1</sup> y Elias Zacharogiannis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Track and Field Unit, Department of Sport and Exercise Science, University of Athens, Athens, Greece.

## RESUMEN

El propósito de este estudio fue investigar el efecto de 6 semanas de entrenamiento vibratorio corporal total (WBV) sobre la cinemática del esprint y la fuerza explosiva. Veinticuatro voluntarios (12 mujeres y 12 hombres) participaron en el estudio y fueron divididos aleatoriamente ( $n = 12$ ) en un grupo experimental y un grupo control. El grupo WBV realizó un programa de 6 semanas (16-30 min/día, 3 veces por semana) en una plataforma vibratoria. La amplitud de la plataforma vibratoria fue 2.5 mm y la aceleración fue de 2.28 g. El grupo control no participó en ningún tipo de entrenamiento. Los tests fueron llevados a cabo pre y post entrenamiento. El rendimiento en carreras de esprint fue valorado durante un esprint de 60 metros midiendo el tiempo de carrera, la velocidad de carrera, la longitud de zancada y la tasa de zancada. La fuerza explosiva fue valorada mediante el test de salto con contramovimiento (CMJ) midiendo la altura de salto y el número total de saltos realizados en un período de 30 segundos (30CVJT). El rendimiento de carrera en 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m y 60 m mejoró significativamente luego de 6 semanas de entrenamiento WBV con una mejora global del 2.7%. la longitud de zancada y la velocidad de carrera mejoraron en un 5.1% y 3.6% respectivamente y la tasa de zancada se redujo en un 3.4%. La altura en el salto con contramovimiento se incrementó en un 3.3% y la resistencia a la fuerza explosiva mejoró en un 7.8%. El programa de entrenamiento WBV de 6 semanas produjo cambios significativos en la cinemática del esprint y en la fuerza explosiva.

**Palabras Clave:** cinemática del esprint, fuerza explosiva, salto con contramovimiento, entrenamiento de la fuerza

## INTRODUCCION

La vibración corporal total (WBV) es un método de entrenamiento neuromuscular que recientemente ha recibido gran atención. Diversas investigaciones han mostrado que la estimulación corporal total a baja amplitud y alta frecuencia mejora la fuerza muscular, el equilibrio corporal y la competencia mecánica de los huesos (Bosco et al., 1998; 1999b; Delecluse et al., 2003; Falempin and In-Albon, 1999; Flieger et al., 1998; Rittweger et al., 2000; Rubin and McLeod, 1994; Rubin et al., 2001; Torvinen et al., 2002a). Durante el entrenamiento WBC, el participante se coloca de pie sobre una plataforma que genera una vibración vertical sinusoidal a frecuencias entre 25 y 50 Hz. Estos estímulos mecánicos son transmitidos al cuerpo en donde estimulan los receptores sensoriales, probablemente los husos musculares. Esto provoca la activación de las motoneuronas alfa e inicia una contracción muscular comparable al "reflejo tónico de vibración (Burke

and Schiller, 1976; Hagbarth and Eklund, 1966).

Bosco et al (1999a, 1999b) reveló que una única serie de vibración resultó en un incremento temporario pero significativo de la fuerza muscular de los flexores del brazo y de las extremidades inferiores, mientras que 10 días de entrenamiento WBV con vibraciones verticales sinusoidales a una frecuencia de 26 Hz produjo un incremento significativo de la fuerza explosiva (Bosco et al., 1998). En un estudio controlado con placebo se observó que una única serie de WBV mejoraba transitoriamente la fuerza isométrica de los extensores de la rodilla y el salto vertical en un 3.2% y 2.5% respectivamente (Torvinen et al., 2002b). Estos efectos fueron registrados 2 min después de la intervención, pero desaparecieron en los siguientes 60 minutos. Runge et al (2000) mostró que luego de dos meses de entrenamiento WBV, el rendimiento muscular de sujetos ancianos se había incrementado en un 18%. Torvinen et al (2002a) mostraron que luego de cuatro meses de entrenamiento WBV, la altura del salto vertical se incrementó en un 8.5% mientras que la fuerza en el ejercicio de extensión de rodillas, la fuerza de prensión palmar, el rendimiento en carreras de ir y volver y el equilibrio corporal no mejoraron. Por el contrario, Delecluse et al (2003) mostraron que luego de tres meses de entrenamiento WBV la fuerza isométrica y dinámica de los extensores de la rodilla se incrementó en un 16.6% y 9.0% respectivamente, mientras que un número similar de sesiones de entrenamiento con sobrecarga resultaron en similares ganancias (14.4% y 7.0% respectivamente). Además, la altura del salto vertical se incrementó en un 7.6% solo luego del entrenamiento WBV, mientras que ninguna de las otras intervenciones tuvo efectos sobre la velocidad máxima en movimientos de la rodilla, medida con diferentes tests balísticos.

Romaiguere et al (1993), mostraron que el umbral de reclutamiento de las unidades motoras durante la vibración es menor en comparación a la contracción voluntaria, lo cual puede resultar en una más rápida activación de las unidades motoras de contracción rápida de alto umbral y consecuentemente provocar un mayor estímulo de entrenamiento (Rittweger et al., 2000; 2003). Estos hallazgos han aumentado el interés en el potencial del entrenamiento WBV para mejorar la habilidad de esprint, ya que la óptima excitabilidad de las motoneuronas y el reclutamiento de fibras rápidas son dos factores determinantes del rendimiento en carreras de esprint (Delecluse, 1997; Romaiguere, 1993). Cochrane et al (2004) examinaron los efectos a corto plazo de 9 sesiones de entrenamiento WBV (duración total 10 min, 2 repeticiones de 1 min, 5 ejercicios estáticos) sobre el rendimiento en el CMJ y en carreras de esprint (tiempo en carreras de 5, 10 y 20 m) en atletas de alto rendimiento pero no de elite, y no hallaron cambios significativos. Además, Delecluse et al (2005) investigaron los efectos de 5 semanas de entrenamiento WBV (duración total del ejercicio 9-18 min, 3 repeticiones de 30-60 s, 6 ejercicios estáticos y dinámicos) sobre el rendimiento en carreras de esprint (30 m) en atletas de elite y no hallaron cambios significativos. Sin embargo, actualmente no es claro si el entrenamiento WBV a largo plazo mejora el rendimiento en carreras de esprint en atletas poco experimentados.

A pesar de los hallazgos previamente mencionados, y del incremento en la utilización de diferentes dispositivos para el entrenamiento vibratorio por parte de los atletas y de los centros de entrenamiento como un método alternativo de entrenamiento, no existe evidencia científica concluyente acerca de la eficacia del entrenamiento WBV sobre el rendimiento en carreras de esprint. El objetivo del presente estudio fue investigar los efectos de 6 semanas de entrenamiento WBV sobre el rendimiento de esprint valorando diversas características cinemáticas seleccionadas del esprint y sobre la fuerza explosiva valorada a través de la altura del salto CMJ y del número total de saltos 30CVJT en sujetos activos, utilizando un diseño aleatorio y controlado. Debido a que se ha reportado que el entrenamiento WBV provoca un alto nivel de excitabilidad de las motoneuronas y un mayor reclutamiento de fibras rápidas (Rittweger et al., 2003) se hipotetizó que el entrenamiento WBV resultaría en un incremento significativo en la cinemática de la carrera de esprint y en la fuerza explosiva.

## MÉTODOS

### Participantes y Diseño del Estudio

Veinticuatro voluntarios jóvenes y saludables (12 mujeres y 12 hombres) participaron en este estudio (edad,  $21.3 \pm 1.2$  años; masa corporal  $66.0 \pm 10.5$  kg; talla,  $1.69 \pm 0.09$  m; % grasa corporal  $18.8 \pm 6.8$  %; velocidad máxima de carrera  $8.15 \pm 0.869$  m/s). Todos los participantes eran físicamente activos (3 años  $\pm$  5 meses), pero ninguno había participado regularmente en actividades físicas organizadas, en actividades deportivas o en entrenamientos de la fuerza/potencia en los 3 meses previos a la iniciación del estudio. Ninguno de los sujetos presentó algún problema de salud o alguna otra razón que provocara su exclusión del estudio. Se les pidió a los participantes que evitaran la realización de cualquier otro entrenamiento adicional durante el período del estudio y que mantuvieran su alimentación normal. Cada participante dio su consentimiento informado por escrito antes de la recolección de los datos. Además, los participantes recibieron una detallada explicación de los protocolos de entrenamiento y de evaluación, y de los posibles riesgos y beneficios del estudio. La aprobación del estudio fue extendida por el Comité de Ética de la Universidad.

En el presente estudio se utilizaron dos grupos con evaluaciones pre y post entrenamiento, para determinar si un programa de entrenamiento WBV de 6 semanas de duración resultaría en un incremento significativo en diversas características cinemáticas del esprint y en la fuerza explosiva valorada mediante el rendimiento en saltos verticales. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos (con igual cantidad de sujetos del mismo sexo en cada grupo), un grupo experimental (WBV) y un grupo control (ambos, n = 12). El grupo WBV entrenó durante seis semanas, 3 veces por semana, con al menos 1 día de recuperación entre dos sesiones. La entrada en calor estandarizada consistió de 20 minutos, durante la cual se realizaron 10 min de carreras, 5 minutos de estiramientos y 6 esprints progresivos de 30 m. El grupo control no realizó ninguna clase de entrenamiento. No se hallaron diferencias significativas entre los dos grupos antes del entrenamiento.

### **Entrenamiento WBV**

El grupo WBV entrenó en una plataforma WBV (Power Plate®) 3 veces por semana, durante un período de 6 semanas. La duración del estímulo diario fue de 16 minutos, el cual consistió de 3 series de 8 repeticiones (2 repeticiones de cada ejercicio) de 40 segundos, con 2 min de recuperación entre las series y 1 min de recuperación entre las repeticiones. Debido a que no existen programas de entrenamiento WBV con bases científicas, el programa de entrenamiento utilizado en el presente estudio se basó en protocolos similares que resultaron en cambios significativos en el rendimiento muscular (Delecluse et al., 2003; Torvinen et al., 2002a). El programa de entrenamiento consistió de cuatro ejercicios estáticos: sentadilla (ángulo de la rodilla 90°), mantenerse de pie con las rodillas ligeramente flexionadas (ángulo de la rodilla, 120°) y mantenerse de pie sobre un solo pie (ángulo de la rodilla, 120°). En la cuarta semana del programa de entrenamiento WBV, la duración de cada repetición se incrementó en 20 s, y se adicionó una repetición a cada ejercicio, lo cual se mantuvo en las restantes semanas de entrenamiento, de acuerdo con el principio de sobrecarga. La frecuencia de vibración fue de 30 Hz, la cual produjo un amplitud de 2.5 mm entre picos, y con una aceleración de 2.28 g. Los períodos de recuperación entre las repeticiones fueron de 1 minuto.

### **Protocolo de Evaluación**

Al comienzo del estudio (pre entrenamiento) y luego de las 6 semanas de entrenamiento (post entrenamiento) se llevó a cabo una batería de test para medir los efectos del entrenamiento. Previamente a la realización de los tests, se midió la masa corporal la talla y se determinó el porcentaje de grasa corporal (Durnin & Womersley, 1974). Los participantes fueron informados acerca de los procedimientos de evaluación y se les pidió que realizaran todos los test a la máxima intensidad posible. Además, todos los participantes realizaron 4 sesiones de familiarización de todos los tests. Los tests pre y post entrenamiento fueron llevados a cabo al menos 72 horas después de la última sesión de familiarización para evitar cualquier efecto agudo que pudieran tener las sesiones de entrenamiento sobre el rendimiento en los tests.

### **Evaluación del Rendimiento en Carreras de Esprint**

En el primer día de evaluación del rendimiento, los participantes realizaron tres esprints máximos de 60 metros, con partida de pie, y luego de haber completado una entrada en calor estándar de 20 minutos. Los esprints fueron llevados a cabo en una pista de atletismo cubierta con una temperatura constante de 25°C. Los participantes realizaron una pausa de 10 minutos entre los esprints (McArdle et al., 1991). El tiempo y la velocidad promedio en distancias de 10 m, 20 m, 40 m, 50 m and 60 m utilizando el Sistema de Cronometraje Broker (Brower, USA). Además se registró la longitud de la zancada de cada participante mediante la utilización de una cámara de vídeo de alta velocidad (Redlake, USA).

La filmación del plano sagital de una zancada completa (dos pasos consecutivos) en los tres esprints, se realizó con una frecuencia de muestreo de 125 Hz. La cámara fue ubicada a los 55 metros y a 10 metros del plano de rendimiento, de manera que el eje óptico fue aproximadamente horizontal, formando un ángulo de 90° con el plano horizontal de carrera. Se filmó un cuadro de calibración (2 x 2 m) de metal para que el eje X estuviera paralelo a la horizontal y el eje Y estuviera perpendicular a la horizontal. Para los análisis se registró el mejor tiempo en los tres esprints.

La longitud de la zancada fue calculada de acuerdo a los métodos establecidos por Paradisis y Cooke (2006), y la frecuencia de zancada fue calculada de acuerdo con la ecuación:

$$SR = AV \cdot SL$$

Donde SR = frecuencia de zancada, AV = velocidad promedio en entre los 50 y 60 metros y, SL = longitud de la zancada entre los 50 y 60 metros (Paradisis & Cooke, 2006). Debido a que se registraron dos zancadas consecutivas, se calcularon dos longitudes de zancada y dos frecuencias de zancada.

### **Tests de Salto**

En el segundo día de evaluación, para valorar la fuerza explosiva, se realizaron los tests de saltos CMJ y 30CVJT. Para el

test CM J, se les pidió a los participantes que realizaran un salto vertical máximo con las manos colocadas sobre la cintura. Para el test 30CVJT, se les pidió a los participantes que realizaran en forma continua la mayor cantidad de saltos verticales máximos como les fuera posible, en un período de 30 segundos y con las manos colocadas sobre la cintura. Con este test se valoró la resistencia a la fuerza explosiva (Bosco et al., 1983). A partir del test 30CVJT, se calculó el número de saltos (NJ), la altura promedio (AH) y la potencia promedio (AP) de los 30 saltos. Estos tests fueron llevados a cabo utilizando una manta de contacto y registrando el tiempo de vuelo en milisegundos. El tiempo de vuelo (t) fue utilizado para determinar la elevación del centro de gravedad (h), i.e.,  $h = gt^2/8$ , donde  $g = 9.81$  m/s. La mejor de tres pruebas fue registrada para determinar el rendimiento en el test.

### Análisis Estadísticos

El efecto del programa de entrenamiento WBV sobre la cinemática del esprint y sobre el rendimiento en saltos verticales fue analizado mediante el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas [2 (grupo) - 2 (tiempo)] utilizando el método de los cuadrados mínimos (LS means). En el evento de hallar efectos significativos, se utilizó el test *post hoc* de Tukey para ubicar las diferencias. El nivel de significancia para los tests se estableció a  $p < 0.05$  y los datos se presentan como medias  $\pm$  DE. Todos los análisis fueron llevados a cabo utilizando el paquete estadístico SPSS 12.0.

## RESULTADOS

### Datos Antropométricos de los Participantes

El análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas indicó que no hubo un efecto principal significativo, entre las evaluaciones pre y post entrenamiento, para la masa corporal, la talla o el % de grasa corporal (Tabla 1).

	Masa Corporal (kg)	Talla (m)	% Grasa Corporal
<b>WBV</b>			
Pre	66.3 (9.7)	1.71 (.08)	17.5 (5.1)
Post	66.2 (9.9)	1.71 (.08)	17.2 (5.1)
%dif	-.2	.0	-2.1
<b>C</b>			
Pre	67.8 (11.5)	1.72 (.11)	17.5 (7.1)
Post	67.2 (11.1)	1.72 (.11)	16.9 (6.1)
%dif	-.9	.0	5.7

**Tabla 1.** Características antropométricas de los sujetos. Los datos son medias ( $\pm$ DE). Abreviaturas: WBV = grupo entrenamiento vibratorio corporal total, C = grupo control

### Características Cinemáticas

Los resultados mostraron que ambos grupos tuvieron un efecto principal significativo para el tiempo en 10 m ( $p < 0.05$ ), 20 m ( $p < 0.05$ ), 40 m ( $p < 0.05$ ), 50 m ( $p < 0.05$ ) y 60 m ( $p < 0.05$ ). Luego de 6 semanas de entrenamiento, el grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de esprint en 10 m del 4.3% ( $p < 0.05$ ), mientras que en el grupo C no se observaron diferencias significativas. El grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de esprint en 20 m del 3.0% ( $p < 0.05$ ) mientras que en el grupo C no se observaron cambios significativos. El grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de esprint en 40 m del 2.2% ( $p < 0.05$ ) mientras que en el grupo C no se observaron cambios significativos. El grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de esprint en 50 m del 2.1% ( $p < 0.05$ ) mientras que en el grupo C no se observaron cambios significativos. Por último, el grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de esprint en 60 m del 2.1 % ( $p < 0.05$ ) mientras que en el grupo C no se observaron cambios significativos (Tabla 2).

	10 m (s)	20 m (s)	40 m (s)	50 m (s)	60 m (s)
<b>WBV</b>					
Pre	1.96 (0.10)	3.30 (0.16)	5.76 (0.31)	6.99 (0.42)	8.19 (0.44)
Post	1.88 (0.14)	3.20 (0.18) *	5.63 (0.31) *	6.85 (0.39) *	8.01 (0.40) *
%dif	-4.3	-3.0	-2.2	-2.1	-2.1
<b>C</b>					
Pre	1.97 (0.13)	3.33 (0.19)	5.84 (0.38)	7.07 (0.49)	8.35 (0.61)
Post	1.96 (0.15)	3.31 (0.17)	5.82 (0.36)	7.04 (0.47)	8.33 (0.60)
%dif	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.3

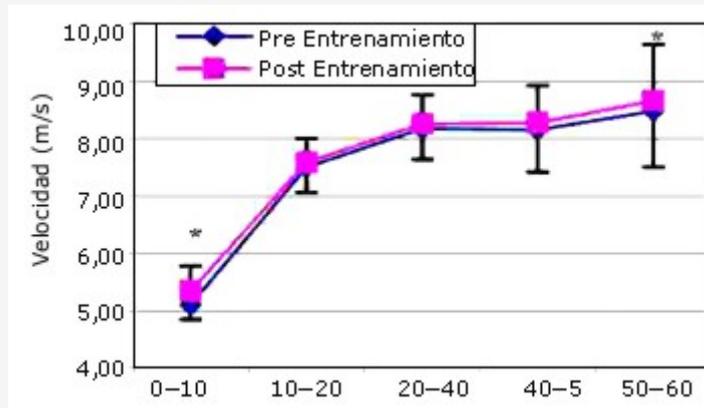
**Tabla 2.** Tiempo obtenido en diferentes distancias durante el test de sprint de 60 metros. Los datos son medias ( $\pm$  DE). Abreviaturas: WBV = grupo entrenamiento vibratorio corporal total, C = grupo control. \*Diferencia significativa respecto del valor pre entrenamiento ( $p < 0.05$ ) determinado mediante el análisis de varianza para medidas repetidas y el análisis post hoc de Tukey.

Los análisis mostraron un efecto principal significativo entre los dos grupos respecto de la longitud de zancada 1 ( $p < 0.05$ ) y de la frecuencia de zancada ( $p < 0.05$ ). La longitud de zancada 1 se incrementó significativamente en un 5.6% ( $p < 0.05$ ) luego de 6 semanas de entrenamiento WBV, mientras que no se observaron cambios significativos en el grupo C. La frecuencia de zancada 1 se redujo significativamente en un 3.9% ( $p < 0.05$ ) luego de 6 semanas de entrenamiento en el grupo WBV, mientras que no se observaron cambios significativos en el grupo C. Similares resultados se observaron respecto de la longitud de zancada 2 y de la frecuencia de zancada 2 (Tabla 3).

	SL 1 (m)	SL 2 (m)	SR 1 (Hz)	SR 2 (Hz)
<b>WBV</b>				
Pre	1.95 (0.14)	1.97 (0.14)	4.19 (0.38)	4.14 (0.30)
Post	2.06 (0.14)	2.05 (0.16) *	4.02 (0.30) *	4.02 (0.31) *
%diff	-5.6	-4.5	-3.9	-2.8
<b>C</b>				
Pre	1.99 (0.20)	1.96 (0.19)	4.14 (0.26)	4.19 (0.29)
Post	2.00 (0.18)	2.00 (0.21)	4.12 (0.26)	4.11 (0.29)
%diff	0.6	2.3	-0.3	-1.9

**Tabla 3.** Resultados de la longitud y la frecuencia de zancada durante el test de sprint de 60 metros. Los datos son medias ( $\pm$  DE). Abreviaturas: WBV = grupo entrenamiento vibratorio corporal total, C = grupo control, SL1 = longitud de la primera zancada, SL2 = longitud de la segunda zancada, SR1 = frecuencia de la primera zancada, SR2 = frecuencia de la segunda zancada. \*Diferencia significativa respecto del valor pre entrenamiento ( $p < 0.05$ ) determinado mediante el análisis de varianza para medidas repetidas y el análisis post hoc de Tukey.

Los análisis mostraron un efecto principal significativo entre los dos grupos respecto de la velocidad de carrera en las distancias 0-10 m y 50-60 m ( $p < 0.05$  para ambos). La velocidad de carrera entre los 0 y los 10 m se incrementó significativamente en un 4.9% ( $p < 0.05$ ) luego de 6 semanas de entrenamiento en el grupo WBV, mientras que no se observaron cambios significativos en el grupo C. la velocidad de carrera entre los 50 y 60 metros se incrementó significativamente en un 2.2% ( $p < 0.05$ ) luego de 6 semanas de entrenamiento en el grupo WBV, mientras que no se observaron cambios significativos en el grupo C (Figura 1).



**Figura 1.** Progresión de la velocidad de carrera durante el test de esprint de 60 metros en todos los sujetos. \*Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los valores pre y post entrenamiento.

### Fuerza Explosiva

Los análisis mostraron un efecto significativo entre los dos grupos respecto del rendimiento en el test de CMJ ( $p < 0.05$ ) y para el NJ en el test de 30CVJT ( $p < 0.05$ ), AH en el test de 30CVJT ( $p < 0.05$ ), y la AP en el test de 30CVJT ( $p < 0.05$ ). El CMJ mejoró significativamente en un 3.3% ( $p < 0.05$ ) en el grupo WBV, mientras que en el grupo C no se observaron mejoras significativas. El NJ durante el test de 30CVJT se incrementó significativamente en un 7.8% ( $p < 0.05$ ) en el grupo WBV, mientras que en el grupo C no se observaron mejoras estadísticamente significativas. La AH durante el test de 30CVJT, se incrementó significativamente en un 7.2% ( $p < 0.05$ ) en el grupo WBV, mientras que no se observaron cambios significativos en el grupo C. por último, la AP durante el test de 30CVJT se incrementó significativamente en un 8.4% ( $p < 0.05$ ) en el grupo WBV, mientras que no se observaron cambios significativos en el grupo C (Tabla 4).

	CMJ (cm)	NJ	AH (cm)	AP (watt)
<b>WBV</b>				
Pre	33.1 (4.9)	28.0 (2.0)	25.2 (3.9)	18.8 (3.6)
Post	34.2 (4.4)*	30.2 (3.0)*	27.0 (3.7)*	20.4 (4.0)*
%diff	3.3	7.8	7.2	-8.4
<b>C</b>				
Pre	35.2 (6.1)	29.2 (5.0)	24.2 (4.3)	18.3 (2.1)
Post	35.2 (6.5)	30.1 (3.3)	23.8 (3.)	18.9 (3.0)
%diff	.3	3.1	1.4	3.4

**Tabla 4.** Resultados obtenidos durante los tests de fuerza explosiva. Los datos son medias ( $\pm$  DE). Abreviaturas: WBV = grupo entrenamiento vibratorio corporal total, C = grupo control, CMJ = salto con contramovimiento, NJ = número de saltos realizados durante el test de 30 s de saltos verticales continuos, AH = altura media de los saltos realizados durante el test de 30 s de saltos verticales continuos, AP = potencia media de los saltos realizados durante el test de 30 s de saltos verticales continuos. \*Diferencia significativa respecto del valor pre entrenamiento ( $p < 0.05$ ) determinado mediante el análisis de varianza para medidas repetidas y el análisis post hoc de Tukey.

## DISCUSION

Esta es la primera investigación que estudió los efectos de 6 semanas de entrenamiento WBV sobre las características cinemáticas del esprint en sujetos activos no experimentados. Los resultados de este estudio claramente indican que el rendimiento en las distancias de carrera de 10 m, 20 m, 40 m, 50 m and 60 m, mejoró significativamente luego del entrenamiento WBV con una mejora global del 2.7%. Además, la longitud de zancada, la frecuencia de zancada y la velocidad de carrera mejoraron en un 5.1, 3.4 y 3.6% respectivamente (mejoras promedio). Se podría argumentar que el

incremento en la longitud de zancada puede traducirse en un aumento de la velocidad. Sin embargo, si la longitud de zancada se incrementa y la fuerza muscular se mantiene sin cambios, la frecuencia de zancada debería reducirse (Paradisis and Cooke, 2006). De acuerdo con esto, una menor frecuencia de zancada suprimiría la ganancia en velocidad de una mayor longitud de zancada. Los resultados del presente estudio indican que la ganancia en la longitud de zancada fue mayor que la reducción en la frecuencia de zancada (5.6% vs -3.9%), por lo que el efecto neto sería una mejora en la velocidad de carrera.

Sin embargo, la mejora inducida en la cinemática del esprint hallada en el presente estudio contrasta con lo hallado por Cochrane et al (2004) y Delecluse et al (2004). Las diferencias en los resultados entre el presente estudio y el estudio de Cochrane et al (2004) podrían explicarse, al menos parcialmente, por la utilización de diferentes programas de entrenamiento WBV (duración total de ejercicio, 16-36 min por sesión vs 10 min), por la diferente duración del programa de entrenamiento (18 sesiones vs 9 sesiones), por la diferente frecuencia de vibración (30 Hz vs 26 Hz) y por el las diferentes distancias para los tests de esprint (60 m vs 20 m) respectivamente. Se debería mencionar que Cochrane et al (2004) concluyeron que la corta duración del estudio (9 sesiones de entrenamiento) podría haber contribuido a la falta de cambios significativos.

Las diferencias entre el presente estudio y el estudio de Delecluse et al (2005) fueron: los programas de entrenamiento WBV (duración total de ejercicio 16-36 min por sesión vs 9-18 min por sesión), la duración del período de entrenamiento (6 semanas vs 5 semanas), la frecuencia de vibración (30 Hz vs 35-40 Hz), la distancia del test de esprint (60 m vs 30 m) y el estatus de entrenamiento de los participantes (sujetos activos vs velocistas de elite). Probablemente en velocistas entrenados, el entrenamiento con sobrecarga de alta intensidad, los ejercicios pliométricos y los ejercicios de esprint ya habrían provocado un efecto específico sobre las fibras de contracción rápida (Ross and Riek, 2001). En estos atletas, la fuerza muscular, la excitabilidad de las motoneuronas, el reclutamiento de las fibras rápidas y la sensibilidad refleja ya están bien desarrollados (Delecluse, 1997; Ross and Riek, 2001). Esto podría explicar porque el entrenamiento WBV no afectó el rendimiento en carreras de esprint en los velocistas entrenados, a pesar de provocar cambios significativos en sujetos no experimentados, ya que este último grupo tiene un margen mucho mayor para incrementar el impulso neural hacia los músculos (Delecluse et al., 2005).

La altura en el test CMJ, una medida de la fuerza explosiva, se incrementó en un 3.3% luego de las 6 semanas de WBV. Además, el rendimiento en el test de 30CVJT, una medida de la resistencia a la fuerza explosiva, mejoró en un 7.8%. La mejora en el test de CMJ hallada en el presente estudio es comparable a la mejora del 8.5% hallada en el estudio de Torvinen et al (2002a) y a la mejora del 7.6% hallada en el estudio de Delecluse et al (2003). Las diferencias en el rendimiento en el test de CMJ podrían ser parcialmente explicadas por la utilización de diferentes programas de entrenamiento WBV y por la diferente duración de los respectivos programas de entrenamiento. En el estudio de Torvinen et al (2002a), los participantes entrenaron 4 minutos por sesión en la plataforma WBV, en comparación con el incremento sistemático del volumen de entrenamiento, desde 3 a 20 minutos por sesión, en el estudio de Delecluse et al (2003) y en comparación con el incremento sistemático en el volumen de entrenamiento, desde 16 a 36 min por sesión, en el presente estudio. Además, la duración del período de entrenamiento en el estudio de Torvinen et al (2002a) y en el estudio de Delecluse et al (2003) fue de 12 semanas, mientras que en el presente estudio fue de 6 semanas.

La primera fase de la adaptación al entrenamiento está caracterizada por una mejora de los factores neurales, mientras que los cambios en la estructura morfológica de los músculos podrían tardar varios meses y hasta años (Moritani and DeVries, 1979). Es probable que los mecanismos por los cuales el entrenamiento WBV mejora la activación neuromuscular es una adaptación biológica relacionada con la potenciación neural (Delecluse et al., 2003). Komi (2002) proveyó evidencia acerca de la utilización del reflejo de estiramiento, y por lo tanto de una estimulación aferente Ia en la potenciación de la fuerza durante la realización de movimientos que implican el ciclo de estiramiento - acortamiento (SSC) tal como el CMJ. La estimulación de los receptores sensoriales y de las vías aferentes con el WBV podría derivar en una utilización más eficiente del reflejo de estiramiento. La estimulación sensorial que es la base de la actividad muscular en el entrenamiento WBV parece ser crucial para la facilitación del SSC y la mejora del CMJ.

Al nivel de las unidades motoras, se ha sugerido que la vibración tónica refleja afecta principalmente la capacidad de los sujetos para generar altas tasas de disparo en unidades motoras de alto umbral (Bongiovanni et al., 1990). Durante un estímulo WBV, los músculos esqueléticos sufren pequeños cambios en su longitud, probablemente debido a que la vibración mecánica es capaz de inducir una excitación tónica sobre los músculos expuestos a lo que se denomina "reflejo tónico vibratorio" (Seidel, 1988). Este reflejo activa a los husos musculares, media la señales neurales mediante aferencias Ia (Hagbarth, 1973) y finalmente activa las fibras musculares a través de las grandes motoneuronas alfa. El reflejo tónico vibratorio también es capaz de causar un incremento en el reclutamiento de unidades motoras a través de la activación de los husos musculares y de vías polosinápticas (De Gail, 1996) y de facilitar el reflejo de acción en el conjunto de motoneuronas (Romaiguere et al., 1993). Además, el umbral de reclutamiento de las unidades motoras durante el WBV debería ser menor en comparación a las contracciones voluntarias (Romaiguere et al., 1993), lo cual probablemente resulte en una activación más rápida y en el entrenamiento de las unidades motoras de alto umbral.

Rittweger et al. (2003) investigó los efectos agudos del WBV (26 Hz, 12 mm) y halló que la frecuencia media del EMG del vasto lateral durante una contracción isométrica y la amplitud del reflejo rotuliano fueron significativamente mayores luego de que los sujetos realizaran el ejercicio de sentadillas con WBV en comparación a cuando los sujetos realizaron el ejercicio sin WBV. Estos hallazgos indican una mejora de la excitabilidad del sistema nervioso central, particularmente con respecto al reclutamiento predominante de fibras de contracción rápida. Por lo tanto, se podría sugerir que el entrenamiento WBV provoca el entrenamiento específico de las fibras de contracción rápida (Rittweger, 2000), lo cual sería una importante contribución para los movimientos que se realizan a altas velocidades.

## CONCLUSIONES

---

En conclusión, el programa de entrenamiento WBV de seis semanas de duración, a través de las contracciones musculares que provoca, produjo cambios significativos y positivos en diversas características cinemáticas del esprint (longitud de zancada, frecuencia de zancada y velocidad de carrera) y en la fuerza explosiva (altura del salto, número total de saltos realizados en un período de 30 segundos) en sujetos activos no experimentados. Sin embargo, se requieren más investigaciones para clarificar los efectos del entrenamiento WBV sobre características específicas del esprint tales como el tiempo de contacto, las fases excéntricas y concéntricas del contacto y el vuelo, y acerca de los efectos del entrenamiento WBV en posiciones específicas de carra y la utilización concurrente de WBV y entrenamiento de la velocidad en atletas.

### Puntos Clave

Entrenamiento WBV  
Cinemática del Esprint  
Fuerza Explosiva

## REFERENCIAS

---

1. Bongiovanni, L., Hagbarth, K. and Stjernberg, L (1990). Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. *Journal of Physiology* 4423, 15-26
2. Bosco, C., Cardinale, M. and Tsarpela, O (1999). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 779, 306-311
3. Bosco, C., Colli, R. and Introini, E (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology* 119, 83-187
4. Bosco, C., Cardinale, M., Tsarpela, O., Colli, R., Tihanyi, J., Von Duvillard, S. and Viru, A (1998). The influence of whole body vibration on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Biology of Sport* 1153, 157-164
5. Bosco, C., Luhtanen, P. and Komi, P (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology* 550, 273-282
6. Burke, D., and Schiller, H (1976). Discharge pattern of single motor units in the tonic vibration reflex of human triceps surae. *Journal of Neurology and Neurosurgical Psychiatry* 339, 729-741
7. Cochrane, D., Legg, S. and Hooker, M (2004). The short - term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint and agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 118, 828-832
8. De Gail, P., Lance, J. and Neilson, P (1966). Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *Journal of Neurology and Neurosurgical Psychiatry* 229, 1-11
9. Delecluse, C (1997). Influence of strength training on sprint running performance. *Sports Medicine* 224, 147-156
10. Delecluse, C., Roelants, M., Diels, R., Koninckx, E. and Verschuere S (2005). Effects of whole-body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *International Journal of Sport Medicine* 226, 662-668
11. Delecluse, C., Roelants, M. and Verschuere S (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 335, 1033-1041
12. Durnin, V. and Womersley, J (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition* 32, 77-97
13. Falempin, M. and In-Albon, S (1999). Influence of brief daily tendon vibration on rat soleus muscle in non-weight-bearing situation. *Journal of Applied Physiology* 887, 3-9
14. Flieger, J., Karachalios, T., Khaldi, L., Raptou, P. and Lyritis, G (1998). Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcified Tissue International* 63, 510-514
15. Hagbarth, K (1973). The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disease. In: *New developments in electromyography and cClinical neurophysiology*. Ed: Desmedt, J. Basel: Karger. 428 - 443

16. Hagbarth K. and Eklund, D (1966). Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Research* 22, 201-203
17. Komi, P (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics* 333, 119-1206
18. McArdle, W., Katch, F. and Katch, V (1991). Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance. *Lea & Febiger, London*
19. Moritani, T., and DeVries, H (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 558, 115-130
20. Paradisis, G. and Cooke, C (2006). The kinematic effects of sprint running training on sloping surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research* 220, 767-777
21. Rittweger, J., Beller, G. and Felsenberg, D (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology* 220, 134-142
22. Rittweger, J., Mutschelknauss M. and Felsenberg, D (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared t exhaustion by squatting exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 223, 81- 86
23. Romaguere, P., Vedel, J. and Pagni, P (1993). Effects of tonic vibration reflex on motor unit recruitment in human wrist extensor muscles. *Brain Research* 6602, 32-40
24. Ross, L. and Riek S (2001). Neural influences on sprint running: Training adaptations and acute responses. *Sports Medicine* 31, 409-425
25. Rubin, C. and McLeod, D (1994). Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain. *Clinical Orthopaedics* 2298, 165-174
26. Rubin, C., Turner, S., Bain, S., Mallinckrodt, C. and McLeod, K (2001). Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* 4412, 603-604
27. Runge, M., Rehfeld, D. and Resnicek, E (2000). Balance training and exercise in geriatric patients. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions* 11, 61-65
28. Seidel, H (1988). Myoelectrical reactions to ultra-low-frequency and low-frequency whole body vibration. *European Journal of Applied Physiology* 557, 558-562
29. Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T., Pasanen, M., Kontulainen, S., Jarvinen T., Jarvinen, M., Oja, P. and Vuori, I (2002). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 1523-1528
30. Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T., Pasanen, M., Kontulainen, S., Jarvinen T., Jarvinen, M., Oja, P. and Vuori, I (2002). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 22, 145-152

### **Cita Original**

Giorgos Paradisis and Elias Zacharogiannis. Effects Of Whole-Body Vibration Training On Sprint Running Kinematics And Explosive Strength Performance *Journal of Sports Science and Medicine* (2007) 6, 44 - 49