

EFECTIVIDAD DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO EN LA MEJORA DE LA CAPACIDAD DE SALTO

EFFECTS OF A VIBRATION TRAINING PROGRAM ON THE PERFORMANCE OF THE JUMP

RESUMEN

El objetivo de este estudio ha sido analizar los efectos de 6 semanas de entrenamiento vibratorio de cuerpo entero sobre la función muscular obtenida con variables de arquitectura muscular dinámica durante la fase de batida de un salto con contramovimiento. Formaron parte de la investigación un total de treinta y cinco varones físicamente activos, la muestra fue asignada de forma aleatoria en dos grupos de estudio, un grupo control (GC) formado por 16 hombres (Edad: $24,5 \pm 6,27$ años, talla: $174,44 \pm 5,35$ cm y peso: $71,01 \pm 7,94$ kg) y un grupo experimental (GE) formado por 19 hombres (Edad: $22,11 \pm 4,97$ años; talla: $174,35 \pm 4,36$ cm y peso: $74,43 \pm 10,93$ kg). Se encontraron diferencias significativas intra-grupo, en el salto máximo 1 en la variable h ($p = 0,004$) del GE acompañado de un incremento no significativo de los valores del pico de potencia y de la velocidad de despegue. En el salto máximo 2, se encontraron diferencias significativas en el GE en la altura del salto, en el pico de potencia y en la velocidad de despegue. Se encontraron diferencias significativas en el gastrocnemio medial de la pierna izquierda, observándose un incremento significativo de la velocidad angular de la fibra en el GE, con una diferencia en las medias de $4,512^\circ/s$ en el GC y de $5,44^\circ/s$ en el GE ($p = 0,012$). Por otro lado, en el GE se observó un incremento significativo en la velocidad de acortamiento de la fibra muscular, con una diferencia en las medias en el GC de $0,612$ cm/s y de $0,922$ cm/s en el GE. Con nuestros resultados podemos concluir que un entrenamiento de 6 semanas mediante WBV, con cargas gravitacionales de 14,5 a 32,6 g producto de f_r de 30-45 Hz y duraciones de estímulos de 60 s con descansos de 60 s, modifica las características mecánicas del salto, y el comportamiento muscular de los gastrocnemios, de forma significativa del gastrocnemio medial de la pierna izquierda.

Palabras clave: Plataforma de fuerzas. Arquitectura muscular. Ecografía dinámica.

SUMMARY

The purpose of this study was to analyze the effects of 6 weeks of whole body vibration training on muscle architecture dynamic variables obtained during the takeoff phase of a countermovement jump. Thirty-five males volunteered to participate in the study, the sample was randomly assigned into two study groups, a control group (CG) consisted of 16 subjects (age: 24.5 ± 6.27 , height: 174.44 ± 5.35 and weight : 71.01 ± 7.94) and an experimental group (EG) consisting of 19 subjects (age: 22.11 ± 4.97 , height: 174.35 ± 4.36 and weight: 74.43 ± 10.93). We found intra-group differences in maximal jump 1 in the variable h ($p = 0.004$) of GE accompanied by a nonsignificant increase of the values of P_p and Vz. In the maximum jump 2, we were found significant differences in the GE in the P_p and Vz. We also find significant differences in medial gastrocnemius of the left leg, observed a significant increase of the V_{angle} of the fiber in the GE, with a difference in the averages of $4.512^\circ/s$ in the GC and of $5.44^\circ/s$ in the GE ($p = 0.012$). In the GE showed a significant increase in the V_{st} and the difference in means in the GC of 0.612 cm/s and 0.922 cm/s in the GE. With our results we can establish that a 6 weeks of WBV, with gravitational loads from 14.5 to 32.6 g product of f_r frequency range from 30-45 Hz and durations of stimulation of 60 s with rests of 60 s, modify the mechanical characteristics of the jump, and the gastrocnemius muscle behavior, significantly in the medial gastrocnemius of the left leg.

Key words: Force platform. Muscle architecture. Dynamic ultrasound imaging.

Jacobo A. Rubio Arias¹

Paula Esteban García^{2,*}

Fernando Martínez Sánchez^{3,*}

Susana Mendizábal Albizu^{4,*}

Domingo J. Ramos Campo^{5,*}

Fernando Jiménez Díaz^{6,*}

¹Doctor en Ciencias del Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia. Laboratorio de Rendimiento y Readaptación Deportiva. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla la Mancha. Toledo.

²Licenciada en Ciencias del Deporte.

³Licenciado en Ciencias del Deporte.

⁴Doctora en Ciencias del Deporte.

⁵Doctor en Ciencias del Deporte.

⁶Doctor en Medicina y Cirugía.

*Laboratorio de Rendimiento y Readaptación Deportiva. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla la Mancha. Toledo

Este trabajo se ha llevado a cabo gracias a la ayuda 07/UPB20/10 del Consejo Superior de Deportes recibida en 2010

CORRESPONDENCIA:

Jacobo A. Rubio Arias
Universidad Católica San Antonio Murcia
Campus de Los Jerónimos, s/n.
Guadalupe, 30107.
E-mail: Jararias@ucam.edu

Aceptado: 25.07.2012 / Original nº 609

INTRODUCCIÓN

La vibración es una oscilación mecánica, es decir, una alteración periódica de la fuerza, aceleración y desplazamiento en el tiempo y en un sentido físico, es una oscilación forzada donde la energía se transfiere de un emisor (la vibración del dispositivo) a un receptor (el cuerpo humano, o partes de él)¹. Hay que tener en cuenta que todos los materiales conocidos por el hombre tienen una frecuencia a la que vibran y entre ellos cabe señalar la frecuencia de los diferentes tejidos biológicos como el músculo².

Existen diferentes tipos de vibración a las que podemos estar expuestos, que pueden ser de tipo periódica (sinusoidales y multi-sinusoidales) y no periódicas (de shock y transitorias) o las que se producen de forma aleatoria, estacionaria y no estacionaria³. La mayoría de la maquinaria que utilizamos provoca una vibración de carácter periódico y sinusoidal⁴.

En el cuerpo humano, la amortiguación de la vibración dependerá principalmente de la respuesta neuromuscular enviada por los receptores de los husos musculares, la sensibilidad de los receptores articulares y de la piel, así como la proporción del tipo de fibras musculares y elementos viscoelásticos que determinan la rigidez⁵. Estos tejidos viscoelásticos tienen la capacidad de almacenar la fuerza mecánica provocada por la vibración y posteriormente devolverla a las estructuras elásticas del complejo músculo-tendinoso, absorbida y disipada por la activación del músculo^{6,7}.

En los últimos años, la aplicación de las nuevas tecnologías en la mejora del rendimiento y de la salud se hace patente, utilizándose el entrenamiento de vibraciones de cuerpo entero (*Whole Body Vibration Training*: WBVT), como uno de los sistemas más eficaces utilizados para acortar las sesiones de trabajo e incrementar el rendimiento muscular⁸, la potencia⁹, incrementar la altura del salto vertical¹⁰, con influencias positivas sobre las características morfológicas músculo-esqueléticas¹¹.

Por otra parte, se han publicado trabajos en los que se ha utilizado la técnica de ultrasonidos para valorar el tejido muscular desde diferentes perspectivas, tanto anatómica como diagnóstica lesional. La ecografía es una herramienta válida para el examen clínico y funcional de los tejidos blandos del sistema músculo-esquelético^{12,13}, examinándolo a partir de sus variaciones geométricas y su arquitectura. En este sentido, se define la arquitectura muscular como “la disposición de las fibras musculares dentro de un músculo en relación al eje en el que se genera la fuerza”¹⁴, permitiendo determinar su grado de intervención en actividades musculares.

Por ello, el objetivo de este estudio ha sido analizar los efectos de 6 semanas de entrenamiento vibratorio de cuerpo entero sobre las variables de arquitectura muscular dinámica obtenidas durante la batida de un salto con contramovimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño de la investigación

El trabajo se ha desarrollado a través de una investigación de carácter cuantitativo, respondiendo a un tipo de diseño experimental¹⁵.

Participantes

Formaron parte en la investigación un total de 35 hombres físicamente activos y los criterios de inclusión que cumplieron los participantes fueron los siguientes: participantes que realizaban actividad física ligera o moderada según los criterios del IPAQ (Cuestionario Internacional de Actividad Física)¹⁶⁻¹⁸, con edades comprendidas entre 18 y 30 años. Además, no deberían de estar practicando deporte de competición ni haber sufrido alguna lesión en las extremidades inferiores en los últimos 6 meses.

La muestra fue asignada de forma aleatoria en dos grupos de estudio, un grupo control (GC) formado por 16 hombres (Edad: $24,5 \pm 6,27$ años, talla: $174,44 \pm 5,35$ cm y peso: $71,01 \pm$

7,94 kg) y un grupo experimental (GE) formado por 19 hombres (Edad: $22,11 \pm 4,97$ años; talla: $174,35 \pm 4,36$ cm y peso: $74,43 \pm 10,93$ kg). Cada participante firmó un formulario de aceptación voluntaria e informada. El proyecto de investigación fue aprobado por los comités éticos correspondientes, al amparo de las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial para investigación con seres humanos.

Protocolo de evaluación

La toma de datos se realizó en varios pasos, en un primer momento se les envió a través de correo electrónico el cuestionario IPAQ a todos los participantes inscritos de forma voluntaria, para comprobar si cumplían los criterios de inclusión. Posteriormente, se les convocó para realizar una sesión de familiarización, guiada por el investigador, consistente en un test de salto con contramovimiento CMJ^{19,20}.

Una semana más tarde se realizó la evaluación inicial (EI), que consistió por una parte en la obtención de la talla y el peso de la muestra seleccionada, utilizando una báscula y un tallímetro Seca 700 (Seca Ltd, Alemania). Posteriormente, realizaron seis saltos máximos CMJ's, divididos en dos bloques de tres, seleccionando para el análisis los dos de mayor altura de salto calculado a través de la fórmula de doble integración, resultante del "tiempo de vuelo (x)" $[9.18 \times ((x^2)/8)]^{20}$. Los saltos se realizaron en una plataforma de fuerzas Kistler 9253B11 (Kistler AG, Suiza) y se registró a una frecuencia de muestreo de 500 Hz. Todo ello, tras un calentamiento guiado por el investigador que consistía en pedalear durante 5 minutos en un cicloergómetro a 80 rpm y a una intensidad de 100 W.

Durante el registro del CMJ, se procedió a la adquisición de las imágenes de vídeo que permitían analizar los valores de la arquitectura muscular durante el desarrollo del salto. Para analizar las variables de ecografía dinámica, se utilizaron dos Ecógrafos LOGIQ P5 Premium (GE Healthcare, US), cada uno de ellos conectados a un transductor lineal multifrecuencial de 8 a 12 MHz

(12 L). Cada sonda fue fijada y ajustada a las piernas de los participantes mediante un sistema de fijación especialmente diseñado, no patentado y de elaboración propia. La toma de datos de arquitectura fueron adquiridos en dos bloques, permitiendo obtener imágenes de ultrasonidos del gastrocnemio lateral derecho y gastrocnemio medial izquierdo (bloque de tres primeros saltos máximos) y del gastrocnemio lateral izquierdo y gastrocnemio medial derecho (bloque de los segundos tres saltos máximos) a una frecuencia de muestreo de 50 Hz.

Una semana después de la finalización del entrenamiento, se volvieron a realizar los protocolos de la EI, adquiriendo los datos de la evaluación final (EF).

Análisis de la ecografía dinámica

Para el análisis de los fotogramas obtenidos durante la batida del salto, se utilizó el programa Kinovea - 0.8. Los fotogramas analizados (Figura 1), fueron los referidos al momento previo a la flexión de rodilla (fotograma 1) y el último momento de contacto con la plataforma (fotograma 2).

En el fotograma 1, se analizó el ángulo de penneación, grosor muscular y la longitud de la fibra que fue calculada de forma indirecta²¹⁻²³, debido a la visualización limitada del transductor ecográfico, a través de la fórmula:

$$\text{Longitud de la fibra} = \frac{\text{Grosor muscular}}{\text{sen } \alpha}$$

En el fotograma 2 se obtuvo de manera directa el ángulo de penneación, grosor muscular y la longitud de la fibra. Posteriormente de la interacción de estas dos medidas y su relación con el tiempo de batida, fue calculada la velocidad angular de las fibras y la velocidad de acortamiento de las mismas.

Protocolo de intervención

El grupo experimental llevó a cabo un programa de entrenamiento vibratorio de 6 semanas, con

FIGURA 1.
Momentos de
obtención de
las variables
de arquitectura
muscular

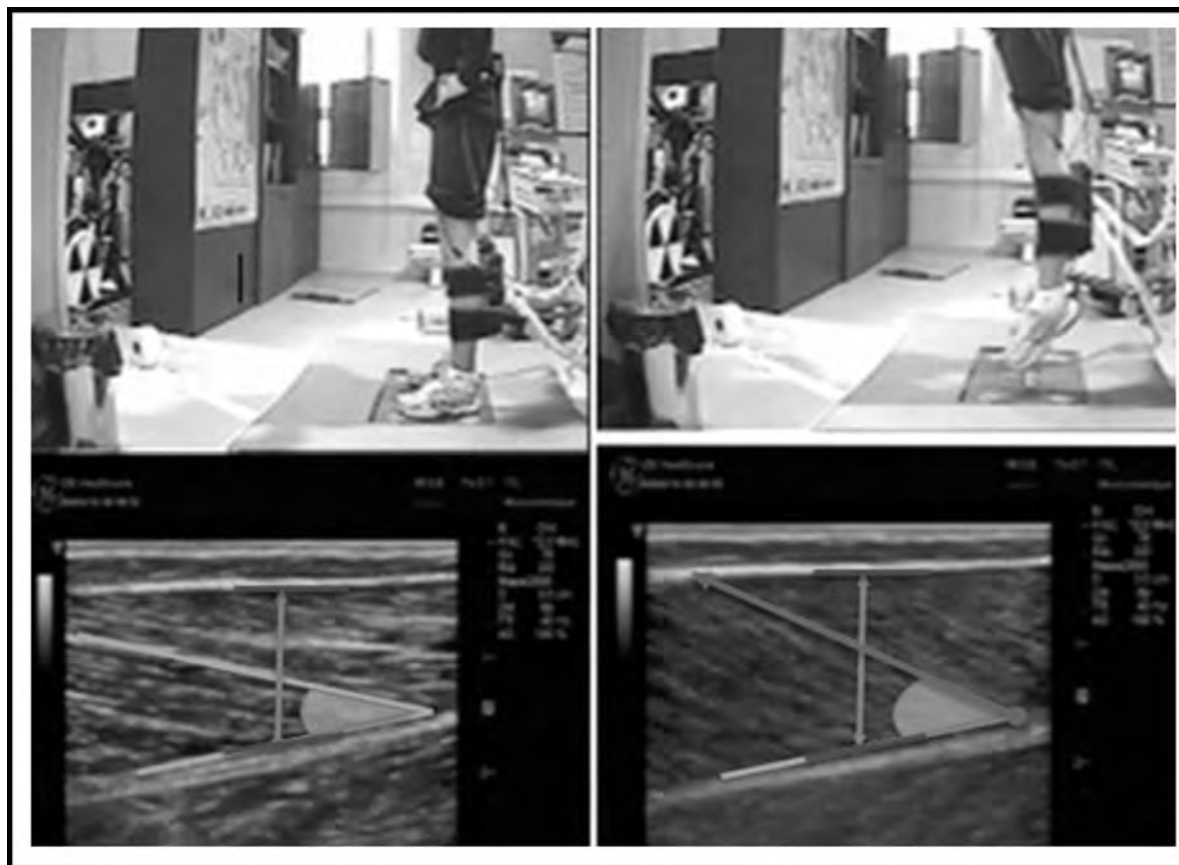


TABLA 1.
Rutina de ejercicios

Semana	Intensidad (Hz)	Amplitud (mm)	Aceleración (g)
1ª Semana	30 - 45 - 60	2	7.2 - 16.3 - 29.0
2ª Semana	30	4	14.5
3ª Semana	35	4	19.7
4ª Semana	40	4	25.8
5ª Semana	45	4	32.6
6ª Semana	45	4	32.6

Donde Hz = hercios, mm = milímetros, g = veces la gravedad.

una frecuencia de 3 días/semana con la intensidad que se muestra en la Tabla 1, el tiempo transcurrido entre cada sesión estaba comprendida entre un mínimo 24 horas y un máximo de 48 horas. Cada sesión contaba con un total de 3 ejercicios supervisados constantemente por un investigador. La rutina de trabajo estaba formada por 3 ejercicios (Figura 2), de cada ejercicio se

realizó 3 repeticiones de 60 s con descansos de 60 s en las tres primeras semanas y de 45 s en las 3 últimas semanas, excepto en el último ejercicio que se realizaron 6 repeticiones (3 repeticiones con cada una de las piernas).

Variables

Del análisis antropométrico se obtuvieron las variables de talla (cm) y peso (kg), de la batida del salto con contramovimiento se obtuvo la altura del salto (h; cm), el pico de potencia (P_p ; W/kg) y la velocidad vertical de despegue (V_{zd} ; m/s). De los fotogramas de la imagen ecográfica se obtuvo la velocidad angular de la fibra ($V_{angular}$; °/s) y la velocidad de acortamiento de la fibra (V_{Lf} ; cm/s).

Análisis estadístico de los resultados

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS 17.0 para



FIGURA 2.
Ejercicios de la rutina de entrenamiento de vibración

Windows. Además de analizar los estadísticos descriptivos de la muestra (media, desviación estándar y rango) se estudió la normalidad de las variables con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro Wilk para muestras comprendidas entre $n < 25$ y $n > 50$. Para analizar el efecto del entrenamiento se utilizó un modelo lineal general multivariante de medidas repetidas con *post-hoc* de Bonferroni (comparación por pares) para las variables que seguían una distribución normal y la U de Mann-Witney (para muestras independientes) y Wilcoxon (para muestras relacionadas) para las variables no paramétricas, todo ello, con un grado mínimo de significación de $p \leq 0.05$

RESULTADOS

Batida del salto

En las variables de la batida del salto, no se encontraron diferencias inter-grupo, en el salto máximo 1 en las mediciones del gastrocnemio lateral derecho y medial izquierdo ni tampoco en el salto máximo 2 en las mediciones del gastro-

cnemio lateral izquierdo y gastrocnemio medial derecho.

Se encontraron diferencias intra-grupo, en el salto máximo 1 en la variable h ($p = 0.004$) del GE acompañado de un incremento no significativo de los valores del P_p y del Vzd . En el salto máximo 2, se encontraron diferencias significativas en la h , en el P_p y en la Vzd (Tabla 2).

Arquitectura muscular dinámica

En las variables de arquitectura muscular, no se encontraron diferencias inter-grupo estadísticamente significativas en ninguno de los músculos analizados.

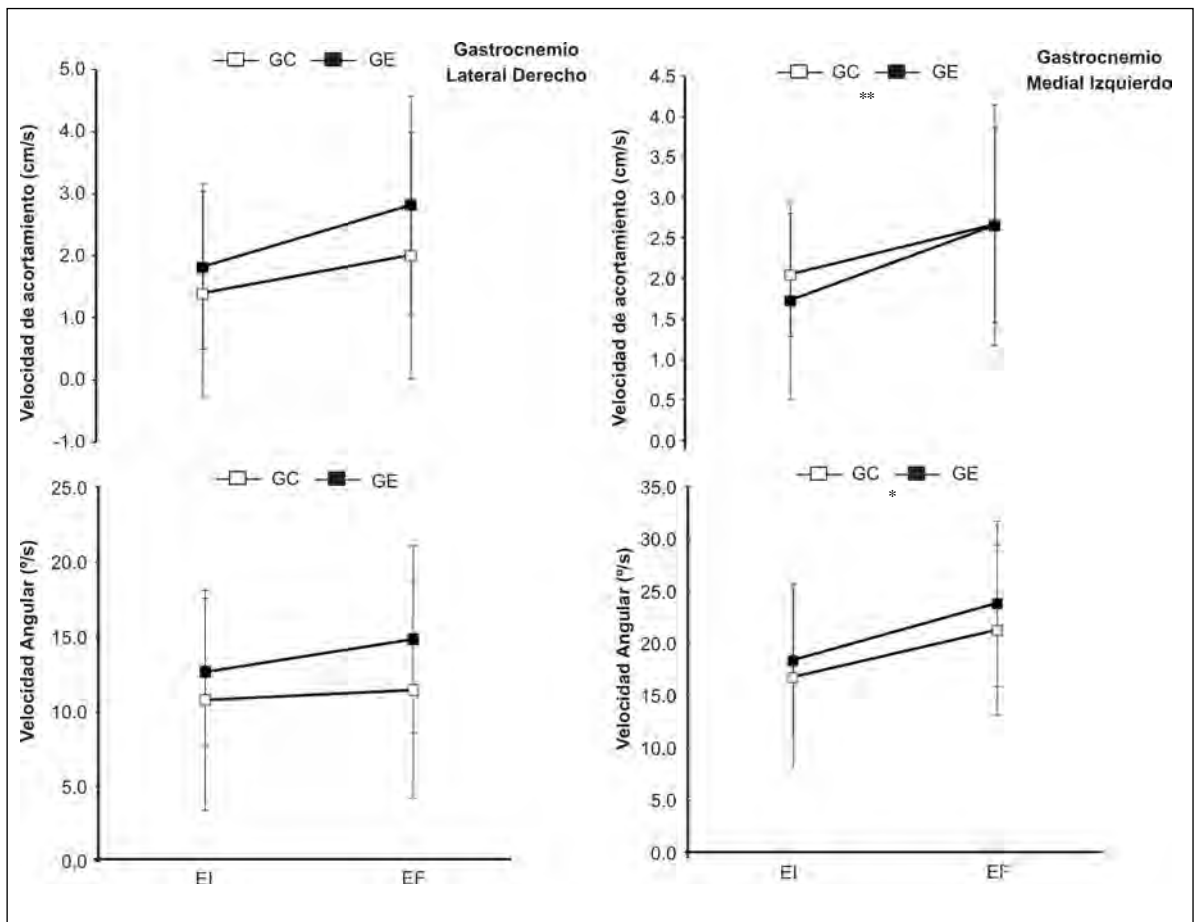
Cuando analizamos el factor tiempo, se observaron diferencias significativas intra-grupo (Figura 3 y 4), en el gastrocnemio medial de la pierna izquierda, observándose un incremento significativo de la V_{angular} de la fibra en el GE, con una diferencia en las medias de 4.512 $^{\circ}/s$ en el GC y de 5.44 $^{\circ}/s$ en el GE ($p = 0.012$). Por otro lado, en el GE se observó un incremento significativo en la VL_f , con una diferencia en las medias en el GC de 0.612 cm/s y de 0.922 cm/s en el GE.

TABLA 2.
Resultados de los saltos máximos

		Pp (W/kg)	PP (W/kg)	Diferencia	Vzd (m/s)	Vzd (m/s)	Diferencia	h (cm)	h - (cm)	Diferencia	
		EI	EF	(sig.)	EI	EF	(sig.)	EI	EF	(sig.)	
Salto 1	GC	Media	37.997	40.260	2.26	2.048	2.051	0.002	20.707	20.687	-0.02
		SD	8.37	4.57	(n.s.)	0.17	0.12	(n.s.)	3.37	2.38	(n.s.)
	GE	Media	39.938	42.262	2.32	2.045	2.099	0.054	20.686	21.807	1.12
		SD	5.72	7.85	(n.s.)	0.19	0.20	(n.s.)	3.87	4.25	0.004**
	Inter-	1.941	2.002		-0.003	0.049		-0.020	1.119		
	(sig.)	(n.s.)	(n.s.)		(n.s.)	(n.s.)		(n.s.)	(n.s.)		
Salto 2	GC	Media	39.684	39.909	0.23	2.03119	2.03638	0.005	20.3383	20.4418	0.10
		SD	4.42	5.03	(n.s.)	.148682	.148660	(n.s.)	2.99343	3.05304	(n.s.)
	GE	Media	39.406	40.939	1.53	2.02	2.084	0.062	20.257	21.52	1.27
		SD	5.83	6.25	0.037*	0.21	0.22	0.040*	4.27	4.62	0.041*
	Inter-	-0.278	1.029		-0.009	0.048		-0.081	1.082		
	(sig.)	(n.s.)	(n.s.)		(n.s.)	(n.s.)		(n.s.)	(n.s.)		

Donde n.s.: no significativo; Pp: pico de potencia, Vzd: velocidad de despegue, h: altura de salto, EI: evaluación inicial y EF: evaluación final.

FIGURA 3.
Valores de arquitectura muscular Gastrocnemio Lateral Derecho y Gastrocnemio Medial Izquierdo (salto máximo 1)



Donde EI: evaluación inicial y EF: evaluación final. *: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$

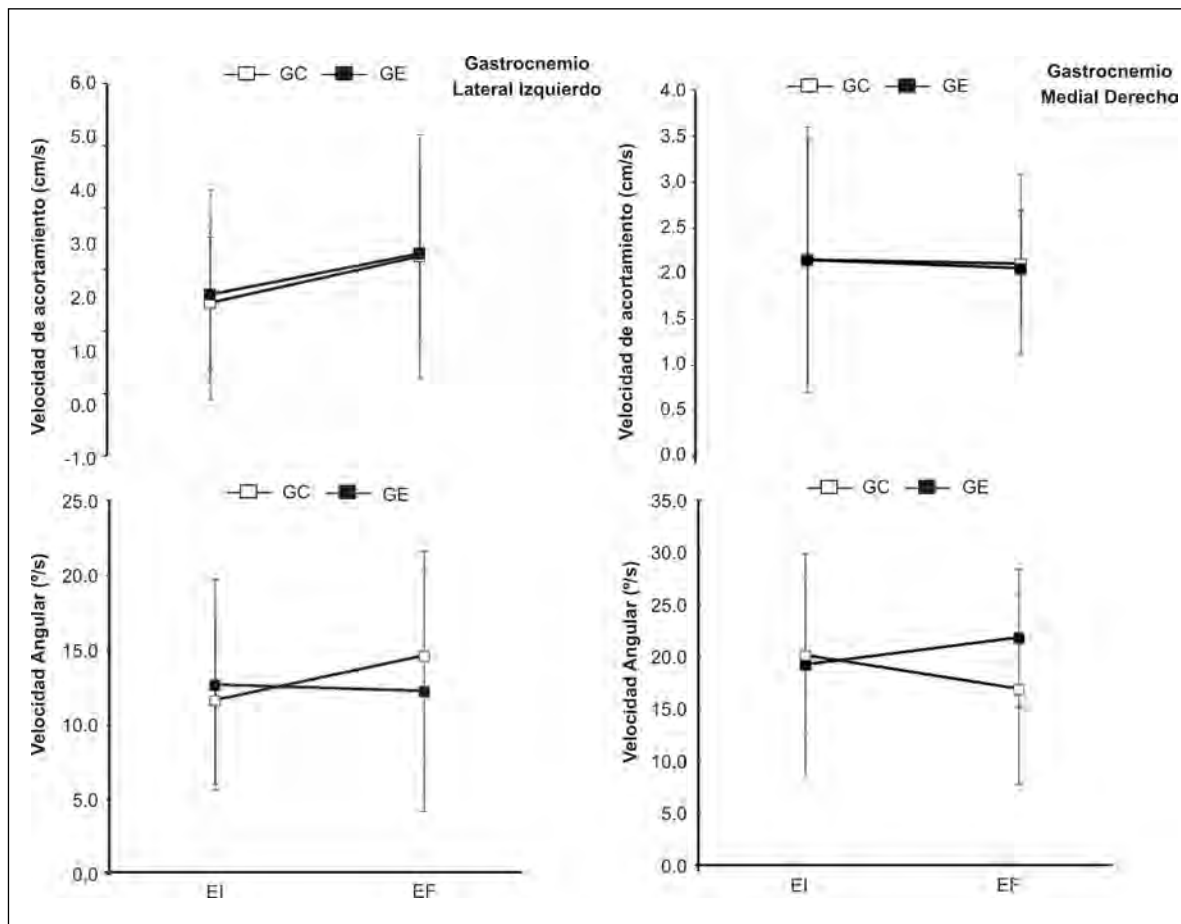


FIGURA 4. Valores de arquitectura muscular Gastrocnemio Lateral Izquierdo y Gastrocnemio Medial Derecho (salto máximo 2)

Donde EI: evaluación inicial y EF: evaluación final

DISCUSIÓN

Aunque todavía no existe un apoyo científico para determinar de forma contundente los efectos del WBVT en relación al desarrollo de la fuerza y la potencia, se sugiere que puede inducir a mejoras, después de una sesión de entrenamiento (efectos agudos) y que, por otra parte, puede dar lugar a adaptaciones que se producen después de un periodo de entrenamiento prolongado (efectos crónicos).

En esta línea, Kvorning, *et al.* (2006)²⁴, afirmaron que existen pocos estudios que expliquen las variables mecánicas, detallando las razones por las que se produce un incremento en la h y los parámetros que se modifican para que se produzca ese incremento.

El primer dato destacado de nuestro estudio es que en ambos grupos se produce un incremento significativo de la h. En el salto máximo 2, el incremento significativo de la h, además se acompaña de un incremento significativo del P_p y de la Vz_d.

Por lo tanto, como en el estudio de Bosco, Lacovelli, *et al.* (2000)²⁵, donde se determinó que los efectos vibratorios son similares a los del entrenamiento explosivo (saltos y rebotes), en nuestro trabajo se demuestra que el WBVT produce mejoras significativas en los valores de potencia y velocidad. En otros estudios revisados^{8,26,27} se comprobó que en aquellos participantes que realizaban un entrenamiento con vibración se incrementaba la fuerza dinámica, es decir, al WBVT se le atribuyen mejoras de la fuerza diná-

mica y explosiva. Nuestros resultados se ajustan a los de varios autores, que afirman que el WBVT aumenta la fuerza dinámica de las extremidades inferiores^{8,28,29}, y así Torvinen, Kannus, *et al.* (2002)¹⁰, informaron de mejoras de la h de 10,2% y 8,4% después de 2 y 4 meses respectivamente de WBVT.

Kvorning, *et al.* (2006)²⁴, realizaron un estudio de 9 semanas en un grupo de 18 hombres jóvenes sin experiencia en entrenamientos de fuerza, divididos en tres grupos diferentes. Un grupo realizaba ejercicios de fuerza con sentadillas, otro con sentadillas y vibración y un último grupo que realizaba sólo vibración. De esta forma, valoraron las características mecánicas desarrolladas en un test de CMJ. En el grupo de vibración no se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables mecánicas analizadas, argumentando que el incremento de la h fue debido a la capacidad de las extremidades inferiores de desarrollar valores mayores de potencia media (W/kg). Estos datos contrastan con los obtenidos en nuestra investigación, donde observamos un incremento de carácter significativo en el P_p (W/kg), considerado como un buen indicador de la explosividad, atendiendo a las correlaciones encontradas por Vandewalle, Peres, Sourabie, Stouvenel, & Monod (1989)³⁰ entre el P_p y la h.

Como se ha descrito previamente, existe una gran variedad de estudios que determinan los efectos del WBVT a partir de la medición única de la h, pero en muy pocos de ellos se mide el salto con plataformas de fuerzas, para analizar las mejoras en la potencia y en la velocidad obtenidas a partir de la fuerza. Por otra parte, sí se han publicado otra serie de trabajos que determinaban los efectos del entrenamiento vibratorio mediante valores de fuerza isocinética. Mahieu, *et al.* (2006)²⁹, valoraron el efecto del entrenamiento WBV con una progresión de diferentes ejercicios estáticos y dinámicos sobre la plataforma durante 6 semanas (3 días/semana). Así, valoraron la flexión plantar del tobillo a 30°/s y 120°/s, encontrando valores significativamente mayores en el post-entrenamiento, aunque en el estudio carecían de un grupo que realizara los mismos ejercicios sin vibración.

Cochrane (2011)³¹, en su última revisión en la que comparan los efectos agudos y crónicos del WBVT, observa que se dan mayores beneficios sobre los efectos agudos que sobre los efectos a largo plazo, en lo que a fuerza y potencia se refiere.

Nuestra metodología se basa en los estudios previos realizados para valorar la arquitectura muscular “*in vivo*” (Chino, *et al.*, 2008; Desplantez & Goubel, 2002; Erskine, Jones, Maganaris, & Degens, 2009; Fukashiro, Komi, *et al.*, 1995; Kubo, *et al.*, 2000; Reeves, Narici, & Maganaris, 2004)³²⁻³⁷. Por ello, en nuestro estudio se han determinado si las características morfológicas sufren algún cambio después de un periodo de entrenamiento de 6 semanas con exposiciones de WBVT y, para ello, se han valorado las características ecográficas en estado de bipedestación estática (momento 1) y en el momento de su máxima contracción (momento 2) así como las velocidades resultantes. Ninguno de los estudios revisados determina los efectos WBVT sobre las características arquitectónicas del músculo. Por ello, una de las finalidades de esta investigación ha sido determinar si la WBV modifica las características morfológicas analizadas mediante ecografía dinámica.

Se ha demostrado que las variables de arquitectura muscular influyen considerablemente sobre la capacidad productora de la fuerza del músculo³⁸, y que además varía considerablemente entre las personas, demostrando una eminente capacidad para adaptarse de forma específica a los cambios ambientales, y modificándose de forma considerable en condiciones de descanso y en condiciones en las que se les exige contracción³⁹.

En la literatura, no se comprueban datos que demuestren los efectos del entrenamiento vibratorio en el sistema muscular. Lo que se observa en los diferentes estudios, es el efecto positivo sobre la capacidad de generar fuerza. Es necesario seguir investigando en esta línea, para poder concluir sobre los efectos de las WBV en el sistema muscular, aportando un mayor número de resultados sobre las adaptaciones morfofuncionales después de periodos de largo plazo entrenando con WBV.

CONCLUSIONES

Con nuestros resultados podemos establecer que un entrenamiento de 6 semanas mediante WBV, con cargas gravitacionales de 14.5 a 32.6 g producto de fr de 30-45 Hz y duraciones de estímulos de 60 s con descansos de 60 s, modifica las características mecánicas del salto, y el comportamiento muscular de los gastrocnemios, de forma significativa del gastrocnemio medial izquierdo.

Sin embargo, no se ha podido demostrar que el entrenamiento vibratorio tenga efectos significativos en el comportamiento muscular medido con ecografía dinámica sobre los músculos gastrocnemios de la pierna derecha y el gastrocnemio lateral de la pierna izquierda.

Se hace necesario ampliar el estudio modificando el protocolo de trabajo vibratorio y ampliando la muestra de estudio. Además, se precisa observar la respuesta de la fibra muscular frente a otros gestos deportivos habituales, para completar el patrón de comportamiento de estos músculos.

B I B L I O G R A F Í A

1. Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol* 2010;108(5):877-904.
2. Barry DT, Cole NM. Fluid mechanics of muscle vibrations. *Biophys J* 1988;53(6):899-905.
3. Griffin MJ. *Handbook of Human Vibration*. UK: Elsevier Academic Press; 1990.
4. Mester J, Spitzenfeil P, Schwarzer J, Seifriz F. Biological reaction to vibration-implications for sport. *J Sci Med Sport* 1999;2(3):211-26.
5. Bazett-Jones DM, Finch HW, Dugan EL. Comparing the effects of various whole-body vibration accelerations on counter-movement jump performance. *J Sports Sci Med* 2008;7:144-50.
6. Albansini A, Krause M, Rembitzki I. *Using whole body vibration in physical therapy and sport: clinical practice and treatment exercises*. London: Churchill Livingstone Elsevier; 2010.
7. Wakeling JM, Nigg BM, Rozitis AI. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *J Appl Physiol* 2002;93(3):1093-103.
8. Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(6):1033-41.
9. Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84(12):1854-7.
10. Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, et al. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(9):1523-8.
11. Fjeldstad C, Palmer IJ, Bembem MG, Bembem DA. Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. *Maturitas* 2009;63(1):79-83.
12. Brorsson S, Nilsson A, Hilliges M, Sollerman C, Aurell Y. Ultrasound evaluation in combination with finger extension force measurements of the forearm musculus extensor digitorum communis in healthy subjects. *BMC Med Imaging* 2008;8(6):24-31.
13. Jiménez JF, Alvarez G, Balias R, Berral FJ, Paddilla EL, Villa JG. New technologies applied to ultrasound diagnosis of sports injuries. *Adv Ther* 2008;25(12):1315-30.
14. Lieber RL, Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve* 2000;23(11):1647-66.

15. **Thomas JR, Nelson JK.** *Métodos de investigación en actividad física.* Barcelona: Paidotribo, 2007.
16. **Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al.,** International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(8):1381-95.
17. **Booth M.** Assessment of physical activity: an international perspective. *Res Q Exerc Sport* 2000; 71(2 Suppl): S114-120.
18. **Hallal PC, Victora CG.** Reliability and validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(3):556.
19. **Komi PV, Bosco C.** Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 1978;10(4):261-5.
20. **Linthorne NP.** Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys* 2001;69(11):1198-204
21. **Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T.** Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;72(1-2):37-43.
22. **Blazevich AJ, Gill ND, Bronks R, Newton RU.** Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(12):2013-22.
23. **Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M.** Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* 2000;88(3):811-6.
24. **Kvorning T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K.** Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol* 2006;96(5):615-25.
25. **Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, et al.,** Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 2000;81(6):449-54.
26. **Luo J, McNamara B, Moran K.** The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med* 2005;35(1):23-41.
27. **Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G, Liebermann, G.** Tenenbaum, Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* 1994;12(6):561-6.
28. **Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, et al.** Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 1999;19(2):183-7.
29. **Mahieu NN, Witvrouw E, Van de Voorde D, Michil-sens D, Arbyn V, Van den Broecke W.** Improving strength and postural control in young skiers: whole-body vibration versus equivalent resistance training. *J Athl Train* 2006;41(3):286-93.
30. **Vandewalle H, Peres G, Sourabie B, Stouvenel O, Monod H.** Force-velocity relationship and maximal anaerobic power during cranking exercise in young swimmers. *Int J Sports Med* 1989;10(6):439-45.
31. **Cochrane DJ.** Vibration exercise: the potential benefits. *Int J Sports Med* 2011;32(2):75-99.
32. **Chino K, Oda T, Kurihara T, Nagayoshi T, Yoshikawa K, Kanehisa H, et al.** In vivo fascicle behavior of synergistic muscles in concentric and eccentric plantar flexions in humans. *J Electromyogr Kinesiol* 2008;18(1):79-88.
33. **Desplantez A, Goubel F.** In vivo force-velocity relation of human muscle: a modelling from sinusoidal oscillation behaviour. *J Biomech* 2002;35(12):1565-73.
34. **Erskine RM, Jones DA, Maganaris CN, Degens H.** In vivo specific tension of the human quadriceps femoris muscle. *Eur J Appl Physiol* 2009;106(6):827-38.
35. **Fukashiro S, Komi PV, Jarvinen M, Miyashita M.** In vivo Achilles tendon loading during jumping in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71(5):453-8.
36. **Kubo K, Kanehisa H, Takeshita D, Kawakami Y, Fukashiro S, Fukunaga T.** In vivo dynamics of human medial gastrocnemius muscle-tendon complex during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 2000;170(2):127-35.
37. **Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN, Maganaris.** In vivo human muscle structure and function: adaptations to resistance training in old age. *Exp Physiol* 2004;89(6):675-89.
38. **Burkholder TJ, Fingado B, Baron S, Lieber RL.** Relationship between muscle fiber types and sizes and muscle architectural properties in the mouse hindlimb. *J Morphol* 1994;221(2):177-90.
39. **Kawakami Y, Muraoka Y, Kubo K, Suzuki Y, Fukunaga T.** Changes in muscle size and architecture following 20 days of bed rest. *J Gravit Physiol* 2000;7(3):53-9.