



# UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

FACULTAD DE DEPORTE

Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

“DETERMINACIÓN DE LA CARGA PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL PROGRAMA DE  
ENTRENAMIENTO EN PLATAFORMA  
VIBRATORIA”.

Autor:

Esmeraldo Martínez Pardo

Directores:

Dr. D. Pedro E. Alcaraz Ramón

Dr. D. Jacobo A. Rubio Arias

Murcia, 22 de Diciembre de 2015





# UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

## AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón y el Dr. D. Jacobo A. Rubio Arias como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Determinación de la carga para la optimización del programa de entrenamiento en plataforma vibratoria” realizada por D. Esmeraldo Martínez Pardo en el Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

LO QUE FIRMO, PARA DAR CUMPLIMIENTO A LOS REALES DECRETOS 99/2011, 1393/2007, 56/2005 Y 778/98, EN MURCIA A 20 DE DICIEMBRE DE 2015.

Servicio de Doctorado. Vicerrectorado de Investigación  
Campus de Los Jerónimos. 30107 Guadalupe (Murcia)  
Tel. (+34) 968 27 88 22 • Fax (+34) 968 27 85 78 - C. e.: doctorado@ucam.edu



## **Agradecimientos**

Mi más profundo agradecimiento al Dr. D. Pedro E. Alcaraz Ramón por plantearme tan fascinante investigación que ha desembocado en esta Tesis Doctoral. Su capacidad investigadora y su estímulo constante, me ha permitido su realización.

Agradezco la colaboración al Dr. D. Jacobo A. Rubio Arias por su supervisión y colaboración en la edición del manuscrito. Su ubicación y sus cordiales sugerencias, fueron de gran ayuda para poder avanzar en este trabajo.

Quiero reconocer la inestimable colaboración recibida por parte de Salvador Romero Arenas así como su dedicación en parte de la investigación.

Agradezco la colaboración a la UCAM por permitirme desarrollar parte de esta investigación en sus instalaciones.

Es para mí muy importante resaltar la ayuda y apoyo de Enrique Martínez Ruiz, dispuesto y atento en todo momento.

Agradezco la colaboración a toda mi familia por apoyarme y estar a mi lado en todo momento.

Quiero agradecer a todas aquellas personas que a lo largo de mi vida me han dejado aprender, así como, a las que me seguirán enseñando.



"An investment in  
knowledge pays the best interest".

"No hay inversión más  
rentable que la del conocimiento".

*Benjamin Franklin (1706-1790).*





## ÍNDICE

---

ÍNDICE DE ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	3
CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.1. Introducción.....	6
1.2. Hipótesis.....	9
1.3. Objetivos.....	10
CAPÍTULO 2. VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS.....	11
CAPÍTULO 3. ESTUDIO N°1: EFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CAPACIDADES FÍSICAS EN ADULTOS JÓVENES FÍSICAMENTE ACTIVOS.....	15
3.1. Introducción.....	16
3.2. Composición corporal.....	18
3.3. Fuerza .....	21
3.4. Potencia.....	24
3.5. Velocidad.....	27
3.6. Resistencia.....	29
3.7. Flexibilidad.....	29
3.8. Conclusiones.....	30
CAPÍTULO 4. ESTUDIO N°2: EFECTO DE DIFERENTES AMPLITUDES (ALTA VS BAJA) EN EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO DE TODO EL CUERPO EN ADULTOS ACTIVOS.....	33
4.1. Introducción.....	34
4.2. Metodología.....	36
4.2.1. Diseño.....	36
4.2.2. Participantes.....	37
4.2.3. Procedimiento Experimental.....	38
4.2.4. Análisis Estadístico.....	42
4.3. Resultados.....	42
4.4. Discusión.....	49
4.5. Aplicaciones Prácticas.....	54

CAPÍTULO 5. ESTUDIO N°3: EFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VARIANDO EL NÚMEROS DE SESIONES POR SEMANA EN ADULTOS ACTIVOS..	57
5.1. Introducción.....	58
5.2. Metodología.....	61
5.2.1. Diseño.....	61
5.2.2. Participantes.....	61
5.2.3. Procedimiento Experimental.....	62
5.2.4. Saltos.....	63
5.2.5. Fuerza isocinética.....	63
5.2.6. Composición corporal.....	64
5.2.7. Protocolo vibratorio.....	64
5.2.8. Análisis Estadístico.....	65
5.3. Resultados.....	66
5.4. Discusión.....	70
5.5. Aplicaciones prácticas.....	75
CAPÍTULO 6. RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	77
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	85
CAPÍTULO 8. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	89
CAPÍTULO 9. LIMITACIONES.....	91
CAPÍTULO 10. DELIMITACIONES.....	83
CAPÍTULO 11. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	95
CAPÍTULO 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
CÁPITULO 13. APÉNDICE.....	109

## Siglas y Abreviaturas

Las abreviaturas se han reseñado por orden alfabético.

ANOVA	Analysis of variance
bm	body mass
BMD	Bone mineral density
BMC	Bone mineral content
C	Cortisol
CG	Control group
CMJ	Counter-movement jump
CO	Gasto cardíaco
DEXA	Densitometry
FC	Frecuencia cardíaca
EMG	Actividad eléctrica del músculo
ECG	Electrocardiograma
F	Female (mujer)
FFM	Fat free mass
FM	Fat mass
g	Medida intuitiva de aceleración. 1G es igual a la gravedad estándar, que es de 9.80665 m/s <sup>2</sup>
G-PAQ	Questionnaire to assess physical activity level
h	Vertical height
ICC	Test-retest reliability
GH	Hormona del crecimiento
GL	WBV training with low amplitudes (2 mm)
GH	WBV training with high amplitudes (4 mm)
Hz	Hertzio
IMC	Índice de masa corporal
Kgf	Kilogramo fuerza
M	Male (hombre)
mm	Milímetros
MIP	Maximum instantaneous power
PAM	presión arterial media
PAS	presión arterial sistólica
PAD	presión arterial diastólica
Pmax	Maximun mechanical power
RFD	Rate of force development
RFDmax	Ratio of maximum development of strength
s	Segundo
SD	desviaciones estándar
SJ	No counter-movement jump
T	Testosterona
TorqF	Peak torque in knee extension
TPR	Resistencia periférica total
VO <sub>2</sub> max	Consumo máximo de oxígeno
W	Week
WBV	Whole-body vibration

ESTA TESIS ES UN COMPENDIO DE TRABAJOS PREVIAMENTE PUBLICADOS. A CONTINUACIÓN SE CITAN LAS REFERENCIAS COMPLETAS DE DICHOS ARTÍCULOS.

#### **ART. 1**

MARTÍNEZ-PARDO E, ALCARAZ PE, MARTÍNEZ-RUIZ E, RUBIO-ARIAS JA. EFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CUALIDADES FÍSICAS EN ADULTOS JÓVENES FÍSICAMENTE ACTIVOS. NUTRICIÓN HOSPITALARIA, 2015; 32(5).

FECHA DE PUBLICACIÓN: AGOSTO DE 2015.

DATOS INDEX: DEP. LEGAL: M-34.850-1982    SOPORTE VÁLIDO: 19/05-R-CM    ISSN: 0212-1611    EISSN: 1699-5198    SOPORTE: SOPORTE@NUTRICIONHOSPITALARIA.COM  
FACTOR DE IMPACTO: 1,040

#### **ART. 2**

MARTÍNEZ-PARDO E E, ROMERO S, ALCARAZ PE. EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING IN ACTIVE ADULTS. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH. 2013; 27(7):1798-1806.

FECHA DE PUBLICACIÓN: JULIO 2013

DATOS INDEX: ISSN: 1064-8011    ONLINE ISSN: 1533-4287    RANKING: SPORT SCIENCES 23/81    FACTOR DE IMPACTO: 1,858

#### **ART. 3**

MARTÍNEZ-PARDO E, ROMERO-ARENAS S, MARTÍNEZ-RUIZ E, RUBIO-ARIAS JA, ALCARAZ PE. EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH. 2014; 28(11):3255-3263.

FECHA DE PUBLICACIÓN: NOVIEMBRE 2014

DATOS INDEX: ISSN: 1064-8011    ONLINE ISSN: 1533-4287    RANKING: SPORT SCIENCES 23/81    FACTOR DE IMPACTO: 2,075

***CAPÍTULO 1:***

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

---

## CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Introducción.

En la actualidad, un método que ha despertado especial interés en la población por su reciente aparición comercial, es el trabajo vibratorio. Ello, ha permitido y está permitiendo que muchos investigadores de diferentes ámbitos lleven a cabo numerosos estudios científicos acerca de los efectos que estas vibraciones ejercen sobre el cuerpo humano.

Esta modalidad de ejercicio está caracterizada por la transmisión de oscilaciones mecánicas sinusoidales. Básicamente, hay dos formas de aplicar las vibraciones al cuerpo humano durante el ejercicio. La primera de ellas consiste en aplicar la vibración directamente al vientre muscular (Humphries, Warman, Purton, Doyle y Dugan, 2004) o al tendón (Bongiovanni, Hagbarth y Stjernberg, 1990) del músculo que está siendo entrenado; el dispositivo vibratorio en este caso puede estar sujeto por la mano (Bosco, Cardinale y Tsarpela, 1999; Moras, Rodríguez-Jimenez, Tous-Fajardo, Ranz y Mujika, 2009) o por un soporte externo (Luo, McNamara y Moran, 2008; Moras, et al., 2009). La otra forma, es aquella en la que la vibración es aplicada indirectamente a la musculatura que se quiere entrenar; por ejemplo, las plataformas vibratorias, donde el individuo permanece en posición de sentadilla sobre la plataforma y, a través de los pies, las vibraciones emitidas se transmiten por todo el cuerpo (el término en inglés Whole-body vibration, WBV). La diferencia entre estos dos métodos es la magnitud de la vibración original que llega al músculo deseado. Con la vibración que se aplica directamente, la amplitud y frecuencia no difiere demasiado de los valores originales del dispositivo vibratorio. Por el contrario, cuando la aplicación de la vibración es de forma indirecta, puede suceder que la amplitud y la frecuencia sean atenuadas de forma no lineal por los tejidos blandos o la posición adoptada sobre la plataforma.

En función de cómo se aplique el estímulo pueden conseguirse unos u otros estímulos. Las vibraciones son algo común en nuestra vida diaria (medios de transporte, mundo laboral, deporte, etc.), aunque bajo el denominador común vibración, existe un mar de diferencias en cuanto a las características del estímulo y a sus implicaciones. Inicialmente se consideró como un estímulo perjudicial para el organismo, pues lo único que se sabía era su nocivo efecto en personas que, por su trabajo, eran sometidas a este estímulo durante largos periodos de tiempo, y a unas magnitudes más altas de lo que su biología podía soportar. En efecto, la Medicina del trabajo se encargó de estudiar este fenómeno y se elaboraron normativas específicas que regularon la exposición de las vibraciones en el mundo laboral. No obstante, el estímulo vibratorio al que eran sometidos estos trabajadores se caracterizaba por una baja o muy alta

frecuencia, una alta amplitud y una larga duración de exposición. Con el tiempo, se han ido desarrollando aplicaciones de estas vibraciones con una clara adaptación de las variables que maneja, como son la frecuencia y la amplitud de vibración, tiempo de exposición y ejercicios o posturas sobre las que se aplica la vibración. Todas estas variables condicionan la respuesta del cuerpo humano a la vibración (Cardinale y Pope, 2003). A raíz de dichas adaptaciones, se empezaron a descubrir los efectos beneficiosos que las vibraciones tenían sobre el organismo humano.

Gran cantidad de investigadores se han referido a los diferentes efectos agudos, o a largo plazo, que las vibraciones provocan en el organismo; incremento de la temperatura intramuscular (Cochrane, Stannard, Sargeant y Rittweger, 2008), aumento del flujo sanguíneo de la piel (Lohman, Petrofsky, Maloney-Hinds, Betts-Schwab y Thorpe, 2007; Maloney-Hinds, Petrofsky y Zimmerman, 2008; Rittweger, Beller y Felsenberg, 2000), mejora el control postural (Bogaerts, Verschueren, Delecluse, Claessens y Boonen, 2007; Moezy, Olyaei, Hadian, Razi y Faghihzadeh, 2008; van Nes, Geurts, Hendricks y Duysens, 2004), mejora de la estabilidad de la rodilla (Melnik, Kofler, Faist, Hodapp y Gollhofer, 2008), efectos sobre la flexibilidad (Kinser et al., 2008), efectos sobre la respuesta hormonal (Bosco et al., 2000; Cardinale, Leiper, Erskine, Milroy y Bell, 2006; Erskine, Smillie, Leiper, Ball y Cardinale, 2007; Kvorning, Bagger, Caserotti y Madsen, 2006), beneficios sobre el hueso (Cardinale, Leiper, Farajian y Heer, 2007; Davis, Sanborn, Nichols, Bazett-Jones y Dugan, 2010; Dolny y Reyes, 2008; Meyer et al., 2004; Mikhael, Orr y Fiatarone Singh, 2010; Rittweger et al., 2010; Totosy de Zepetnek, Giangregorio y Craven, 2009; Verschueren et al., 2004), efectos sobre la composición corporal (Jarska, Szczepanowska, Chudecka, Sieńko y Drozdowski, 2009; Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004), entre otros.

La mayor parte de trabajos científicos dedicados a conocer los efectos del entrenamiento vibratorio, han centrado su interés en explicar las ganancias de fuerza y potencia muscular que se producen con esta modalidad de entrenamiento. Estas ganancias se deben, principalmente, a adaptaciones a nivel neuromuscular (Cardinale y Bosco, 2003; Hazell et al., 2007; Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin y Stijnen, 2006). WBV provocan una sobrecarga que hace que la actividad eléctrica del músculo (EMG) cambie significativamente. El encargado de este aumento se denomina "reflejo tónico vibratorio". Este reflejo se produce cuando WBV estimula los nervios que van desde los receptores de un músculo (husos musculares y órganos tendinosos de Golgi) a la médula espinal. Una vez estimulados, estas fibras envían sus señales de vuelta al nervio motor, causando un aumento en la actividad del músculo, provocando tensión en respuesta a las vibraciones.

Estos beneficios están condicionados por una serie de parámetros, que son los que actualmente crean tanta controversia entre los distintos autores. Dichos parámetros son los que determinarán la carga de entrenamiento, en concreto la intensidad (frecuencia,

amplitud y aceleración) y el volumen (tiempo de exposición, tiempo de descanso, frecuencia semanal, distribución..), ya que dependiendo de la frecuencia, la amplitud, el tiempo de exposición a la vibración, el tiempo de descanso intermedio, la posición adquirida sobre la plataforma, se obtendrán diferentes adaptaciones. Además, no se obtienen los mismos efectos cuando la vibración es aplicada de forma aguda que cuando se aplica de manera prolongada en el tiempo, por lo que, para las adaptaciones a largo plazo será importante comprobar si la frecuencia semanal de entrenamiento puede influir en las posibles adaptaciones crónicas que provoca el entrenamiento vibratorio. La adquisición de una condición física muscular adecuada, y que permita mejorar el estado de salud, pasa por la necesidad de un entrenamiento que perdure en el tiempo, por lo que serán, las adaptaciones crónicas, las que mayor interés despierten a la hora de prescribir programas de entrenamiento dedicados a la mejora de la calidad de vida.

A la hora de determinar qué parámetros son los ideales para trabajar con plataformas vibratorias, Mester (Mester, Kleinoder y Yue, 2006) recomienda que se eviten frecuencias por debajo de 20 Hz. A su vez, si se tiene en cuenta el incremento de la actividad EMG, la frecuencia no debe superar los 50 Hz (Hazell et al., 2007), diferentes estudios comprobaron que una frecuencia de 50 Hz consigue mejores adaptaciones a largo plazo cuando se compara con frecuencias inferiores (Marín y Rhea, 2010). Existe también un rango muy amplio a la hora de establecer cuál debe ser la amplitud óptima de la vibración, parece ser que para una amplitud de 8 – 10 mm, se alcanzan mayores adaptaciones crónicas (Marin y Rhea, 2010) en comparación con amplitudes inferiores, aunque lo que sí parece estar claro son los límites de seguridad (1 – 10 mm) en los que debe estar la vibración cuando el organismo se expone a ella. La aceleración que el cuerpo humano puede alcanzar en una plataforma vibratoria es de 15 g (Cardinale y Wakeling, 2005). El tiempo de exposición a la vibración varía de 30 s a 1060 s, siendo un mayor volumen el más idóneo para conseguir adaptaciones a largo plazo (Marín y Rhea, 2010). En cuanto al tiempo de descanso entre series varía de 30 s a 360 s, aunque la mayoría de los estudios utilizan 60 s al comprobar que después de 1 min descienden los efectos agudos de la vibración (Cormie, Deane, Triplett, y McBride, 2006). La posición más utilizada sobre la plataforma es el ejercicio estático en media sentadilla, con un ángulo en la articulación de la rodilla de 120°, debido a las elevadas diferencias en la actividad EMG (Hazell et al., 2007) frente a otros ángulos, sin embargo, últimamente se ha comprobado que produce mayores adaptaciones, en estudios a largo plazo, el ejercicio dinámico frente al estático (Marín y Rhea, 2010).

Debido a la importancia de aportar algo de luz a este complejo entramado, surge la necesidad de revisar la bibliografía existente para conocer los estudios que se han realizado hasta el momento con una población adulta sana. A su vez, existe un déficit de investigaciones que se centran en la carga óptima del entrenamiento para este tipo de población. Por todo ello, con la intención de llevar a cabo una serie de



investigaciones con dicha población de características similares que nos permita conocer los efectos crónicos que producen diferentes entrenamientos vibratorios modificando la frecuencia semanal y la amplitud, se plantean los siguientes estudios. En ellos, se cuantificarán sus efectos sobre la composición corporal y el rendimiento del sistema músculo-esquelético, la fuerza y la potencia mecánica del tren superior e inferior.

## **1.2. Hipótesis.**

Estudio 2:

- El programa de entrenamiento WBV con vibración de amplitud alta produce un aumento de la potencia mecánica en adultos jóvenes y sanos, mientras que el entrenamiento WBV con amplitud baja no.
- El programa de entrenamiento WBV con vibración de amplitud alta produce un aumento de la fuerza en adultos jóvenes y sanos, mientras que el entrenamiento WBV con amplitud baja no.
- El programa de entrenamiento WBV con vibración de amplitud alta produce un aumento de la masa muscular en adultos jóvenes y sanos, mientras que el entrenamiento WBV con amplitud baja no.

Estudio 3:

- El programa de entrenamiento WBV de tres días, produce un aumento de la potencia mecánica, en los adultos jóvenes y sanos, mientras que un entrenamiento de dos días no.
- El programa de entrenamiento WBV de tres días, produce un aumento de la fuerza en los adultos jóvenes y sanos, mientras que un entrenamiento de dos días no.
- El programa de entrenamiento WBV de tres días, produce un aumento de la masa muscular en los adultos jóvenes y sanos, mientras que un entrenamiento de dos días no.

### 1.3. Objetivos.

Estudio 1:

- Revisar el estado actual del tema relacionado con el entrenamiento vibratorio y su efecto en población adulta joven.

Estudio 2:

- Estudiar los efectos, cuando se utiliza WBV, de dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) en el desarrollo de la fuerza de las extremidades inferiores en adultos activos.
- Estudiar los efectos, cuando se utiliza WBV, de dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) en la potencia mecánica de los músculos de las extremidades inferiores.
- Estudiar los efectos, cuando se utiliza WBV, de dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) en la composición corporal en adultos activos.

Estudio 3:

- Estudiar los efectos que se producen cuando se utiliza WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>) en el desarrollo de la fuerza de las extremidades inferiores en adultos activos.
- Estudiar los efectos que se producen cuando se utiliza WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>) en el desarrollo de la potencia mecánica de los músculos de las extremidades inferiores en adultos activos.
- Estudiar los efectos que se producen cuando se utiliza WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>) en la composición corporal en adultos activos.

***CAPÍTULO 2:***

**VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS**

---

## CAPÍTULO 2. VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS.

Estudio N°1:

EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING ON BODY COMPOSITION  
AND PHYSICAL FITNESS IN RECREATIONALLY ACTIVE YOUNG ADULTS

EFFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO SOBRE LA  
COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CAPACIDADES FÍSICAS EN ADULTOS  
JÓVENES FÍSICAMENTE ACTIVOS

### Resumen

En la última década se ha sugerido que la práctica de ejercicio a través de las vibraciones de todo el cuerpo (WBV) puede incrementar el rendimiento neuromuscular y, consecuentemente, incidir en la mejora muscular, ya sea como respuesta aguda a la vibración o como adaptación crónica al entrenamiento. Las plataformas vibratorias generan frecuencias que van de 5 a 45 Hz y desplazamientos verticales de 1 a 11 mm de pico a pico, incidiendo en una mayor o menor aceleración modificando la intensidad al combinar frecuencia y amplitud. El entrenamiento vibratorio, tanto en una sesión como en varias, ofrece diferentes resultados en lo que se refiere a cambios en la composición corporal, así como en el incremento del salto vertical, la velocidad de carrera y las diferentes manifestaciones del rendimiento de la fuerza. Estos resultados tan prometedores aguardan futuras investigaciones que establezcan unos parámetros (duración, frecuencia y amplitud) con estímulo vibratorio en sujetos jóvenes activos. Esta revisión bibliográfica ofrece una recopilación actualizada de la evidencia científica sobre las vibraciones corporales con el fin de responder a la cuestión de si las WBV, entendidas como el ejercicio que incrementa la carga gravitacional, son una opción de tratamiento si el objetivo es mejorar la función neuromuscular, la flexibilidad, el equilibrio, la agilidad, la coordinación o la composición corporal.

ESTUDIO N°2:

EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY  
VIBRATION (WBV) TRAINING IN ACTIVE ADULTS.

EFEECTO DE DIFERENTES AMPLITUDES (ALTA VS BAJA) EN EL  
ENTRENAMIENTO VIBRATORIO DE TODO EL CUERPO EN ADULTOS ACTIVOS.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of two different amplitudes of whole-body vibrations on the development of strength, mechanical power of the lower limb, and body composition. Thirty-eight recreationally active participants took part in the study. Participants were divided in two experimental groups (low amplitude group [GL] = 2 mm; high amplitude group [GH] = 4 mm) and a control group. The experimental groups performed an incremental vibratory training, 2 days per week during 6 weeks. The frequency of vibration (50 Hz), time of work (60 seconds), and time of rest (60 seconds) were constant for GL and GH groups. All the participants were on the platform in a static semi-squat position. Maximum isokinetic strength, body composition, and performance in vertical jumps (squat and countermovement jumps) were evaluated at the beginning and at the end of the training cycle. A significant increase of isokinetic strength was observed in GL and GH at angular velocities of  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ ,  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  and  $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Total lean mass was significantly increased in GH ( $0.9 \pm 1.0$  kg). There were no significant changes in the total fat mass in any of the groups. Significant changes were not observed in different variables (height, peak power, and rate of force development) derived from the vertical jumps for any of the groups submitted to study. The vibration training, whatever the amplitude, produced significant improvements in isokinetic strength. However, high vibration amplitude training presents better adaptations for hypertrophy than the training with low vibration amplitude. In this sense, GH would be a better training if the practitioners want to develop both strength and hypertrophy of the lower limbs.

ESTUDIO N°3:

EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS

EFFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VARIANDO EL NÚMEROS DE SESIONES POR SEMANA EN ADULTOS ACTIVOS

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of whole-body vibration by varying the training frequency (2 or 3 sessions per week) on the development of strength, body composition, and mechanical power. Forty-one (32 men and 9 women) recreationally active subjects ( $21.4 \pm 3.0$  years old;  $172.6 \pm 10.9$  cm;  $70.9 \pm 12.3$  kg) took part in the study divided in 2 experimental groups (G2 = 2 sessions per week, G3 = 3 sessions per week) and a control group (CG). The frequency of vibration (50 Hz), amplitude (4 mm), time of work (60 seconds), and time of rest (60 seconds) were constant for G2 and G3 groups. Maximum isokinetic strength, body composition, and performance in vertical jumps were evaluated at the beginning and the end of the training cycle. A statistically significant increase of isokinetic strength was observed in G2 and G3 at angular velocities of 60, 180, and  $270^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ . Total fat-free mass was statistically significantly increased in G2 ( $0.9 \pm 1.0$  kg) and G3 ( $1.5 \pm 0.7$  kg). In addition, statistically significant differences between G3 and CG ( $1.04 \pm 1.7\%$ ) ( $p = 0.05$ ) were found. There were no statistically significant changes in the total fat mass, fat percentage, bone mineral content, and bone mineral density in any of the groups. Both vibration training schedules produced statistically significant improvements in isokinetic strength. The vibration magnitude of the study presented an adaptation stimulus for muscle hypertrophy. The vibration training used in this study may be valid for athletes to develop both strength and hypertrophy of the lower limbs.

***CAPÍTULO 3:***

ESTUDIO Nº1: EFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO  
COMPLETO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS  
CAPACIDADES FÍSICAS EN ADULTOS JÓVENES FÍSICAMENTE  
ACTIVOS

---

**CAPÍTULO 3. ESTUDIO N°1:****EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING ON BODY COMPOSITION AND PHYSICAL FITNESS IN RECREATIONALLY ACTIVE YOUNG ADULTS****EFFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CAPACIDADES FÍSICAS EN ADULTOS JÓVENES FÍSICAMENTE ACTIVOS****3.1. Introducción**

El entrenamiento vibratorio de cuerpo entero (WBV) ha aumentado su popularidad como una alternativa al entrenamiento convencional con pesas o como un entrenamiento complementario, ya que ofrece una cantidad importante de beneficios físicos, así como la mejora de la fuerza muscular, flexibilidad, rango de movimiento, densidad ósea y circulación sanguínea (Kholvadia & Baard, 2012).

Este tipo de estímulo vibratorio está caracterizado por la transmisión de oscilaciones mecánicas sinusoidales en las que la vibración es aplicada indirectamente a la musculatura que se quiere entrenar a través de una plataforma vibratoria, donde el individuo permanece en posición de semiflexión de piernas sobre su superficie y, a través de los pies, las vibraciones emitidas se transmiten por todo el cuerpo (Figura 1). Estas vibraciones permiten una adaptación atendiendo a las variables que se manejan, como son la frecuencia (Hz) y la amplitud (mm) de vibración, el tiempo de exposición y recuperación y los ejercicios o posturas que se utilizan sobre la plataforma. Este tipo de dispositivo administra vibraciones sinusoidales a todo el cuerpo con frecuencias que oscilan entre 5 y 45 Hz (Cochrane et al., 2008) y desplazamientos verticales de 1 a 11 mm (Dolny & Reyes, 2008). Cuando las vibraciones se aplican a largo plazo, las frecuencias oscilan entre 26 y 45 Hz y las amplitudes se encuentran en un rango entre 2 y 10 mm si atendemos a la revisión de 14 estudios longitudinales que ofrece Rehn et al. (2007) (Rehn, Lidstrom, Skoglund, & Lindstrom, 2007). En dicha revisión aparecen 5 artículos con jóvenes sanos los cuales entrenaron con frecuencias entre 26 y 40 Hz y amplitudes entre 2 y 10 mm. Todas estas variables condicionan la respuesta del cuerpo humano a la vibración (Cardinale & Pope, 2003).





Figura 1. Disposición del sujeto sobre la plataforma. El sujeto permanece sobre la plataforma manteniendo una posición isométrica de cuarto de sentadilla con los pies a la anchura de los hombros (Martínez-Pardo, Romero-Arenas, & Alcaraz, 2013).

Gran cantidad de investigadores hacen referencia a la incidencia de las vibraciones sobre el organismo cuando los efectos son agudos, o cuando las adaptaciones se producen a largo plazo. Dichas adaptaciones a esta forma popular de entrenamiento, han proporcionado efectos beneficiosos sobre la salud ósea (Gilsanz et al., 2006), la composición corporal (Lamont et al., 2011; Martínez-Pardo et al., 2013), el perfil hormonal (Bosco et al., 2000) o el rendimiento muscular (Delecluse, Roelants, & Verschueren, 2003; Jacobs & Burns, 2009; Martínez-Pardo et al., 2013; Roelants, Delecluse, Goris, & Verschueren, 2004; Spiliopoulou, Amiridis, Tsigganos, Economides, & Kellis, 2010).

Estos beneficios están condicionados por una serie de parámetros, que son los que actualmente crean tanta controversia entre los distintos autores. Dichos parámetros son los que determinarán la carga de entrenamiento, en concreto la intensidad (frecuencia, amplitud y aceleración) y el volumen (tiempo de exposición, tiempo de descanso, frecuencia semanal y distribución), ya que dependiendo de cómo se combine la

frecuencia, la amplitud, el tiempo de exposición a la vibración, el tiempo de descanso intermedio, la posición adquirida sobre la plataforma, se obtendrán diferentes adaptaciones. Además, no se obtienen los mismos efectos cuando la vibración es aplicada en una sola sesión que cuando se aplica durante un periodo tiempo, por lo que, para las adaptaciones a largo plazo es posible que la frecuencia semanal de entrenamiento pueda influir en las posibles adaptaciones crónicas que provoca el entrenamiento vibratorio. La adquisición de una condición física muscular adecuada que permita mejorar el estado de salud, pasa por la necesidad de un entrenamiento que perdure en el tiempo, por lo que serán las adaptaciones crónicas las que mayor interés despierten a la hora de prescribir programas de entrenamiento dedicados a la mejora de la calidad de vida.

Debido a la importancia de comprender este complejo entramado, surge la necesidad de elaborar una revisión de estudios longitudinales centrada en los jóvenes activos y sanos de características similares, donde se plasme la relación entre los distintos tipos de entrenamiento y los efectos que generan sobre el rendimiento de diferentes cualidades físicas, el equilibrio y la composición corporal en jóvenes sanos.

### **3.2. Composición corporal**

La actividad física es uno de los pilares fundamentales cuando el objetivo es la pérdida de peso, ya que conduce a un aumento del gasto de energía. Sin embargo, los efectos que produce el entrenamiento con WBV sobre el porcentaje de masa grasa corporal (MG) o masa libre en grasa (MLG) no se han documentado en exceso en la literatura científica actual, sobre todo en jóvenes activos y sanos. A su vez, dicha población ha sido objeto de pocos estudios entorno a los efectos que generan las WBV sobre el tejido óseo.

#### **Masa muscular**

Muchos estudios han sugerido que el entrenamiento vibratorio puede afectar a la fuerza muscular (Delecluse et al., 2003; Issurin, Liebermann, & Tenenbaum, 1994; Jacobs & Burns, 2009; Martínez-Pardo et al., 2013; Roelants et al., 2004; Spiliopoulou et al., 2010) y a la potencia (Lamont et al., 2008; Martínez-Pardo et al., 2013; Paradisis & Zacharogiannis, 2007; Poston, Holcomb, Guadagnoli, & Linn, 2007; Ronnestad, 2004; Torvinen et al., 2002; Torvinen et al., 2003). Sin embargo, pocos son los estudios se han centrado en características morfológicas como la composición corporal de jóvenes sanos.

El estudio de Martínez-Pardo et al. (2013) (Martínez-Pardo et al., 2013) evaluaba los efectos de dos amplitudes diferentes de WBV sobre la composición corporal. Treinta y ocho sujetos jóvenes y activos participaron en el estudio dividiéndose en dos grupos experimentales (GL = 2 mm; GH = 4 mm) y un GC. Los grupos experimentales

realizaron un entrenamiento vibratorio progresivo 2 días a la semana durante 6 semanas. La frecuencia de vibración (50 Hz), tiempo de trabajo (60 s) y el tiempo de recuperación (60 s) fueron constantes para GL y GH. Todos los participantes adoptaron una posición estática con semiflexión de piernas sobre la plataforma. Tras valorar la composición corporal, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el cambio en la MG después del entrenamiento de vibración. Sin embargo, la MLG aumentó significativamente en GH entre el pre-test y post-test, sin cambios significativos en GL y el GC. Hay varios estudios que sugieren que la hipertrofia muscular puede deberse a una respuesta hormonal inducida por la vibración. El ejercicio sobre una plataforma vibratoria provoca reacciones endocrinas que pueden ser entendidas como señales producidas por el efecto del entrenamiento (Virus, 1992). Estas respuestas hormonales se manifiestan con un aumento de la testosterona (Bosco et al., 2000), de la hormona de crecimiento (Bosco et al., 2000; Cardinale & Erskine, 2008; Kvorning, Bagger, Caserotti, & Madsen, 2006), de las catecolaminas (Goto & Takamatsu, 2005), de la síntesis de proteínas (Wilcock, Whatman, Harris, & Keogh, 2009) y en una disminución de cortisol (Bosco et al., 2000; Kvorning et al., 2006). La literatura científica muestra que hay un mayor aumento en la producción de la hormona del crecimiento con la exposición a la WBV (Bosco et al., 2000; Kvorning et al., 2006). Estos efectos endocrinos podrían explicar el aumento de MLG después del entrenamiento vibratorio. Similares resultados presenta el estudio de Roelants et al. (Roelants et al., 2004), que evaluaron la composición corporal de 48 mujeres jóvenes tras 24 semanas de entrenamiento vibratorio (35-40 Hz, 2,5 a 5,0 mm), obteniendo un aumento significativo del 2,2% en la MLG entre el pre-test y post-test. En el estudio de Martínez-Pardo et al. (Martínez-Pardo et al., 2013), se observó un aumento del 1,6% en el grupo de GH con solo 6 semanas de entrenamiento. Lamont et al. (Lamont et al., 2011) encontraron resultados similares en los cambios de masa corporal magra (en comparación con el GC) evaluada en 36 hombres (18-30 años) mediante DXA cuando se utilizó un programa de entrenamiento vibratorio (50 Hz, 2-4 mm) de una duración similar (6 semanas) combinado con el ejercicio de sentadillas. En la misma línea de resultados encontramos el estudio de Osawa & Oguma (Osawa & Oguma, 2013) donde se mostraba que 13 semanas de entrenamiento vibratorio combinado con un entrenamiento de pesas era más efectivo para generar hipertrofia muscular (+ 10,7% en el área de la sección transversal del psoas mayor) que el entrenamiento de fuerza por sí sólo (+3,8%).

### **Masa ósea**

La incidencia de la osteoporosis, se manifiesta en la edad avanzada. Sin embargo, podría reducirse mediante el aumento del pico de masa ósea durante la juventud. Pocos son los trabajos que han estudiado el efecto de las vibraciones sobre el tejido óseo en jóvenes (Gilsanz et al., 2006; Torvinen et al., 2003). Gilsanz et al. (Gilsanz et al.,

2006) realizaron una investigación de 12 meses utilizando un programa de WBV con 48 mujeres saludables (15-20 años) que al menos habían tenido una fractura ósea antes del estudio. Se evaluaron tanto la dieta y la actividad física como la composición ósea y muscular. La mitad de los sujetos se sometieron diariamente a WBV (30 Hz; 0,3 g) y la otra mitad conformaba el GC. Una vez finalizado el estudio obtuvieron que el hueso esponjoso en la vértebra lumbar y el hueso cortical en la diáfisis femoral del grupo experimental había aumentado en un 2,1% ( $p = 0,025$ ) y un 3,4% ( $p < 0,001$ ), respectivamente, en comparación con un 0,1% ( $p = 0,74$ ) y un 1,1% ( $p = 0,14$ ) en el GC. El incremento en el hueso esponjoso y cortical fue 2,0% ( $p = 0,06$ ) y 2,3% ( $p = 0,04$ ) mayor, respectivamente, en el grupo experimental en comparación con el GC. El área de sección transversal de la musculatura paravertebral fue un 4,9% mayor ( $p = 0,002$ ) en el grupo experimental que en el GC. Los datos de este estudio indican que la formación de hueso y músculo puede mejorarse en mujeres jóvenes con baja densidad mineral ósea (DMO) a través de una exposición diaria de señales mecánicas de baja magnitud. Este estudio apoya la presencia de que las señales mecánicas, en el orden de que la magnitud esté por debajo de aquella que cause daño en la matriz del hueso (Carter, Caler, Spengler, & Frankel, 1981), puede mejorar el desarrollo musculoesquelético.

El estudio de Gilsanz et al. (Gilsanz et al., 2006) ofrece pruebas de que la carga de vibración puede ser una manera eficaz y segura para mejorar la DMO del hueso, proporcionando de este modo un gran potencial para la prevención y tratamiento de la osteoporosis. Sin embargo, Torvinen et al. (Torvinen et al., 2003) no hallaron los mismos resultados en un ensayo aleatorio controlado diseñado para evaluar los efectos de la intervención con WBV en el hueso. Para dicho estudio contaron con cincuenta y seis adultos jóvenes y sanos (21 hombres y 35 mujeres; edad: 19-38 años) asignados al azar en un grupo experimental (WBV) y un GC. La intervención consistió en una serie de WBV durante 8 meses (4 min/día, 3-5 veces por semana). Durante el programa de vibración la plataforma osciló en un orden ascendente desde 25 hasta 45 Hz. Se evaluó la masa, estructura, y la fuerza estimada de hueso en la tibia distal y en la diáfisis tibial mediante tomografía computarizada cuantitativa periférica (pQCT) al inicio y a los 8 meses. El contenido mineral óseo (CMO) se midió en la columna lumbar, cuello del fémur, trocánter, el calcáneo y el radio distal mediante absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) al inicio del estudio y después de la intervención de 8 meses. Se determinaron marcadores séricos de recambio óseo tanto al inicio como al finalizar del estudio. La intervención con vibraciones no tuvo ningún efecto sobre la masa, estructura, o la fuerza estimada de hueso en ninguna de las partes valoradas del esqueleto y los marcadores séricos del recambio óseo no variaron. En la misma línea de resultados se encuentra el estudio de Milanese et al. (Milanese, Piscitelli, Simoni, & Zancanaro, 2011), donde 36 mujeres sanas (edad =  $25,3 \pm 5,26$  años) se sometieron a 8 semanas de ejercicio con WBV (2 sesiones / semana; 2,0-5,0 mm; 40-60 Hz). El CMO y la DMO se evaluaron antes y después del entrenamiento con WBV mediante DXA. Los

resultados mostraron que el tejido óseo valorado en todo el cuerpo y a nivel regional no se vieron afectados de manera significativa tras el periodo de entrenamiento.

### **Masa Grasa**

Como describe el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM), la actividad física de intensidad moderada durante más de 250 min • wk<sup>-1</sup> se ha asociado con una pérdida significativa de peso (Donnelly et al., 2009). Sin embargo, hasta el momento, es difícil establecer un patrón de entrenamiento vibratorio donde se asegure una pérdida de tejido adiposo. Así lo demuestra el estudio de Paradisis y Zacharogiannis (Paradisis & Zacharogiannis, 2007) donde no aparecen cambios significativos en el porcentaje de grasa corporal en veinticuatro jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres; edad: 21,3 ± 1,2 años) tras 6 semanas de entrenamiento vibratorio (3 entrenamientos semanales; 30 Hz; 2,5 mm) y, aunque Roelants et al. (Roelants et al., 2004) demostraron que el entrenamiento WBV provocaba un pequeño aumento en la MLG, no hallaron una reducción de la grasa corporal en cuarenta y ocho mujeres desentrenadas (edad: 21,3 ± 2,0 años). Sin embargo, Una reciente revisión concluye que el entrenamiento WBV parece estar asociado con la pérdida de peso debido a la inhibición de la adipogénesis y reducción de la MG, aumento del gasto energético, y un aumento en la masa muscular (Cristi-Montero, Cuevas, & Collado, 2013). Por ello, cuando se trata de explicar los efectos del WBV, cabe tener en cuenta que WBV puede provocar respuestas secundarias a través de la interacción entre los diferentes sistemas: el óseo, muscular, sistema endocrino, sistema nervioso y vascular (Prisby, Lafage-Proust, Malaval, Belli, & Vico, 2008).

### **3.3. Fuerza**

La mayor parte de trabajos científicos dedicados a conocer los efectos del entrenamiento vibratorio, han centrado su interés en explicar las ganancias de fuerza y potencia muscular que se producen con esta modalidad de entrenamiento. Estas ganancias son debidas principalmente por adaptaciones a nivel neuromuscular (Cardinale & Bosco, 2003; Hazell, Jakobi, & Kenno, 2007; Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin, & Stijnen, 2006). Sin embargo, el entrenamiento con WBV no produce siempre los mismos efectos, así lo demuestran los siguientes estudios que se centran en valorar diferentes formas de generar fuerza en miembros superiores e inferiores tras un periodo de entrenamiento vibratorio en jóvenes sanos.

### **Fuerza máxima isoinercial**

La evaluación isoinercial parece reflejar bien los gestos y movimientos de entrenamiento y competición propios de una gran variedad de deportes, en los que se producen acciones repetidas de aceleración y desaceleración (Cronin, McNair, & Marshall, 2003; Jidovtseff et al., 2006; Jidovtseff et al., 2007; Murphy & Wilson, 1996). Además, la evaluación isoinercial parece ser un procedimiento sensible para realizar un seguimiento longitudinal de los cambios que se producen en los niveles de fuerza como consecuencia del entrenamiento (Abernethy & Jurimae, 1996).

### **Fuerza isocinética**

#### **Miembros inferiores**

Diferentes autores han publicado que WBV aumenta la fuerza dinámica de los músculos de las extremidades inferiores en sujetos activos o no entrenados (Delecluse et al., 2003; Jacobs & Burns, 2009; Roelants et al., 2004; Spiliopoulou et al., 2010). Delecluse et al. (Delecluse et al., 2003) investigaron el efecto de un período de 12 semanas de entrenamiento con WBV (35-40 Hz) sobre la fuerza de los extensores de rodilla en sesenta y siete mujeres no entrenadas ( $21,4 \pm 1,8$  años). Todos los grupos de entrenamiento realizaron ejercicio 3 veces por semana a excepción del GC. La fuerza isométrica y dinámica de los extensores de rodilla se incrementó significativamente ( $p < 0,001$ ) tanto en el grupo WBV ( $16,6 \pm 10,8\%$ ;  $9,0 \pm 3,2\%$ ) como en el grupo que entrenó con pesas ( $14,4 \pm 5,3\%$ ;  $7,0 \pm 6,2\%$ ), mientras que el grupo placebo y control no mostraron ningún aumento significativo. Similares resultados encontramos en una muestra de treinta y ocho jóvenes activos (30 hombres y 8 mujeres;  $21,2 \pm 3,3$  años), en los que se evaluó los efectos que produce el uso de dos amplitudes diferentes (GL = trabajó con baja amplitud de 2 mm; GH = trabajado con alta amplitud de 4 mm) de WBV (50 Hz) sobre el desarrollo de la fuerza y la potencia mecánica de la extremidad, observándose un aumento significativo de la fuerza isocinética en GL y GH a velocidades angulares de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$  (Martínez-Pardo et al., 2013). Así mismo, el estudio de Esmaeilzadeh et al. (2015) sugiere que 8 semanas de entrenamiento WBV (3 veces por semana; 30 Hz, 2-6 mm) es un método eficaz para la mejora significativa de la fuerza de los extensores de rodilla, en el pico torque concéntrico ( $p = 0,004$ ) y excéntrico ( $p = 0,031$ ), en mujeres jóvenes sanas (Esmaeilzadeh, Akpinar, Polat, Yildiz, & Oral, 2015). Sin embargo, algunos estudios realizados con población físicamente activa, no aportan cambios significativos en la fuerza de los extensores de la rodilla después de un programa de 8 semanas de WBV (20-40 Hz; 2,5-5 mm) combinado con un entrenamiento de pesas (Artero et al., 2012), 11 semanas de entrenamiento con WBV (30 Hz, 8 mm, 8 min) (16) o tras 4 meses de WBV (25-35 Hz, 2 mm, 4 min) (Torvinen et al., 2002).

### **Miembros superiores**

Los efectos vibratorios sobre la potencia o fuerza del tren superior han sido menos estudiados. La vibración a través de los pies proporciona un estímulo para el rendimiento de los extensores del codo, mejorando el número de repeticiones completadas y la velocidad media (Marín, Herrero, Sainz, Rhea, & García-López, 2010). Diferentes estudios donde se utilizaron resistencias han demostrado que el entrenamiento WBV da como resultado adaptaciones musculares significativas. Así se muestra en el estudio de Issurin et al. (Issurin et al., 1994) donde aparece un aumento significativo de la fuerza como consecuencia de realizar levantamientos de curl de bíceps con una barra ensamblada a un cable vibratorio. En la misma línea de resultados encontramos el estudio de Bosco et al. (Bosco, Cardinale, & Tsarpela, 1999) donde se produjo un incremento post-vibración del 8% en la potencia media del bíceps braquial en 12 boxeadores internacionales que agarraban de forma isométrica un dispositivo de vibración manual (30 Hz; 6 mm). Además, otro estudio que muestra la mejora de la potencia del tren superior es el aportado por Poston et al. (Poston et al., 2007). Aplicando la vibración a una barra olímpica, 10 sujetos con experiencia en el levantamiento de pesas, realizaron 3 series de 3 repeticiones (70% 1RM) de press de banca con vibración (30 Hz; 1,1 mm) y sin ella en 2 sesiones (una sesión con vibración sirvió como condición experimental, mientras que la otra sesión sin vibración sirvió como control) separadas por 3 días. Como resultado, el pico y la potencia media fueron mayores después de la intervención vibratoria en comparación con la intervención sin vibraciones (control). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las series realizadas antes de la intervención con vibraciones mostraron salidas de potencia más altas en comparación con las que mostró la intervención control. Sin embargo, Cochrane & Hawke (2007) no han encontrado un incremento significativo en la potencia del tren superior en 12 escaladores activos y sanos que fueron expuestos a vibraciones (26 Hz; 3 mm) a través de una mancuerna (3kg) eléctrica (Cochrane & Hawke, 2007).

Cuando la vibración es aplicada durante varias semanas, es posible mejorar la fuerza máxima isotónica. Así concluye el estudio de Issurin et al. (Issurin et al., 1994) realizado con 28 sujetos activos (19-25 años) estudiantes de Educación Física, los cuales se sometieron a estimulación vibratoria (VS) aplicada a las extremidades superiores tres veces por semana durante 3 semanas. Para ello, se dividieron en tres grupos con la finalidad de realizar: (a) ejercicios convencionales de fuerza de brazos y ejercicios de estiramiento de piernas con VS; (b) ejercicios de fuerza de brazos con VS (44 Hz; 3 mm) y ejercicios de estiramientos convencionales para las piernas; (c) entrenamiento irrelevante (grupo control = GC). Dicha investigación, que utilizó un sistema de poleas donde la vibración se transmitía a través de un cable mientras se ejecutaba el ejercicio de curl de bíceps sentado, indujo a un aumento significativamente mayor en la fuerza concéntrica durante la flexión de codos en el grupo que entrenó la fuerza con VS (promedio de 49,8%), mientras que el entrenamiento de fuerza convencional

incrementó un 16,1% en el post-test. El GC no mostró ganancias en el 1RM. Similares resultados, sin ser éstos significativos, aparecen en el estudio de Eider et al. (2011) donde se muestran los efectos crónicos (8 semanas) de WBV (20 Hz; 2-5 mm) combinado con ejercicios estáticos y dinámicos submáximos con resistencias sobre las capacidades físicas de 37 mujeres jóvenes sanas (20-25 años). Para ello, fueron distribuidas aleatoriamente en dos grupos (experimental y control). El programa de entrenamiento constaba de 24 sesiones (3 sesiones por semana). Tanto los sujetos del grupo experimental como el control realizaron los mismos ejercicios de fuerza y potencia submáxima sobre la plataforma, solo que al GC no se le administró vibración. Se valoró la extensión máxima isocinética de los dos brazos (como si fueran flexiones) llegando a la conclusión que el entrenamiento con resistencias combinado con WBV es más eficiente en el incremento de la fuerza que el mismo entrenamiento convencional sin WBV. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre grupos (Eider et al., 2011).

### **3.4. Potencia**

#### **Saltos**

En la literatura científica encontramos una cantidad considerable de artículos que estudian los efectos de las vibraciones sobre el rendimiento del salto, sin embargo no son tantos los que se centran en sujetos sin experiencia atlética o que sólo realizan ejercicio físico de forma recreativa. Si bien, 6 de los estudios revisados sí encuentran mejoras significativas en el salto valorado, otros 4, hallan una tendencia positiva sin ser ésta significativa.

Cuando observamos (Tabla 1) la duración de los estudios que evalúan los efectos de WBV sobre el salto vertical, aparecen mejoras significativas en 3 de los estudios con una duración de 5-6 semanas (Lamont et al., 2008; Paradisis & Zacharogiannis, 2007; Ronnestad, 2004). En contraposición, uno de los estudios con 6 semanas de duración halló cambios no significativos en SJ y CMJ (Martínez-Pardo et al., 2013). Similares efectos aparecen en los estudios con 8 semanas de duración, donde no parecen ser significativos los efectos en la función muscular (Artero et al., 2012; Elmantaser et al., 2012). En estudios con una duración mayor, sí aparece una tendencia a incrementar la altura del CMJ tras 11 semanas de WBV (Rijkelijhuizen, de Ruiten, Huijing, & de Haan, 2003), mientras que tras 12 semanas dicho incremento sí fue significativo (Delecluse et al., 2003). La mejora significativa en el CMJ tras 4 y 8 meses de WBV aparece en dos estudios (Torvinen et al., 2002; Torvinen et al., 2003).



Tabla 1. Efectos de WBVT sobre el salto.

Autor/es	n	♂	♀	edad (años)	¿Estudio con GC?	Características sujetos	Dosis	Duración	Frecuencia semanal (veces / semana)	Test	Diferencias entre antes y después de WBVT	Conclusión
Artero et al. (2012)	29	25	4	21,8 ± 1,5	no	activos recreacionalmente	20-40 Hz; 2,5-5 mm	8 semanas	2	CMJ	Cambios NS en el CMJ	No mejoró el rendimiento muscular en comparación con un programa de ejercicios idénticos en ausencia de vibraciones
De Ruiter et al. (2003)	20	12	8	19,9 ± 0,6 / 20,7 ± 0,5	si	activos	30 Hz; 8 mm	11 semanas	3	CMJ	Tendencia (P = 0,71) a incrementar la altura del salto	Mejoras NS en la altura del salto
Delecluse et al. (2003)	67	67		21,4 ± 1,8	si	no entrenadas	35-40 Hz; 2,5-5 mm; 2,28-5,09 g	12 semanas	3	CMJ	↑CMJh = 7,6 ± 4,3%	WBVT induce ganancias en la fuerza de los extensores de las piernas
Elmantaser et al. (2012)	10	10		29-49	no	sanos	Plataforma Juvenit: 32-37 Hz; 0,085 mm; 0,3 g. Plataforma Galileo: 18-22 Hz; 4 mm; 2,6-3,8g.	8 semanas	3	CMJ	Efectos NS sobre la función muscular	No se hallaron cambios significativos en el rendimiento del salto
Lamont et al. (2008)	36	36		20-30	si	activos	50Hz; 2-6 mm	6 semanas	2	DJ 30cm; SJP	↑DJh = 8,49%; ↑ SJP = 7,29%	Combinar el entrenamiento de sentadillas con WBVT parece mejorar la potencia del salto
Martinez-Pardo et al. (2013)	38	30	8	21,2 ± 3,3	si	activos recreacionalmente	50 Hz; GL = 2 mm; GH = 4 mm	6 semanas	2	CMJ; SJ	Cambios NS en SJ y CMJ	El entrenamiento con vibraciones, independientemente de la amplitud, no produjo mejoras significativas en el salto vertical.
Paradis y Zacharogiannis (2007)	24	12	12	21,3 ± 1,2	si	sanos	30 Hz; 2,5 mm; 2,28 g	6 semanas	3	CMJ	↑CMJh = 3,3%; ↑30 CVJT = 7,8%	Cambios significativos en el rendimiento de la fuerza explosiva
Rønnestad (2004)	14	14		21-40	no	activos	40 Hz;	5 semanas	3	CMJ	↑CMJh = 9,1 ± 5,5%	Existe una tendencia de mejora en la F <sub>exp</sub> cuando se entrena sentadillas con vibraciones
Torvinen et al. (2002)	56	21	35	19-38	si	sanos	25-40 Hz; 2 mm; 2,5-6,4 g	4 meses	de 3 a 5	CMJ	A los 2 meses: ↑CMJ = 10,2%. A los 4 meses: ↑CMJ = 8,5%	4 meses de WBVT mejora la potencia del salto en adultos jóvenes
Torvinen et al. (2003)	56	21	35	19-38	si	sanos	25-45 Hz; 2 mm; 2-8 g	8 meses	de 3 a 5	CMJ	↑CMJh = 7,8%	8 meses de WBVT produce un beneficio neto de 7,8% en la altura del salto vertical (p = 0,003).

↑ = incremento; CMJ = Salto con contramovimiento; CVJT = Saltos realizados durante un periodo de 30 s; DJ30cm = Salto en profundidad desde 30 cm; EFI = Esslinger Fitness Index; Efficiency of movement: Relation between peak force and peak power of specific movement (normalized to mass, age and gender); Esslinger Fitness Index (E.F.I., in relation to mass, age and gender matched reference data); F<sub>exp</sub> = Fuerza explosiva; g = campo gravitacional de la Tierra, o 9,81m·s<sup>-2</sup>; GC = Grupo Control; GH = entrenamiento con amplitud de 4 mm; GL = entrenamiento con amplitud de 2 mm; h = altura; NS = no significativo; SJ = Squat Jump; p = potencia.

El objetivo del estudio de Paradisis y Zacharogiannis (Paradisis & Zacharogiannis, 2007) fue investigar el efecto de 6 semanas de WBV en el rendimiento de la fuerza explosiva de los miembros inferiores en 24 jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres;  $21,3 \pm 1,2$  años) que conformaban un grupo experimental que entrenaba con WBV (16-30 min / día; 3 veces a la semana; 2,5 mm; 30 Hz), y un GC, que no participó en ningún entrenamiento. El rendimiento de la fuerza explosiva mostró un aumento (3,3%) de la altura del salto en el CMJ y una mejora del 7,8% en la resistencia a la fuerza explosiva (CMJ 30 seg). En una muestra de edades similares y con 6 semanas más (12 semanas) de duración que en el estudio de Paradisis, Delecluse et al. (Delecluse et al., 2003) investigaron el efecto del entrenamiento con WBV (35-40 Hz) sobre la fuerza dinámica de los extensores de rodilla en sesenta y siete mujeres no entrenadas ( $21,4 \pm 1,8$  años). Todos los grupos de entrenamiento realizaron ejercicio 3 veces por semana a excepción del GC. La altura del CMJ incrementó significativamente ( $p < 0,001$ ) después de 12 semanas en el grupo WBV y permaneció sin cambios en el resto de grupos. La mejora inducida en el CMJ (7,6%) en el estudio de Delecluse es comprable con el incremento de un 8,5% en la altura del salto obtenida en el estudio de Torvinen et al. (2002) después de 4 meses de entrenamiento WBV (Torvinen et al., 2002). A su vez, Torvinen et al. (Torvinen et al., 2003) observaron mejoras en los resultados obtenidos en la altura del salto vertical (7,8%) tras una intervención WBV de 8 meses (4 min/día, 3-5 veces por semana, 25-45Hz; 2 mm) en jóvenes y adultos sanos (21 hombres y 35 mujeres; edad, 19-38 años). Sin embargo, Elmantaser et al. (Elmantaser et al., 2012) tras utilizar dos dispositivos vibratorios diferentes (plataforma Galileo y plataforma Juvent) 3 veces por semana con una muestra de 10 hombres sanos (edad media = 33 años) durante 8 semanas, no encontraron cambios significativos en el rendimiento del salto. Así mismo, Artero et al. (Artero et al., 2012) utilizaron un programa de WBV combinado con un entrenamiento de pesas con el mismo tiempo de duración (8 semanas), no observando cambios significativos en la fuerza explosiva de los miembros inferiores (CMJ). En la misma línea de resultados Martínez-Pardo et al. (Martínez-Pardo et al., 2013), tras seis semanas de entrenamiento WBV, no hallaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para cualquiera de los saltos realizados (SJ y CMJ) entre el pre-test y post-test. Resultados similares fueron encontrados por De Ruiter et al. (de Ruiter, Van Raak, Schilperoort, Hollander, & de Haan, 2003), que evaluaron los efectos de 11 semanas de WBV (30 Hz; 8 mm) sobre la altura del CMJ sin obtener mejoras significativas. Rønnestad (Rønnestad, 2004) tampoco encontró diferencias significativas en el rendimiento del CMJ entre los grupos que entrenaron mediante sentadillas y con sentadillas y vibración (40 Hz) durante 5 semanas, pero sí que halló mejoras significativas en el rendimiento del CMJ ( $p < 0,01$ ) en el grupo que entrenó con sentadillas y vibración. Dicho efecto positivo coincide con el estudio de Lamont et al. (Lamont et al., 2008) realizado con 36 hombres (20-30 años), donde se obtuvo una mejora en la altura del depth jump en los grupos que entrenaron mediante sentadillas sin vibración (9,45%) y con vibración (8,49%) tras 6 semanas.

### 3.5. Velocidad

El entrenamiento de la velocidad es una parte integral del entrenamiento tanto en atletas como en los deportes de campo y de pista. La mayoría de los entrenamientos de velocidad se centran en ejercicios cuya finalidad es el desarrollo de la aceleración y la velocidad máxima de carrera (Blazevich, 1997, 2007; Sheppard, 2004; Young, Benton, Duthie, & Pryor, 2001).

#### **Aceleración.**

La capacidad de aceleración se refiere a menudo al rendimiento de carrera sobre distancias cortas como son 5 ó 10 m (Murphy, Lockie, & Coutts, 2003). El siguiente estudio pretendía determinar si un programa de entrenamiento WBV de 6 semanas incidiría en la cinemática del sprint. Para ello contaron con veinticuatro jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres) que fueron divididos aleatoriamente ( $n = 12$ ) en un grupo experimental y un GC. El grupo WBV realizó un programa de entrenamiento de 6 semanas (3 veces por semana) sobre una plataforma vibratoria (2,5 mm; 30 Hz). El GC no participó en ningún tipo de entrenamiento. La duración del estímulo diario fue de 16 minutos, el cual constaba 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. El GC no participó en ningún tipo de entrenamiento. Los tests se desarrollaron antes y después del programa de entrenamiento (Paradisis & Zacharogiannis, 2007). El rendimiento de las carreras de velocidad fue valorado durante un sprint de 60 metros midiendo el tiempo y la velocidad de carrera. Los sprints se ejecutaron en una pista de atletismo cubierta con una temperatura constante de 25°C. El tiempo y la velocidad promedio en las distancias de 10 m, 20 m, 40 m, 50 m and 60 m se evaluó utilizando el Sistema de Cronometraje Broker (Brower, USA). Tras 6 semanas de entrenamiento, el grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de sprint en 10 m del 4,3% ( $p < 0,05$ ), mientras que en el GC no se observaron diferencias significativas. El grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de sprint en 20 m del 3,0% ( $p < 0,05$ ) mientras que en el GC no ofreció cambios significativos. A su vez, el análisis mostró que la velocidad de carrera entre los 0 y los 10 m se incrementó significativamente en un 4,9% ( $p < 0,05$ ), mientras que no se observaron cambios significativos en el GC. Considerando estos primeros metros de la carrera velocidad como la fase de aceleración, el estudio de Paradisis y Zacharogiannis (Paradisis & Zacharogiannis, 2007) ofreció mejoras significativas. Similares resultados aparecen en el estudio de Sarshin et al. (Sarshin, Mohammadi, Khadam, & Sarshin, 2010) donde 20 jóvenes (edad:  $21,5 \pm 1,4$  años) divididos aleatoriamente en un grupo experimental (GE) ( $n = 10$ ) y un GC ( $n = 10$ ) se entrenaron durante 4 semanas con WBV (3 sesiones / semana; 30 Hz; 10 mm). Tras evaluar al inicio y al final del periodo experimental, los resultados

mostraron una mejora notable y significativa en la aceleración del GE en los 5m ( $p \leq 0,001$ ) y 10m ( $p \leq 0,042$ ), sin encontrar diferencias significativas en el GC. En contraposición, Cochrane et al. (Cochrane, Legg, & Hooker, 2004) no hallaron diferencias significativas entre el GC y el GE tras 9 días de entrenamiento WBV (25 Hz; 10 mm) sobre la aceleración de carrera (test de 5, 10, y 20 m) en 24 sujetos sanos (16 hombres y 8 mujeres; edad =  $23,9 \pm 5,9$  años).

### **Velocidad máxima.**

El objetivo del estudio de Paradisis y Zacharogiannis (Paradisis & Zacharogiannis, 2007) fue investigar el efecto de 6 semanas de WBV en el rendimiento de la carrera de velocidad. Veinticuatro jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres;  $21,3 \pm 1,2$  años) participaron en el estudio. El grupo experimental realizó un programa de 6 semanas de entrenamiento con WBV (16-30 min / día, 3 veces a la semana; 2,5 mm; 30 Hz). El GC no participó en ningún entrenamiento. Las pruebas se realizaron antes y después del periodo de entrenamiento. El test de carrera de velocidad se midió mediante un sprint de 60 m donde se calculó el tiempo de carrera, la velocidad de carrera, la longitud de zancada y la cantidad de zancadas. El rendimiento en 10 m, 20 m, 40 m, 50 m y 60 m mejoró significativamente tras 6 semanas de entrenamiento WBV con una mejora general del 2,7%. La longitud de zancada y la velocidad de carrera mejoraron en un 5,1% y 3,6%, y la cantidad de zancadas disminuyó en un 3,4%. En la misma línea de resultados se encuentra la investigación de Sarshin et al. (2010), donde un grupo experimental (GE) ( $n = 10$ ) y un GC (GC) ( $n = 10$ ) de jóvenes, se sometieron a 4 semanas de entrenamiento WBV (3 sesiones / semana; 30 Hz; 10 mm). Tras comparar las valoraciones iniciales y finales con un test de velocidad, los resultados mostraron una mejora significativa en el GE, mientras que el GC no obtuvo diferencias destacables (Sarshin et al., 2010). Sin embargo, el estudio de Cole y Mahoney (2010) no presentó mejoras significativas en el test de velocidad al que se sometieron 8 estudiantes universitarios (6 hombres y 2 mujeres) antes y después de 5 semanas de entrenamiento vibratorio (2 sesiones / semana; 30-50 Hz; amplitud baja-alta) (Cole & Mahoney, 2010). En la misma línea de resultados se encuentra el estudio de Hosseini et al. (Hosseini, Rostamkhany, Hashemi, & Jalili, 2012), donde no se observó ninguna diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre los datos pre-test y post-test de los 3 grupos que integraban el estudio [1.- entrenamiento con vibración ( $n=30$ ); 2.- entrenamiento de fuerza ( $n=30$ ) y 3.- GC ( $n=30$ )] cuando se evaluó la velocidad de carrera (60 m) tras 6 semanas de entrenamiento vibratorio (4 sesiones / semana; 30 Hz; 10 mm). Así mismo, Cochrane et al. (2004) llegaron a la conclusión tras 9 días de entrenamiento con WBV (25 Hz; 10 mm), que no había diferencias estadísticamente significativas en los tiempos de los test de velocidad (20 m) (Cochrane et al., 2004).

### 3.6. Resistencia

#### VO<sub>2</sub>max

Algunos estudios analizan el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) para estimar el gasto energético relacionado con el ejercicio.

Rittweger et al. (Rittweger, Schiessl, & Felsenberg, 2001) mostraron que tras realizar una serie de 3 min sobre una plataforma WBV (26 Hz; 6 mm) aumentaba el VO<sub>2</sub> de 12 sujetos jóvenes y sanos (8 hombres y 4 mujeres) en comparación con el mismo ejercicio sin vibración. En otro estudio posterior, Rittweger et al. (Rittweger et al., 2002) demostraron que el VO<sub>2</sub> se incrementaba cuando se aumentaba la frecuencia (18-34 Hz) y la amplitud (2,5 a 7,5 mm) de la vibración. Así mismo, tras la monitorización del VO<sub>2</sub> durante 24 horas tras una sesión de entrenamiento WBV y una segunda sesión sin vibraciones, Hazell & Lemon (Hazell & Lemon, 2012) hallaron un incremento del 23% del VO<sub>2</sub> durante la sesión de entrenamiento WBV (45 Hz; 2 mm).

### 3.7. Flexibilidad

La investigación también se centra en conocer si el entrenamiento vibratorio puede influir en la flexibilidad muscular (van den Tillaar, 2006). La distensión muscular es una de las lesiones más comunes, resultando en una disminución del rango de movimiento (ROM) en la zona afectada. Con la intención de determinar si WBV tendrían un efecto positivo en la ganancia de flexibilidad (método de contracción-relajación) y de ese modo en el ROM de la musculatura isquiosural, Van den Tillaar et al. (van den Tillaar, 2006) realizaron un estudio con 19 estudiantes de la licenciatura de Educación Física (12 mujeres y 7 hombres; edad 21,5 ± 2,0 años). Los sujetos fueron asignados aleatoriamente, a un grupo de entrenamiento vibratorio (WBV) o a un GC. El protocolo de calentamiento consistía en 5 minutos de calentamiento general. Posteriormente, los sujetos de ambos grupos entrenaron sistemáticamente 3 veces por semana durante 4 semanas de acuerdo con el método de contracción-relajación, que consistía en realizar 3 veces una contracción isométrica de 5 segundos con cada pierna seguida de 30 segundos de estiramiento estático. Antes de cada ejercicio de estiramiento, el grupo WBV completaba un programa que consistía en WBV de pie en una posición en cuclillas sobre la plataforma con las rodillas flexionadas a 90° (30 segundos a 28 Hz, 10 mm de amplitud, 6 veces por sesión de entrenamiento). Los resultados mostraron que ambos grupos tenían un aumento significativo de flexibilidad isquiosural. Sin embargo, el grupo WBV mostró un aumento significativamente mayor (30%) en ROM que el GC (14%). Estos resultados indican que el entrenamiento WBV puede tener un efecto positivo adicional en la flexibilidad de los isquiotibiales cuando se combina con el método de contracción-relajación. Los autores

sugirieron tres mecanismos posibles para la mejora observada: 1. Un aumento del flujo sanguíneo local inmediatamente después del entrenamiento vibratorio. Este aumento de sangre en la zona genera calor y por lo tanto mejora la elasticidad muscular y facilita un posible incremento de ROM durante el ejercicio de estiramiento; 2. Un estiramiento del cuádriceps puede relajar la musculatura isquiosural y de este modo influir de forma positiva en el ejercicio de estiramiento; 3. La vibración inducida reduce el dolor por inhibición, lo que significa que los sujetos podían estirarse más allá de los límites anteriores. En contraposición, el estudio de Cole y Mahoney (2010) (Cole & Mahoney, 2010) no presentó mejoras significativas en la flexibilidad de los isquiotibiales y la espalda baja (sit & reach test) de 8 estudiantes universitarios (6 hombres y 2 mujeres), tras 5 semanas de entrenamiento con vibraciones corporales (2 sesiones / semana; 30-50 Hz; amplitud baja-alta). Sin embargo, el estudio de Issurin et al. (Issurin et al., 1994) realizado con 28 sujetos activos (19-25 años) concluyó tras 3 semanas de entrenamiento, que las vibraciones (44 Hz; 3 mm) aplicadas durante períodos cortos mostraban una mayor ganancia de la flexibilidad cuando se valoraba mediante el test flex and reach.

### 3.8. Conclusiones

La puesta en práctica de entrenamientos vibratorios con sujetos jóvenes activos no tiene un gran historial hasta la fecha. Sin embargo, esta modalidad de entrenamiento está atrayendo cada vez más la atención de los investigadores. Se utilizan principalmente dos variedades de ejercicios: 1) manteniendo una posición estática sobre la plataforma, y 2) realizar algún movimiento sobre la superficie que vibra (con los miembros inferiores o superiores; con el peso del cuerpo o añadiendo una carga externa). El primer tipo de ejercicio no exige un esfuerzo muscular intenso. Sin embargo, el segundo tipo de ejercicio puede requerir de un esfuerzo físico mayor, dependiendo de la carga externa, el tipo de movimiento y la duración del ejercicio.

El conocimiento que se tiene sobre los efectos de las vibraciones mecánicas en sujetos jóvenes activos no es completo. Por ello, son necesarias más investigaciones que faciliten un protocolo válido (frecuencia, amplitud, duración y posición corporal) para mejorar el rendimiento de este tipo de población.

#### EFFECTOS SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

Pocos son los estudios realizados y contradictorios son sus resultados en adultos jóvenes y saludables. Por ello, son necesarios realizar más estudios que muestren con claridad cuáles son las recomendaciones clínicas que se pueden prescribir para que el ejercicio vibratorio sea beneficioso.

#### EFECTOS SOBRE LA FUERZA

Como muestra esta revisión, el entrenamiento vibratorio puede ocasionar un efecto crónico positivo sobre la fuerza y la potencia después de unas semanas o meses. Dicho entrenamiento vibratorio en ocasiones se combina con el entrenamiento de pesas. Este efecto facilitador está causado por los protocolos de entrenamiento utilizados tanto en las características de la vibración (frecuencia y amplitud) como en el protocolo del ejercicio (tipo de entrenamiento, intensidad, volumen, recuperación entre series y entrenamientos).

El entrenamiento con vibraciones, independientemente de la amplitud produjo mejoras significativas en la fuerza isocinética.

Estos estudios indican que el entrenamiento vibratorio puede inducir a adaptaciones crónicas si se proporciona una intensidad y un volumen suficiente durante el ejercicio.

#### EFECTOS SOBRE LA POTENCIA

Cuando se valora la potencia de los miembros inferiores en sujetos jóvenes y sanos, sí aparece una tendencia positiva en algunos estudios, así como, una mejora significativa en cuanto a la altura del salto valorado (SJ y CMJ) en otros. Dichas mejoras, en algunos casos, son significativas cuando el entrenamiento mediante vibraciones tiene una duración superior a 6 semanas.

#### EFECTOS SOBRE LA VELOCIDAD

Parece ser que un entrenamiento WBV de 6 semanas produce beneficios en las características cinemáticas del rendimiento en la carrera de velocidad en sujetos que no compiten en dicha especialidad. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para aclarar los efectos del entrenamiento WBV en características específicas de las carreras de velocidad como son, el tiempo de contacto, la fase excéntrica y concéntrica de tiempo de contacto y el tiempo de vuelo.

#### EFECTOS SOBRE LA RESISTENCIA

Queda patente que a través del entrenamiento WBV con frecuencias que oscilan entre 18 y 45 Hz y amplitudes que oscilan entre 2 y 7,5 mm se incrementa el consumo de oxígeno. De forma que, éste incremento incide en un aumento del metabolismo energético.

#### EFECTOS SOBRE LA FLEXIBILIDAD

Parece que el entrenamiento WBV puede tener un efecto positivo adicional en la flexibilidad de los isquiotibiales cuando se combina con el método de contracción-relajación.





***CAPÍTULO 4:***

ESTUDIO Nº2: EFECTO DE DIFERENTES AMPLITUDES (ALT.  
VS BAJA) EN EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO DE TODO  
CUERPO EN ADULTOS ACTIVOS

---

## CAPÍTULO 4. ESTUDIO N°2.

### EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING IN ACTIVE ADULTS.

#### EFFECTO DE DIFERENTES AMPLITUDES (ALTA VS BAJA) EN EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO DE TODO EL CUERPO EN ADULTOS ACTIVOS.

#### 4.1. Introducción.

Los diferentes atributos físicos como la fuerza y la energía son elementos importantes en muchos deportes. Los métodos de entrenamiento que mejoran estas cualidades son determinantes para el desarrollo y la progresión del deportista. Varios métodos han sido utilizados para mejorar la condición física de los atletas, tanto en el gimnasio como en el trabajo de campo. Sin embargo, un nuevo complemento del entrenamiento se ha popularizado tanto en lo deportivo como en el área de la salud. Esta nueva tendencia del entrenamiento actúa a través de vibraciones de todo el cuerpo (WBV). WBV se ha introducido en la actividad física y la salud como un método alternativo, así como una medida para reducir la grasa corporal y aumentar la masa muscular y la fuerza (Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004).

Varios trabajos científicos explican los efectos del entrenamiento vibratorio centrándose en el aumento de la fuerza y la potencia muscular que se produce con este tipo de entrenamiento, debido principalmente, por las adaptaciones neuromusculares (Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin y Stijnen, 2006; Turner, Sanderson y Attwood, 2011). Algunos estudios realizados en el campo de la WBV se han relacionado con cambios en el sistema cardiovascular o la cinética del VO<sub>2</sub> (Rittweger, Beller y Felsenberg, 2000), han mostrado un incremento de ciertas hormonas después de someterse a WBV (Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo y Viru, 2000), e incluso han encontrado resultados a tener en cuenta para la prevención de la osteoporosis (Rubin, Xu y Judex, 2001).

La reducción de la grasa corporal y el aumento de la masa muscular y la fuerza muscular son algunos de los objetivos más populares al principio de un programa de ejercicio (Roelants et al., 2004). Diferentes autores (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Mahieu, Witvrouw, Van de Voorde, Michilsens, Arbyn y Van den Broecke, 2006; Roelants et al., 2004; Spiliopoulou, Amiridis, Tsigganos, Economides y Kellis, 2010)

afirman que WBV aumenta la resistencia dinámica de los músculos de las extremidades inferiores. Resultados similares (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Mahieu et al., 2006) se encuentran en relación con la fuerza isocinética después de entrenar con vibraciones durante varias semanas. Al parecer, este aumento de la fuerza podría ser inducida por la magnitud de la vibración (Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin y Stijnen, 2006). Esta elevada magnitud puede producir adaptaciones neuromusculares como resultado de una activación neuromuscular mejorada (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Nordlund y Thorstensson, 2007). De hecho, la vibración provoca una respuesta denominada "Reflejo Tónico Vibratorio", que se debe a la activación de los husos musculares, la mediación de las señales de los nervios via aferentes Ia, y la activación de las fibras musculares a través de las  $\alpha$ -motoneuronas (Hagbarth, 1973). El reflejo tónico vibratorio también es capaz de causar un mayor reclutamiento de las unidades motoras a través de la activación de los husos musculares y las vías polisinápticas (De Gail, Lance y Neilson, 1966). Por otra parte, cuando se evaluaron los efectos a largo plazo del WBV en saltos verticales, se encontraron mejoras en el rendimiento del Squat Jump (SJ) (Colson, Pensini, Espinosa, Garrandes y Legros, 2010) y el salto con contramovimiento (CMJ) (Delecluse, Roelants, Diels, Koninckx y Verschueren, 2005; Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Fernandez-Rio, Terrados, Fernandez-Garcia y Suman, 2010; Roelants et al., 2004; Ronnestad, 2004).

En cuanto a la composición corporal, se desconoce qué alteraciones puede provocar el uso de las vibraciones a través de las plataformas vibratorias en el ser humano. Encontramos un aumento recíproco de la masa libre de grasa (MLG) en mujeres jóvenes no entrenadas después de 24 semanas de WBV, sin embargo no aparece ningún cambio en la cantidad total de grasa (Roelants et al., 2004). Por otra parte, los diferentes estudios que hacen referencia a la composición corporal han suscitado cierta controversia (Rittweger, 2010; Roelants et al., 2004; Russo, Lauretani, Bandinelli, Bartali, Cavazzini, Guralnik y Ferrucci, 2003; Verschueren, Roelants, Delecluse, Swinnen, Vanderschueren y Boonen, 2004). Por esta razón, se necesitan más investigaciones en este campo.

Específicamente, el ejercicio con vibraciones se basa en oscilaciones controladas, donde la vibración se transfiere desde un dispositivo al cuerpo humano. Los efectos de la WBV dependen de la magnitud de los parámetros de la vibración (Marin y Rhea, 2010), como son, la frecuencia de vibración, la amplitud, la duración y el modo. La frecuencia se mide en la unidad de hercios (Hz) y muestra oscilaciones que van de 15 a 60 Hz (Cardinale y Wakeling, 2005). La amplitud pico a pico o desplazamiento se define como la diferencia entre los valores máximo y mínimo de oscilación periódica (amplitud se define como la mitad de la diferencia entre los valores máximos de la oscilación). Sin embargo, los efectos selectivos de los diferentes parámetros de

amplitudes vibratorias no se comprenden con claridad (Krol, Piecha, Slomka, Sobota, Polak y Juras, 2011). Diferentes estudios utilizan una variedad de amplitudes, pero no todos ellos se desarrollaron con los mismos protocolos. Marín et al. (Marín, Herrero, Sainz, Rhea y García-López, 2010) analizan los efectos que producen diferentes magnitudes de vibración transmitida desde los pies, a la vez que se realizaba un conjunto de ejercicios de extensión de codo. Lo que sugiere que amplitudes mayores pueden ser utilizadas durante el entrenamiento con vibración con la finalidad de provocar un mayor estímulo neuromuscular. En otro estudio transversal, Marín et al. (Marín, Herrero, García-López, Rhea, López-Chicharro, González-Gallego y Garatachea, 2012) encontraron que la magnitud del efecto WBV fue claramente superior con el modo de amplitud alta (3,1 mm) que con la amplitud baja (1,0 mm) en los análisis electromiográficos (EMG) de todos los músculos, los cuales mostraron cambios concluyentes con las diferentes amplitudes alta vs baja (Marín et al., 2012). La mayoría de los estudios, incluyendo el de Rehn et al. (Rehn, Lidstrom, Skoglund y Lindstrom, 2007) opinan que las amplitudes utilizadas sobre el ejercicio de larga duración varía desde 1,7 hasta 5,0 mm. Esta amplia gama de variedad de parámetros vibratorios encontrados en los estudios podrían explicar los distintos resultados encontrados.

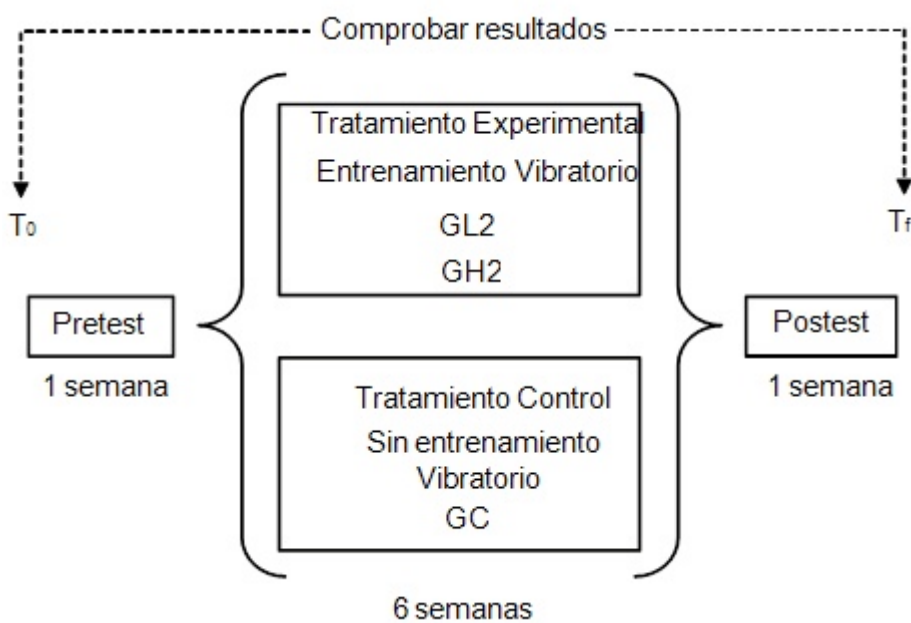
Es evidente que la magnitud de la amplitud produce diferentes adaptaciones neuromusculares. Sin embargo, es necesaria una evaluación de las tendencias generales de los efectos del tratamiento cuando se emplean diferentes amplitudes en los ejercicios con vibración. Por lo tanto, los objetivos de esta investigación son estudiar los efectos, cuando se utiliza WBV, de dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) en el desarrollo de la fuerza, la potencia mecánica de los músculos de las extremidades inferiores y los cambios en la composición corporal en adultos activos. Por lo tanto, se establece la siguiente hipótesis: el programa de entrenamiento WBV con vibración de amplitud alta produce un aumento de la potencia mecánica, la fuerza y la masa muscular en adultos jóvenes y sanos, mientras que el entrenamiento WBV con amplitud baja no.

## **4.2. Metodología**

### **4.2.1. Diseño.**

Se realizó un diseño cuasi-experimental con un pretest y un posttest (Figura 1). Los grupos se conformaron de forma aleatoria, donde dos grupos realizaron entrenamiento y otro fue el grupo control (GC). Todo ello con la finalidad de examinar los efectos que, a corto plazo, produce el entrenar con una amplitud alta o una amplitud baja

utilizando WBV sobre el desarrollo de la fuerza de los miembros inferiores, la potencia mecánica, y la composición corporal. Después del pretest, los sujetos fueron asignados al azar a uno de los dos grupos experimentales, o al CG: (a) entrenamiento WBV de amplitud alta (4 mm), (b) entrenamiento WBV con amplitud baja (2 mm), (c) GC que no realizó ningún entrenamiento. Los sujetos completaron 1 semana de familiarización con el entrenamiento vibratorio antes de una fase de entrenamiento de 8 semanas de duración. Durante la fase de familiarización, los sujetos realizaron un entrenamiento WBV de baja magnitud; además, en esta fase los participantes se familiarizaron con los protocolos de medición.



**Figura 1.** Diseño de la investigación.

#### 4.2.2. *Participantes:*

En el estudio participaron treinta y ocho sujetos ( $n = 38$ ; 30 hombres y 8 mujeres) activos que realizaban actividad física de forma recreativa ( $21,2 \pm 3,3$  años;  $173,4 \pm 7,6$  cm;  $69,3 \pm 9,8$  kg). Se entiende por actividad recreativa aquella actividad física que se realiza con una intensidad baja o moderada no más de tres veces por semana durante aproximadamente 20-30 min. Los participantes se dividieron en dos grupos experimentales y un GC de acuerdo con el nivel de actividad física habitual medido con el cuestionario G-PAQ (Armstrong y Bull, 2006), el género y la fuerza isocinética de los músculos extensores de la rodilla (Tabla 1). Los sujetos leyeron y firmaron el consentimiento informado antes de la participación en el estudio. El estudio fue

aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia. Se instruyó a los sujetos para mantener su dieta normalizada y sus hábitos de actividad física durante todo el transcurso del estudio. Para verificar el cumplimiento de estas instrucciones, los hábitos alimentarios y de actividad se evaluaron en dos ocasiones (1 y 6 semanas). Un instructor experimentado obtuvo registros de la alimentación y la actividad física de los sujetos sin aviso previo. En todas las ocasiones, los registros de la dieta se registraron durante tres días consecutivos, incluyendo un día del fin de semana. Se analizaron las 3 días de registros dietéticos observando la ingesta calórica total y de hidratos de carbono, grasa y la composición de proteínas utilizando para ello el software comercialmente disponible (Dietsource 1.2; Novartis, Barcelona, España). Para supervisar la actividad física, los sujetos también completaron un cuestionario G-PAQ.

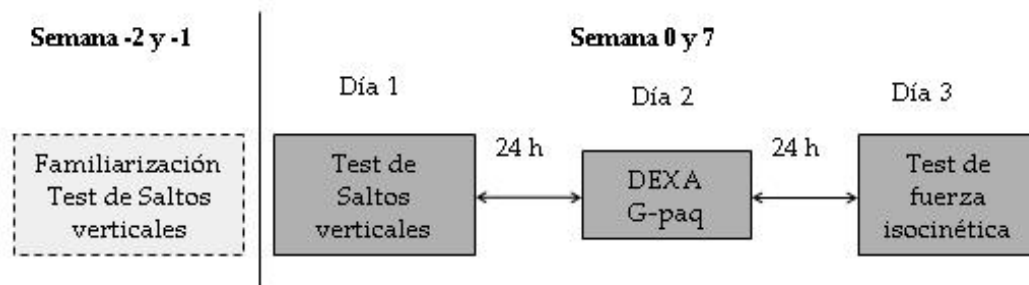
**Tabla 1.** Características de los participantes.

	Edad (años)	Altura (cm)	Masa Corporal (kg)	Género	TorqF 270° · s <sup>-1</sup> (N · m)
GL (n = 11)	20,5 ± 1,0	172,9 ± 5,7	69,9 ± 6,4	H = 9 M = 2	121,5 ± 37,8
GH (n=16)	21,5 ± 5,2	175,1 ± 8,1	71,2 ± 12,6	H = 12 M = 4	124,8 ± 37,8
CG (n = 11)	21,5 ± 3,8	172,3 ± 8,9	66,8 ± 10,5	H = 9 M = 2	132,0 ± 33,3
Total (n = 38)	21,2 ± 3,3	173,4 ± 7,6	69,3 ± 9,8	H = 30 M = 8	126,1 ± 36,3

TorqF = pico torque en extensiones de rodilla, H = hombre, M = mujer; GL = grupo de baja amplitud (2 mm), GH = grupo de alta amplitud (4 mm), GC = grupo control.

#### 4.2.3. Procedimiento Experimental:

La evaluación inicial y final se llevó a cabo al principio y al final de la fase experimental. Se utilizó una semana para realizar las pruebas de valoración (Figura 2). Dos semanas antes de la toma inicial de datos, se realizaron dos sesiones de familiarización con la prueba de saltos. Todas las pruebas que involucran acciones musculares se realizaron con un descanso de 48 horas entre cada sesión de medición, con el objetivo de asegurar que los participantes no sufrieran fatiga durante su realización.



**Figura 2.** Distribución temporal de todas las pruebas complementarias. DEXA = densitometría; G-PAQ = cuestionario para valorar el nivel de actividad física.

### Procedimiento de los saltos

Antes de realizar las tests CMJ y SJ, los sujetos completaron un calentamiento consistente en 10 min sobre el cicloergómetro a un ritmo propio, seguido de 5 minutos de estiramientos dinámicos prescritos. Una vez colocado en la plataforma de fuerza, los sujetos realizaron 1 salto submáximo de prueba tanto para el CMJ como para el SJ. Posteriormente, cada sujeto realizó 4 saltos (2 CMJ y 2 SJ) comenzando indistintamente con el CMJ o SJ, alternando cada salto con 3 min de recuperación entre cada uno de ellos. El desplazamiento para cada CMJ y SJ se midió con un plataforma de fuerza extensométrica (Dinascan / IBV, Valencia, España), que muestrea a una velocidad de 1000 Hz, y se ha descrito previamente (Kibele, 1998). Para establecer la altura alcanzada, cada sujeto se puso de lado en el dispositivo de salto, manteniendo los talones en el suelo y saltando hacia arriba lo más alto posible. Cada sujeto comenzó el CMJ colocándose en bipedestación, se dejó caer en la posición en cuclillas, e inmediatamente saltó verticalmente. Cada sujeto determinó individualmente la profundidad de la flexión de rodillas utilizada durante cada CMJ. El despegue de los 2 pies se controló estrictamente sin permitir pasos previos o que se arrastraran los pies durante la fase excéntrica o en la transición de la técnica de CMJ. La técnica del SJ requería que el sujeto descendiese a una posición de 90° de flexión de rodilla, utilizando un goniómetro de mano que se colocaba en la parte superior del muslo paralelo al suelo. Los sujetos fueron instruidos para mantener esta posición durante 3 segundos, después de este tiempo los sujetos saltaron la altura máxima sin contramovimiento. Todos los SJ y CMJ se realizaron con ambas manos en las caderas en toda la gama de movimientos de despegues, vuelo y aterrizajes. El mejor resultado de cada uno de los protocolos CMJ y SJ fue el que se utilizó para el análisis. Los datos

de las variables fuerza-tiempo verticales se filtraron utilizando un filtro de paso con una frecuencia de corte de 20 Hz.

### **Cálculo de las variables de la Fuerza.**

Los datos relacionados con la fuerza-tiempo fueron examinados durante los CMJ y SJ incluyeron la altura del salto, potencia máxima mecánica ( $P_{\max}$ ), y el ratio máximo de desarrollo de la fuerza ( $RFD_{\max}$ ). Las alturas de los saltos ( $h$ ) se calcularon a partir de la velocidad vertical despegue ( $v^i$ ) usando la siguiente ecuación:  $h = v^i{}^2 \cdot 2g^{-1}$ . La potencia mecánica absoluta y relativa se calculó como sigue: fuerza vertical  $\times$  velocidad vertical instantánea del centro del sistema de masa (Caserotti, Aagaard y Puggaard, 2008), y  $RFD_{\max}$  se calculó como el mayor aumentando en fuerza durante períodos de 4 milisegundos desde el inicio del salto hasta el final de la fase concéntrica (Harrison y Bourke, 2009; Wilson, Lyttle, Ostrowski, y Murphy, 1995) en el SJ, y desde el inicio de la CMJ hasta el valor más alto de la fuerza. La velocidad vertical instantánea se calculó a partir de la integración de la curva fuerza-tiempo. Un salto se considera que ha comenzado cuando la fuerza vertical aumenta (SJ) o disminuye (CMJ) 10 N más de la masa de la materia.

### **Fuerza isocinética**

Se utilizó un dinamómetro isocinético (Biodex 6000, Nueva York, NY) para realizar los test de fuerza isocinética. Cada sujeto se sometió a una sesión de familiarización, que incluyó todas las pruebas, al menos 1 semana antes de los test. Se valoraron los extensores de la rodilla y los flexores de la pierna dominante de forma concéntrica. Todos los movimientos se ensayaron a velocidades angulares de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$ . Cada sujeto se midió en bipedestación y fue estabilizado con tiras de velcro. El eje de rotación de la brazo de palanca del dinamómetro se alineó con el eje anatómico de la rodilla, como se describe en el manual de la prueba Biodex 6000. Tanto la 'curva dinámica' (aceleración y deceleración de la extremidad) como las características de 'corrección de la gravedad' se utilizaron en todas las pruebas para evitar problemas previamente documentados, como excederse del torque y los efectos de la gravedad. El dinamómetro fue calibrado, utilizando el protocolo del manual de Biodex 6000, al comienzo de cada sesión de test. En cada test de velocidad, el sujeto realizó entre 3 y 5 repeticiones de calentamiento submáximas seguido de 3 repeticiones de calentamiento máxima. La prueba comenzó 1 min después de que las 6 repeticiones de calentamiento se hubieran completado. Se utilizó un período de recuperación de 90 s (Brown, 2000) entre las velocidades de prueba. Tras las repeticiones de calentamiento, se realizaron 3 repeticiones máximas para cada prueba. La repetición de cada test que obtuvo el mayor pico torque se tomó como la medida de la fuerza máxima. Los resultados fueron normalizados, atendiendo a la masa corporal relativa ( $kgf \cdot N \cdot m^{-1}$ ).



### Composición corporal

Se evaluaron la masa ósea total y regional, la masa grasa y la masa magra (masa corporal - [masa grasa + masa ósea]) mediante DEXA (XR-46, Norland Corp., Fort Atkinson, WI, EE.UU.). El escáner DEXA se calibró usando un fantoma de la columna lumbar como recomienda el fabricante. Los sujetos fueron escaneados en posición supina. La masa magra (g), la masa grasa (g), y la superficie total (cm<sup>2</sup>) se calcularon a partir del análisis del escaneo total y regional de todo el cuerpo. La masa magra de las extremidades se asumió que era equivalente a la masa muscular. La fiabilidad test-retest (CCI) para este dispositivo fue muy alta ( $R^2 = 0,999$ ;  $p = 0,001$ ), en todo caso.

### Protocolo de entrenamiento vibratorio.

El estímulo vibratorio consistió en oscilaciones verticales producidas por la plataforma Power Plate® Next Generation (Power Plate Norteamérica, Northbrook, IL, EE.UU.). Los sujetos se colocaron sobre la plataforma en bipedestación adoptando una posición isométrica con flexión de rodillas y situando los pies con una separación predeterminada. Tras la semana de familiarización, los sujetos que entrenaron 2 días a la semana durante 6 semanas (con la excepción del grupo de control) utilizando un programa de entrenamiento vibratorio incremental que se inició con 8 series por sesión y aumentó progresivamente. Los parámetros vibratorios a tener en cuenta fueron: frecuencia de la vibración (50 Hz), tiempo de cada serie (60 s) y tiempo de recuperación (60 s) que fueron iguales para los 2 grupos variando sólo la amplitud (GL = 2 mm, GH = 4 mm) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Distribución semanal de los parámetros de entrenamiento vibratorio.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
GL (2 mm)	8x60 s	9x60 s	10x60 s	11x60 s	12x60 s	13x60 s
GH (4 mm)	8x60 s	9x60 s	10x60 s	11x60 s	12x60 s	13x60 s
GC	Ausencia de entrenamiento vibratorio					

S = semana; GL = grupo de amplitud baja (2 mm); GH = grupo de amplitud alta (4 mm); GC = grupo control.

#### 4.2.4. *Análisis Estadístico:*

Los datos se registraron y se almacenaron utilizando la hoja de cálculo Excel 2003 (Microsoft corp., Redmond, WA). El análisis estadístico de los datos se realizó con SPSS 19.0 (SPSS 19.0, Chicago, IL, EE.UU.) en el entorno de Windows. Un análisis descriptivo se realizó al detalle y se analizaron las características de la muestra de estudio.

Para el análisis inferencial, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la distribución de la muestra. Con el fin de determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente se realizaron mediciones repetidas ANOVA para toda la muestra. Si existieron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para el factor tiempo ANOVA se realizaron mediciones repetidas de cada grupo con el fin de diferenciar entre el pre-test y el post-test. Si aparecieron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para el tiempo  $\times$  grupo, se realizó un análisis factorial de la varianza (ANOVA) y el test post hoc de Tukey, para ver si había diferencias significativas entre los grupos.

### 4.3. RESULTADOS

Este estudio fue diseñado para investigar los efectos que producen 6 semanas de entrenamiento con vibraciones corporales de alta y baja amplitud y sin vibraciones. A continuación se presentan los resultados obtenidos para las variables fuerza isocinética, saltos verticales y composición corporal.

#### *Fuerza isocinética*

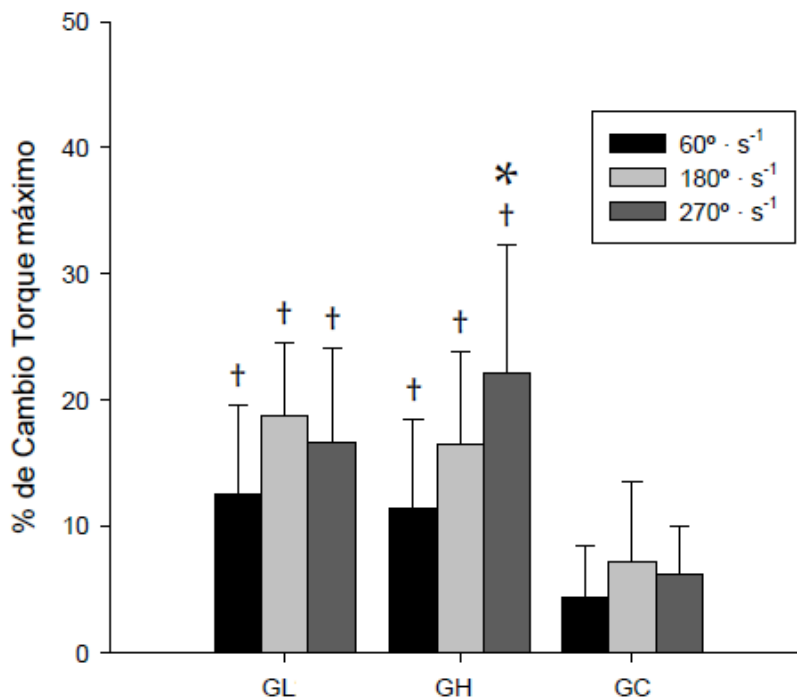
Cuando atendemos a los resultados obtenidos en la variable dependiente fuerza isocinética, observamos cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en el torque máximo isocinético de la musculatura extensora de rodilla a velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$  entre el pre-test y el post-test en GL ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,030$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,000$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,004$ ), GH ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,011$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,000$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,000$ ). Estos cambios no se observaron en el GC ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,129$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,119$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,070$ ).

**Tabla 3.** Torque pico de los extensores de rodilla a velocidades angulares de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$  (Media  $\pm$  SD).

		TorqF $60^\circ$ (N·m)	TorqF $180^\circ$ (N·m)	TorqF $270^\circ$ (N·m)
GL	Pre	179,5 $\pm$ 30,3	130,6 $\pm$ 26,5	121,5 $\pm$ 32,5
	Post	200,5 $\pm$ 32,8†	153,4 $\pm$ 24,6†	138,5 $\pm$ 26,9†
	$\Delta$	21,0 $\pm$ 24,0	22,8 $\pm$ 11,9	17,0 $\pm$ 12,8
GH	Pre	187,3 $\pm$ 44,0	140,6 $\pm$ 40,3	124,8 $\pm$ 37,8
	Post	206,3 $\pm$ 46,1†	160,4 $\pm$ 40,5†	147,7 $\pm$ 34,7†
	$\Delta$	18,9 $\pm$ 26,2	19,8 $\pm$ 17,4	22,9 $\pm$ 18,4 ‡
GC	Pre	190,0 $\pm$ 46,4	145,3 $\pm$ 41,4	132,0 $\pm$ 33,3
	Post	197,4 $\pm$ 43,1	151,3 $\pm$ 35,8	137,5 $\pm$ 29,4
	$\Delta$	7,4 $\pm$ 13,1	6,1 $\pm$ 10,9	5,6 $\pm$ 7,8

GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; TorqF = torque pico en la extensión de la rodilla;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre y el post-test; ‡ = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) con GC.

En la Figura 3 se puede observar en porcentaje, las ganancias en el torque máximo entre el pre-test y el post-test de cada grupo: GL ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 12,51 \pm 14,13\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 18,73 \pm 11,67\%$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1} = 16,63 \pm 14,90\%$ ), GH ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11,49 \pm 13,98\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 16,50 \pm 14,74\%$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1} = 22,14 \pm 20,34\%$ ) y GC ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 4,38 \pm 8,15\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 7,17 \pm 12,69\%$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1} = 6,24 \pm 7,61\%$ ). También se observaron diferencias estadísticamente significativas cuando se comparó el efecto del tiempo sobre los grupos experimentales con el GC. A velocidades de  $270^\circ \cdot s^{-1}$  se observaron diferencias estadísticamente significativas en GH ( $p = 0,041$ ) con respecto al GC.



**Figura 3.** Porcentaje de cambio del torque máximo isocinético para extensores de rodilla a velocidades angulares de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ ,  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  y  $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ . GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre y el post-test; \* = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) con el grupo control.

### *Composición corporal*

En la Tabla 4 se observan los resultados de las variables de composición corporal, para los grupos experimentales y para el GC, en el pre-test y en el post-test, así como la diferencia existente (media  $\pm$  SD). Se observaron modificaciones estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre-test y el post-test en la MLG para GH ( $p = 0,005$ ). Además, estas diferencias fueron significativamente diferentes que las observadas en GL y GC.

**Tabla 4. Variables de composición corporal (Media ± SD).**

		MG (%)	MLG (Kg)	MG (Kg)	DMO <sub>total</sub> (g·cm <sup>-2</sup> )	CMO <sub>total</sub> (g)
GL	Pre	21,3 ± 8,7	52,0 ± 8,0	14,8 ± 5,8	1,1 ± 0,1	3019 ± 320
	Post	21,4 ± 8,3	52,3 ± 8,0	14,9 ± 5,5	1,1 ± 0,1	3025 ± 327
	Δ	0,1 ± 2,0	0,3 ± 1,0	0,1 ± 1,4	0,0 ± 0,0	7,0 ± 18,5
GH	Pre	18,3 ± 6,8	54,7 ± 10,8	13,1 ± 5,9	1,1 ± 0,1	3106 ± 445
	Post	17,6 ± 7,7	55,6 ± 10,9†	12,6 ± 6,9	1,1 ± 0,1	3104 ± 435
	Δ	-0,8 ± 1,7	0,9 ± 1,0	-0,5 ± 1,4	0,0 ± 0,0	-1,1 ± 21,9
GC	Pre	20,6 ± 7,6	49,4 ± 10,8	13,1 ± 4,1	1,1 ± 0,2	2968 ± 542
	Post	21,1 ± 7,3	49,7 ± 10,7	13,8 ± 3,9	1,1 ± 0,2	2971 ± 550
	Δ	0,6 ± 1,9	0,4 ± 0,7	±0,7 1,4	0,0 ± 0,0	3,3 ± 22,8

GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; MG = masa grasa; MLG = masa libre de grasa; DMO = densidad mineral ósea; CMO = contenido mineral óseo; Δ = diferencia; † = diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre y el post-test.

### *Rendimiento del salto vertical*

En la Tabla 5 se plasman los resultados de la altura de vuelo para los saltos verticales sin contramovimiento (SJ) y con contramovimiento (CMJ), así como los resultados de la altura de vuelo de estos saltos verticales relativos al peso corporal. Para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre-test y el post-test, así como la diferencia (media ± SD). Tras un ANOVA de medidas repetidas, no se observaron cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre-test y el post-test de ninguno de los grupos sometidos a estudio. AV SJ ( $p = 0,112$ ); AV CMJ ( $p = 0,646$ ); AV SJ · pc<sup>-1</sup> ( $p = 0,473$ ); AV CMJ · pc<sup>-1</sup> ( $p = 0,254$ ).

**Tabla 5.** Altura de vuelo en el SJ y CMJ, y relativo al peso corporal (Media  $\pm$  SD).

		SJ h (cm)	CMJ h (cm)	SJ h/pc (cm · kgf <sup>-1</sup> )	CMJ h/pc (cm · kgf <sup>-1</sup> )
GL	Pre	29,0 $\pm$ 3,6	30,9 $\pm$ 5,4	0,4 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,1
	Post	28,0 $\pm$ 5,0	31,5 $\pm$ 6,1	0,4 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,1
	$\Delta$	-1,0 $\pm$ 4,5	0,6 $\pm$ 2,7	0,0 $\pm$ 0,1	0,0 $\pm$ 0,7
GH	Pre	28,7 $\pm$ 5,0	31,7 $\pm$ 5,3	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	Post	27,3 $\pm$ 4,7	31,5 $\pm$ 5,0	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	$\Delta$	-1,4 $\pm$ 3,6	-0,2 $\pm$ 3,1	0,0 $\pm$ 0,1	0,0 $\pm$ 0,1
GC	Pre	27,4 $\pm$ 3,9	30,3 $\pm$ 4,1	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	Post	27,5 $\pm$ 6,0	30,1 $\pm$ 4,5	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	$\Delta$	0,1 $\pm$ 2,8	-0,2 $\pm$ 2,1	0,0 $\pm$ 0,1	0,0 $\pm$ 0,0

GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; SJ = salto sin contra-movimiento; CMJ = salto en contra-movimiento; h = altura vertical; pc = peso corporal;  $\Delta$  = diferencia.

En la Tabla 6 se puede observar la variable fuerza máxima de reacción vertical del suelo al realizar el salto vertical (SJ y CMJ), y la fuerza máxima de reacción vertical del suelo al realizar el salto vertical relativa al peso corporal, para los grupos experimentales y para el GC, en el pre-test y en el post-test, así como la diferencia existente (media  $\pm$  SD). Se han observado cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la fuerza máxima desarrollada entre el pre-test y el post-test para los grupos GL ( $p = 0,004$ ) y GH ( $p = 0,034$ ), en el salto vertical sin contramovimiento. A su vez no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para la fuerza máxima en SJ relativa al peso corporal ( $p = 0,059$ ), para la fuerza máxima en CMJ ( $p = 0,580$ ) y para la fuerza máxima en CMJ relativa al peso corporal de cada participante ( $p = 0,893$ ) para ninguno de los grupos.

**Tabla 6.** Fuerza máxima en el SJ y CMJ, y relativa al peso corporal (Media  $\pm$  SD).

		SJ $F_{max}$ (N)	CMJ $F_{max}$ (N)	SJ $F_{max/pc}$ (N · kgf <sup>-1</sup> )	CMJ $F_{max/pc}$ (N · kgf <sup>-1</sup> )
GL	Pre	1604 $\pm$ 246	1671 $\pm$ 262	22,7 $\pm$ 2,9	23,7 $\pm$ 3,3
	Post	1744 $\pm$ 294†	1682 $\pm$ 308	22,9 $\pm$ 3,7	23,9 $\pm$ 4,2
	$\Delta$	140,1 $\pm$ 123,1	10,2 $\pm$ 148,3	0,3 $\pm$ 1,3	0,21 $\pm$ 2,0
GH	Pre	1697 $\pm$ 339	1763 $\pm$ 324	23,9 $\pm$ 3,0	24,9 $\pm$ 3,1
	Post	1780 $\pm$ 404†	1734 $\pm$ 361	25,3 $\pm$ 7,6	24,2 $\pm$ 3,0
	$\Delta$	82,6 $\pm$ 136,1	-29,8 $\pm$ 168,3	1,4 $\pm$ 6,8	-0,7 $\pm$ 2,3
GC	Pre	1601 $\pm$ 322	1646 $\pm$ 274	24,0 $\pm$ 2,3	24,8 $\pm$ 1,5
	Post	1685 $\pm$ 330	1670 $\pm$ 292	26,2 $\pm$ 5,9	24,9 $\pm$ 3,0
	$\Delta$	84,6 $\pm$ 159,1	23,5 $\pm$ 118,0	2,2 $\pm$ 6,2	0,1 $\pm$ 1,7

GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; SJ = salto sin contra-movimiento; CMJ = salto en contra-movimiento;  $F_{max}$  = fuerza máxima; pc = peso corporal;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre y el post-test.

Los resultados obtenidos de la potencia pico al realizar un salto vertical (SJ y CMJ) y la potencia pico de estos saltos verticales relativa al peso corporal de cada participante, se pueden observar en la Tabla 7. Se muestra la potencia pico para los grupos experimentales y para el GC, en el pre-test y en el post-test, así como las diferencias (media  $\pm$  SD).

Con la aplicación de un ANOVA de medidas repetidas, no se observaron cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la potencia pico desarrollada durante el SJ ( $p = 0,689$ ) y tampoco durante el CMJ ( $p = 0,542$ ) para ninguno de los grupos sometidos a estudio entre el pre-test y el post test. No se han observado cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la potencia pico relativa al peso corporal durante el SJ ( $p = 0,423$ ) y tampoco durante el CMJ ( $p = 0,833$ ) en los grupos experimentales y en el GC entre el pre-test y el post-test.

**Tabla 7.** Potencia pico en el SJ y CMJ, y relativa al peso corporal (Media  $\pm$  SD).

		SJ $P_{\text{imax}}$ (W)	CMJ $P_{\text{imax}}$ (W)	SJ $P_{\text{imax/pc}}$ (W · kgf <sup>-1</sup> )	CMJ $P_{\text{imax/pc}}$ (W · kgf <sup>-1</sup> )
GL	Pre	3011 $\pm$ 545	3145 $\pm$ 654	46,8 $\pm$ 6,1	44,4 $\pm$ 7,8
	Post	3446 $\pm$ 735	3216 $\pm$ 690	45,4 $\pm$ 9,2	45,4 $\pm$ 8,0
	$\Delta$	135,1 $\pm$ 339,5	71,6 $\pm$ 147,9	-1,4 $\pm$ 5,7	1,0 $\pm$ 2,2
GH	Pre	3518 $\pm$ 868	3177 $\pm$ 736	48,9 $\pm$ 6,2	44,4 $\pm$ 6,2
	Post	3382 $\pm$ 847	3155 $\pm$ 765	48,1 $\pm$ 15,4	43,7 $\pm$ 5,7
	$\Delta$	-136,2 $\pm$ 379,9	-21,1 $\pm$ 225,7	-0,8 $\pm$ 13,0	-0,7 $\pm$ 3,3
GC	Pre	3207 $\pm$ 743	2928 $\pm$ 610	47,8 $\pm$ 6,2	43,9 $\pm$ 4,4
	Post	3373 $\pm$ 743	2946 $\pm$ 609	52,2 $\pm$ 11,4	43,8 $\pm$ 3,9
	$\Delta$	165,9 $\pm$ 290,4	18,2 $\pm$ 107,9	4,4 $\pm$ 9,7	-0,1 $\pm$ 2,3

GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; SJ = salto sin contramovimiento; CMJ = salto en contramovimiento;  $P_{\text{imax}}$  = potencia instantánea máxima; pc = peso corporal;  $\Delta$  = diferencia.

En la Tabla 8 se puede observar el desarrollo máximo del ratio de fuerza (RFD) al realizar el salto vertical (SJ y CMJ), para los grupos experimentales y para el GC, en el pre-test y en el post-test, así como la diferencia existente (media  $\pm$  desviación estándar). No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre el pre-test y el post-test, en el SJ y tampoco en CMJ, para ninguno de los grupos objeto de estudio, así como tampoco se han observado cambios significativos entre los diferentes grupos, para ninguno de los saltos verticales estudiados.



**Tabla 8.** Desarrollo máximo del ratio de fuerza en el SJ y CMJ (RFD).

		SJ $RFD_{max}$	CMJ $RFD_{max}$
		(N · s <sup>-1</sup> )	(N · s <sup>-1</sup> )
GL	Pre	799 ± 282	1073 ± 498
	Post	1120 ± 458	1261 ± 573
	Δ	320,6 ± 345,7	188,4 ± 493,0
GH	Pre	1055 ± 506	1243 ± 544
	Post	1316 ± 693	1313 ± 562
	Δ	161,1 ± 393,6	70,2 ± 733,0
GC	Pre	936 ± 349	1197 ± 365
	Post	1116,0 ± 343,0	1260,0 ± 543,0
	Δ	179,8 ± 375,6	62,7 ± 486,8

GL = grupo de amplitud 2 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GH = grupo de amplitud 4 mm con una frecuencia de entrenamiento semanal de 2 sesiones; GC = grupo control; SJ = salto sin contramovimiento; CMJ = salto en contramovimiento;  $RFD_{max}$  = desarrollo máximo del ratio de fuerza; Δ = diferencia.

#### 4.4. DISCUSSION

Con este estudio se ha pretendido conocer el efecto que produce seis semanas de entrenamiento con vibraciones mecánicas corporales, sobre la fuerza y la potencia del tren inferior, y sobre la variación de la composición corporal, variando la amplitud de la vibración. Entre los hallazgos más relevantes destacan, el aumento de la fuerza de la musculatura extensora de la rodilla para los grupos que se sometieron a la vibración. Sin embargo, tras las seis semanas, no se produjeron cambios en el porcentaje graso, en la masa grasa total, en el CMO ni en la DMO. Solamente se observaron cambios significativos para la variable MLG total y para el grupo se que sometió a vibraciones con una amplitud alta. Por otro lado, no se observaron cambios significativos en la capacidad de salto vertical.

Tras seis semanas de entrenamiento vibratorio, se observaron ganancias en la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla en los dos grupos experimentales entre el pre-test y el post-test. Estos resultados están en consonancia con los publicados por otros autores, quienes dicen que WBV aumenta la fuerza dinámica de la musculatura de las extremidades inferiores (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Jacobs y Burns, 2009; Mahieu, Witvrouw, Van de Voorde, Michilsens, Arbyn y Van den Broecke, 2006; Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004; Spiliopoulou, Amiridis, Tsigganos, Economides y Kellis, 2010). Mahieu et al. (2006) estudiaron el efecto de 6 semanas de WBV en esquiadores jóvenes, la fuerza isocinética en los extensores de rodilla mejoró de forma significativa al compararla con los valores iniciales (Mahieu, Witvrouw, Van de Voorde, Michilsens, Arbyn y Van den Broecke, 2006). Similares resultados obtuvieron Delecluse et al. (2003), que tras someter a 74 mujeres jóvenes no entrenadas a 12 semanas de WBV mejoraron de forma significativa la fuerza isocinética de las extremidades inferiores (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003). Johnston et al. (1970) sugieren que las vibraciones ejercen un efecto sobre el reflejo denominado "*reflejo tónico vibratorio*". Este reflejo consiste en una contracción activa del músculo sometido a vibración. Son las terminaciones primarias de los husos musculares, por su alta sensibilidad a los cambios de longitud, las que inician la contracción refleja. Desde los husos musculares el impulso es transmitido mediante las fibras Ia aferentes hacia la médula espinal, donde realizan sinapsis con las  $\alpha$ -motoneuronas. Éstas, a su vez, transmiten la señal de vuelta a las mismas fibras musculares, provocando su contracción (Johnston, Bishop y Coffey, 1970). En la actualidad existe suficiente evidencia científica que demuestra que cuando el estímulo vibratorio actúa directamente sobre el músculo o tendón se produce el reflejo tónico vibratorio, no existiendo tal evidencia cuando la vibración se transmite a la musculatura de manera indirecta (WBV) (Jacobs y Burns, 2009).

Por otro lado, algunos grupos de trabajo (Cardinale y Lim, 2003; Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin y Stijnen, 2006) sugieren que cuando un individuo se somete a WBV sobre una plataforma, actúa sobre él una fuerza gravitacional que obliga a la musculatura a generar una tensión para mantener la posición sobre la misma. Esto podría explicar las ganancias de fuerza observadas en nuestro estudio.

Como se ha mencionado previamente, todos los grupos mostraron mejoras de forma significativa en la fuerza isocinética desarrollada en todas las velocidades ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). El grupo que mostró una mayor ganancia de fuerza, fue el que entrenó a una alta amplitud, y concretamente cuando la fuerza era evaluada a una velocidad alta ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). Así mismo, es el incremento de fuerza isocinética desarrollada por este grupo a una alta velocidad, la única que muestra diferencias estadísticamente significativas al compararlo con el GC.

En una reciente revisión acerca de los efectos de la vibración sobre la fuerza muscular, Marín et al. (2010) describen que se producen mayores ganancias sobre la fuerza con amplitudes altas. Una posible explicación de las mayores ganancias halladas en los grupos que entrenaban a una alta amplitud en el presente estudio, es que, al trabajar con amplitudes y frecuencias de vibración elevadas aumenta la aceleración a la que es sometido el cuerpo humano sobre la plataforma. Esto aumenta la tensión generada por los músculos, lo que finalmente provoca un aumento mayor de la fuerza. Por otro lado, diversos autores han sugerido que el entrenamiento WBV activa específicamente las fibras rápidas (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Rittweger, Beller y Felsenberg, 2000), las cuales son responsables de los movimientos más explosivos. Esto contribuiría a explicar porqué los mayores incrementos de fuerza observados en nuestro estudio se producen cuando la fuerza es generada a una alta velocidad ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ).

Al valorar la composición corporal, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la variación de la masa grasa, el contenido mineral óseo y la densidad mineral ósea tras el entrenamiento vibratorio. Todo lo contrario sucedió con la MLG que aumentó de manera significativa en el grupo que entrenaban con alta amplitud (GH) entre el pre-test y el post-test. En lo referente a la MG, no se produjeron modificaciones estadísticamente significativas, en términos absolutos ni porcentuales, tras un entrenamiento vibratorio de seis semanas. Tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes grupos entre sí. Esta investigación aporta resultados similares a los publicados por Roelants et al. (2004), quienes valoraron la composición corporal de 48 mujeres con edad y nivel de actividad física similar al de los participantes de este estudio. Tras 24 semanas de WBV, 3 sesiones por semana, con una frecuencia, una amplitud, y un tiempo de exposición a la vibración similar a los de este estudio, no observaron cambios en la grasa corporal (Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004).

Estos resultados parecen estar justificados por lo descrito por Hazell et al. (2008), quienes afirman que el estrés cardiovascular producido al exponerse a WBV es moderado (Hazell, Thomas, Deguire y Lemon, 2008), y que los requerimientos energéticos podrían ser comparados a caminar a una intensidad moderada (Silva, Fernández, Castillo, Nuñez, Vaamonde, Poblador y Lancho, 2007; Rittweger, Beller y Felsenberg, 2000). Además, la duración total de WBV en la sesión más duradera a la que se sometieron los participantes del presente trabajo fue de 13 minutos, siendo probablemente un período demasiado breve para producir cambios en la grasa corporal. Parece que el estímulo provocado por WBV es insuficiente para que se produzca una elevada carga metabólica que conlleve una reducción de la MG. Rittweger (2010), en una reciente revisión (Rittweger, 2010), expone que una persona de 70 Kg, mientras realiza WBV, consumiría aproximadamente 20 l de oxígeno por hora. Asumiendo un equivalente energético de 20,9 kJ por litro de oxígeno y un

equivalente calórico de 39 kJ por cada gramo de grasa, esto implicaría una pérdida de peso de tan solo 10 gramos de grasa por cada hora de este tipo de ejercicio. Quedando así justificado que no se produzcan pérdidas de MG con este tipo de ejercicio. Como se ha comentado anteriormente, la MLG aumentó de manera significativa entre el pre-test y el post-test en el grupo que se sometió a una amplitud vibratoria alta. A su vez, no se produjeron cambios significativos en el grupo experimental que entrenaba a baja amplitud de vibración, ni en el GC.

Al comparar con el estudio elaborado por Roelants et al. (2004), se pueden observar similares resultados. Los autores evaluaron la composición corporal de 48 mujeres jóvenes tras 24 semanas de entrenamiento vibratorio, obteniendo un incremento significativo del 2,2% de la MLG entre el pre-test y el post-test (Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004). En la presente investigación, se observó un incremento de un 1,6% en el grupo GH con sólo 6 semanas de entrenamiento. Han sido varios los estudios que sugieren que la hipertrofia muscular puede ser debida a una respuesta hormonal inducida por la vibración. El ejercicio provoca reacciones endocrinas que se pueden entender como señales mediadoras para el efecto del entrenamiento (Viru, 1992). Tales respuestas hormonales han sido documentadas por un incremento de testosterona (Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo y Viru, 2000), de hormona de crecimiento (Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo y Viru, 2000; Cardinale y Erskine, 2008; Kvorning, Bagger, Caserotti y Madsen, 2006), aumento de catecolaminas (Goto y Takamatsu, 2005), disminución del cortisol (Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo y Viru, 2000; Kvorning, Bagger, Caserotti y Madsen, 2006), e incrementos en la síntesis de proteínas (Wilcock, Whatman, Harris y Keogh, 2009). La literatura muestra que hay un mayor incremento en la producción de hormona de crecimiento con la exposición a vibraciones de forma aguda (Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo y Viru, 2000). Estos efectos endocrinos podrían constituir una de las explicaciones del aumento de la MLG tras el entrenamiento vibratorio.

En el estudio de Roelants et al. (2004), a pesar de someterse a vibraciones durante más tiempo se observaron menores incrementos en la MLG que en el presente estudio. Esto podría ser debido a la diferencia en la muestra utilizada, ya que Roelants et al. (2004) utilizaron únicamente mujeres jóvenes, mientras que en el presente trabajo se utilizó mayor proporción de hombres jóvenes, los cuales producen mayores niveles de testosterona, y por tanto, mayores incrementos de MLG. Al relacionar la ganancia de MLG con los resultados obtenidos en las valoraciones de fuerza isocinética, se observa que es el grupo que entrenó con una amplitud alta (GH), el que obtuvo mayores incrementos. A su vez, ya que las mayores ganancias en fuerza isocinética se

produjeron a velocidades elevadas ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ), se podría sugerir, aunque no existe suficiente evidencia científica al respecto, que la vibración de amplitud alta produce una mayor hipertrofia de fibras musculares tipo II. Eckhardt et al. (2011) en un reciente estudio, comprobaron que un entrenamiento vibratorio incrementaba el lactato de manera significativa en comparación con ejercicios realizados sin vibración, sugiriendo que podría ser debido al mayor reclutamiento de fibras glucolíticas tipo II durante WBV, aunque para poder confirmarlo, sería necesario realizar biopsias musculares (Eckhardt, Wollny, Muller, Bartsch y Friedmann-Bette, 2011).

En cuanto al contenido mineral óseo (CMO) y la densidad mineral ósea (DMO), no se produjeron variaciones entre pre-test y post-test. Tampoco se obtuvieron mejoras al comparar entre sí los grupos sometidos a estudio. Algunos estudios han hallado potenciales aplicaciones de WBV en la prevención de la osteoporosis. Se ha encontrado que la vibración mecánica de alta frecuencia y baja magnitud provocan un efecto anabólico en el tejido óseo de ovejas (Rubin, Xu y Judex, 2001) y ratas (Flieger, Karachalios, Khaldi, Raptou y Lyritis, 1998). Posteriormente se publicaron los mismos efectos en mujeres posmenopáusicas (Rubin, Turner, Muller, Mitra, McLeod, Lin y Qin, 2002). Por el contrario, Torvinen et al. (2002) no encontraron ninguna adaptación ósea tras 8 meses de entrenamiento con WBV en jóvenes sanos (Torvinen, Kannus, Sievänen, Järvinen, Pasanen, Kontulainen, Järvinen, Järvinen, Oja y Vuori, 2002). Tampoco Russo et al. (2003) encontraron mejoras en la densidad ósea tras 6 meses de entrenamiento en mujeres posmenopáusicas (Russo, Lauretani, Bandinelli, Bartali, Cavazzini, Guralnik y Ferrucci, 2003). La disparidad de resultados entre Russo et al. (2003) por un lado, y los estudios de Rubin et al. (2002) y Verschueren et al. (2004) por otro, podrían explicarse por el volumen escaso de trabajo por sesión que aplicaron los primeros; 6 minutos en el estudio de Russo et al. (2003) frente a 2 sesiones de 10 minutos diarias en el trabajo de Rubin et al. (2002) y 30 minutos por sesión en el trabajo de Verschueren et al. (2004).

El actual estudio trabaja a similares valores de frecuencia, amplitud, número de sesiones semanales y volumen de trabajo diario; pero no tiene una duración comparable a la de los estudios mencionados. Al parecer, el tiempo de exposición a la vibración, puede ser la causa por la que en el presente trabajo no se observen mejoras significativas a nivel óseo. A diferencia de los estudios que obtuvieron resultados positivos, los participantes de la actual investigación se sometieron a vibraciones durante un periodo de 6 semanas, frente a periodos de varios meses de los estudios que sí obtuvieron ganancias.

La potencia y la fuerza explosiva son aspectos que han sido estudiados sobre el entrenamiento vibratorio, siendo valorados a través de saltos verticales como el SJ y el CMJ. En el presente trabajo, únicamente mejoró la fuerza máxima aplicada al suelo para los grupos experimentales (GL y GH) en el SJ, pero estas diferencias

desaparecieron cuando se normalizaron los valores en relación al peso corporal. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para ninguno de los saltos realizados (SJ y CMJ) entre el pre-test y el post-test. Tampoco cuando se comparaban los diferentes grupos entre sí. De Ruitter et al. (2003) valoraron los efectos de 11 semanas de WBV en semi-sentadilla estática sobre la altura de salto, sin obtener mejoras significativas (De Ruitter, Van Raak, Schilperoort, Hollander y de Haan, 2003). Al igual que sucede en la presente investigación. En cambio, otros estudios que valoraron el efecto a largo plazo de WBV sobre el rendimiento en el salto vertical, tanto el SJ (Colson, Pensini, Espinosa, Garrandes y Legros, 2010; Fernández-Rio, Terrados, Fernández-García y Suman, 2010) como el CMJ (Delecluse, Roelants, Diels, Koninckx y Verschueren, 2005; Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Fernández-Rio, Terrados, Fernández-García y Suman, 2010; Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004; Ronnestad, 2004), mostraron mejoras en el rendimiento de los saltos. Estas diferencias con los resultados obtenidos por la presente investigación y por De Ruitter et al. (2003), podrían ser debido a que los protocolos de ejercicios llevados a cabo sobre la plataforma eran diferentes. En el presente estudio, al igual que en el de De Ruitter et al. (2003) los participantes realizaban una semi-sentadilla de forma estática, a diferencia de las otras investigaciones que realizan diferentes ejercicios de forma dinámica sobre la plataforma. Una posible explicación, sería que asumiendo que WBV produce un aumento de la activación muscular, y que la aplicación de las vibraciones a través de los pies es inespecífica, aumentaría la activación de la musculatura agonistas y antagonista (co-activación) (Rothmuller y Cafarelli, 1995), generando dudas sobre los beneficios de la coordinación muscular en tareas tales como el salto (Fernández-Rio, Terrados, Fernández-García y Suman, 2010). Así, se podría decir, que para una mejora, mediante WBV, de los efectos a largo plazo sobre tareas tales como el salto que requieran cierta coordinación intermuscular. No se deberían utilizar protocolos de ejercicios estáticos sobre la plataforma vibratoria, utilizando éstos solamente para participantes sin experiencia, por su sencillez en el aprendizaje.

#### **4.5. APLICACIONES PRÁCTICAS**

La investigación actual indica que el uso de un entrenamiento vibratorio incremental, dos días por semana durante 6 semanas con WBV de amplitud alta puede aumentar la fuerza isocinética y la masa magra total. Se recomienda este protocolo para sujetos activos que realizan actividad física de forma recreativa con el objetivo de lograr los mayores efectos en la condición física y el rendimiento deportivo. Por lo tanto,

consideramos que el entrenamiento WBV de amplitud alta es una herramienta útil para entrenadores personales y profesores de educación física cuando se pretende conseguir un buen estado de forma y un entrenamiento completo. Esto se ha demostrado en este estudio, donde es evidente que 6 semanas de entrenamiento utilizando una plataforma vibratoria con una frecuencia de 50 Hz y una amplitud de movimiento de 4 mm, produce hipertrofia muscular en sujetos activos. Sin embargo, es necesario realizar más estudio para establecer el protocolo vibratorio más adecuado en función de las características individuales de otras poblaciones.





***CAPÍTULO 5:***

ESTUDIO N°3: EFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIC  
VARIANDO EL NÚMEROS DE SESIONES POR SEMANA EN  
ADULTOS ACTIVOS

---

## CAPÍTULO 5. ESTUDIO N°3.

### EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS

### EFFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VARIANDO EL NÚMEROS DE SESIONES POR SEMANA EN ADULTOS ACTIVOS

#### 5.1. Introducción

Las vibraciones corporales de todo el cuerpo (WBV) se sugieren como un método de entrenamiento y rehabilitación (Rhea, Bunker, Marín y Lunt, 2009). En la práctica deportiva, la vibración se aplica a todo el miembro, o incluso, a todo el cuerpo (Issurin, 2005), a través de una plataforma vibratoria en la que una persona se mantiene encima durante un cierto período de tiempo (Cardinale, Leiper, Erskine, Milroy, Bell, 2006). Los dispositivos de ejercicio disponibles actualmente en el mercado proporcionan la vibración a todo el cuerpo a través de superficies oscilatorias que utilizan dos sistemas diferentes: (a) un movimiento alternativo con desplazamientos verticales que van de izquierda a derecha con un punto de apoyo; (b) una superficie única que oscila de manera uniforme hacia arriba y abajo (10). En la mayoría de los dispositivos, tales movimientos vibratorios generan oscilaciones sinusoidales que se caracterizan por su amplitud (mm) y su frecuencia (Hz). Durante la vibración, el cuerpo humano se acelera haciendo que una fuerza de reacción actúe sobre él (Rittweger, 2010).

Algunos de los beneficios de la vibración incluyen mejoras en la salud de los huesos y la función neuromuscular (Rubin, Xu, Judex, 2001). Los efectos de la exposición a diferentes vibraciones se han evaluado utilizando para ello diferentes protocolos y métodos. Diferentes estudios sobre plataformas de vibración han mostrado mejoras significativas en la fuerza muscular y la potencia en diferentes poblaciones (Verschueren, Roelants, Delecluse, Swinnen, Vanderschueren, Boonen, 2004; Bosco, Colli, Intromini, Cardinale, Tsarpela, Madella, Tihanyi, Viru, 1999; Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo, Viru, 2000; Cardinale y Bosco, 2003). Algunos estudios también sugieren que WBV podría afectar a las respuestas cardiovasculares durante el ejercicio (Hazell, Thomas, Deguire y Lemon, 2008; Rittweger, Beller, Felsenberg, 2000) o a la cinemática del  $\text{VO}_2\text{máx}$  (Lamont, Cramer, Bemben, Shehab, Anderson, Bemben, 2008), y han mostrado un incremento de

hormonas tras su aplicación modificando la actividad del sistema endocrino (Bosco et al., 2000).

Los principales mecanismos para explicar el aumento de la fuerza muscular derivada del entrenamiento vibratorio son la regulación neural de la contracción muscular voluntaria y las adaptaciones neuromusculares que se producen (Issurin, 2005). Se demostró que 24 sesiones WBV durante 8 semanas (30 Hz, 5 mm) son un método de entrenamiento eficaz a corto plazo para inducir mejoras en la fuerza explosiva de los extensores de la rodilla (Annino, Padua, Castagna, Di Salvo, Minichella, Tsarpela, Manzi y D'Ottavio, 2007). Cuando se evaluaron los efectos de WBV en los saltos verticales, se hallaron mejoras en el rendimiento SJ (Cardinale, 2002) y CMJ (Annino et al., 2007; Ronnestad, 2004; Roelants, Delecluse, Verschueren, 2004). Torvinen et al. (Torvinen, Kannu, Sievänen, Järvinen, Pasanen, Kontulainen, Järvinen, Järvinen, Oja y Vuori, 2002) sugieren que una exposición a corto plazo (4 min) de WBV puede inducir una mejora en el rendimiento del salto vertical (CMJ) y la capacidad de generar fuerza en los miembros inferiores (fuerza isométrica máxima de los extensores de la pierna). Resultados similares encuentra Cardinale (Cardinale, 2002) tras 10 días de ejercicio vibratorio donde participaron atletas masculinos, mostrando una mejora considerable en el salto vertical (CMJ y 5 s de salto continuo) y la fuerza muscular (ejercicios dinámicos de prensa de piernas con una carga extra de 70, 90, 110 y 130 kg) (Cardinale, 2002). Al parecer, este aumento de la actividad muscular podría deberse a que la vibración activa los receptores sensoriales de los músculos, que a su vez provocan la activación refleja de las unidades motoras (Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin, Stijnen, 2006). Además, Lamont et al. (Lamont, Cramer, Bemben, Shehab, Anderson, Bemben, 2008) han demostrado que un periodo de 6 semanas de entrenamiento parece ser un tiempo suficiente como para producir mejoras significativas en las medidas de potencia como la altura del salto (cm) y la potencia máxima (Pmax) y SJ, para el grupo de WBV en comparación con el grupo control (GC). En contraposición, De Ruyter et al. (De Ruyter, Van Raak, Schilperoort, Hollander y de Haan, 2003) encontraron que 11 semanas de entrenamiento WBV (30 Hz, 8 mm) sin cargas adicionales de peso no mejoraba la fuerza muscular de los extensores de la rodilla (CMJ) en diez sujetos jóvenes sanos y físicamente activos.

La reducción de la grasa corporal y el aumento de la masa muscular son algunos de los objetivos principales para comenzar un programa de ejercicio (Roelants, Delecluse, Goris, Verschueren, 2004). Sin embargo, son pocos los estudios que analizan los efectos del entrenamiento WBV sobre la composición corporal. Por ejemplo, un estudio reciente ha encontrado que el entrenamiento WBV con amplitud alta puede inducir aumentos en la masa corporal magra en estudiantes sanos (Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin, Stijnen, 2006). Otro estudio (Harrison y Bourke, 2009) encontró que hubo un aumento recíproco (+ 2,2%) de la masa libre en grasa (MLG) en mujeres

jóvenes no entrenados tras 24 semanas de entrenamiento WBV. El grupo WBV entrenó 3 veces por semana incrementando sistemáticamente el volumen de entrenamiento (35-40 Hz; 2,5-5 mm; 3-20 min, número de serie, acortando los tiempos de descanso). Sin embargo, no hubo ningún cambio en la cantidad total de grasa (Roelants et al., 2004). Este resultado se encuentra en la misma línea que el estudio de Fjeldstad et al. (Fjeldstad, Palmer, Bembem, Bembem, 2009) quienes demostraron que el entrenamiento WBV (con sobrecarga progresiva, 30-40 Hz, 3 mm), añadiendo un entrenamiento de pesas 3 veces por semana durante 8 meses dio lugar a cambios positivos en la composición corporal mediante el aumento de tejido magro en mujeres mayores. Además, un estudio preliminar realizado por Vissers et al. (Vissers, Verrijken, Mertens, Van Gils, Van de Sompel, Truijen y Van Gaal, 2010) muestra cómo 6 meses de entrenamiento WBV (30-40 Hz; baja amplitud alta, 10 a 22 ejercicios) pueden influir en la reducción de la grasa visceral de los adultos obesos. Sin embargo, Verschueren et al. (2004) encontraron que la masa muscular no se vio afectada en las mujeres posmenopáusicas después de 6 meses de entrenamiento WBV (3 veces a la semana) al aumentar sistemáticamente la intensidad (35-40 Hz; 1,7 hasta 2,5 mm) y el volumen (duración de una sesión vibratoria; número de series por ejercicio; número de diferentes ejercicios). Por esta razón, se necesita más investigación sobre este asunto.

Todas las adaptaciones al entrenamiento son "específicas" para el estímulo aplicado, y éstas están determinadas por diversos factores (American College of Sports Medicine): Uno de los estímulos es la frecuencia de entrenamiento óptimo (el número de entrenamientos por semana). La frecuencia de entrenamiento depende del número de grupos musculares involucrados por entrenamiento, así como del volumen y de la intensidad (American College of Sports Medicine). Las frecuencias de 2-3 días por semana han sido eficaces en 29 voluntarios desentrenados (Candow y Burke, 2007). Los datos de un meta-análisis demostraron que las ganancias de fuerza en individuos no entrenados fueron más altas con una frecuencia de 3 días a la semana (Rhea, Alvar, Burkett y Ball, 2003).

Debido a que existe mucha controversia, los objetivos de esta investigación son estudiar los efectos que se producen cuando se utiliza WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días x semana<sup>-1</sup>) en el desarrollo de la fuerza, la potencia mecánica de los músculos de las extremidades inferiores y los cambios en la composición corporal en adultos activos. Por lo tanto, se establece la siguiente hipótesis: el programa de entrenamiento WBV de tres días, produce un aumento de la potencia mecánica, la fuerza y la masa muscular en los adultos jóvenes y sanos, mientras que un entrenamiento de dos días no.

## 5.2. Metodo

### 5.2.1. *Diseño*

Se utilizó un diseño de grupos cuasi-experimental pre-test / post-test con dos grupos de entrenamiento y un GC para examinar los efectos a corto plazo de 2 vs 3 sesiones por semana utilizando WBV sobre el desarrollo de la fuerza y la potencia mecánica de los miembros inferiores, y la composición corporal. Antes de registrar los datos, los sujetos participaron en una sesión de familiarización para cada prueba. Para reducir las variables extrañas, se utilizó un diseño de pares combinados (match-pairs) en las que los participantes fueron agrupados en función de su nivel de actividad física habitual medida con el cuestionario G-PAQ, el género, y la fuerza isocinética de los extensorres de la rodilla (Tabla 1), y posteriormente se le asignó a una de las dos grupos experimentales, o al GC: (a) G2 = 2 entrenamiento WBV por semana; (b) G3 = 3 sesión de entrenamiento WBV por semana; (c) GC = sin entrenamiento. Los sujetos completaron 1 semana de familiarización WBV antes de la fase de entrenamiento específica de 6 semanas. Durante la fase de familiarización de 1 semana, los sujetos realizaron un entrenamiento WBV con una magnitud de la carga baja; adicionalmente, en esta fase los participantes se familiarizaron con los protocolos de medición (salto vertical y pruebas isocinéticas).

### 5.2.2. *Participantes*

Participaron en el estudio cuarenta y un estudiantes activos que realizaban actividad física de forma recreativa (n = 41; 32 hombres y 9 mujeres;  $21,4 \pm 63,0$  años;  $172,6 \pm 10,9$  cm;  $70,9 \pm 12,3$  kg) (Tabla 1). Se entiende por actividad recreativa aquella que en la que se realiza una actividad física de intensidad baja a moderada no más de 3 veces por semana durante aproximadamente 20 ó 30 minutos. Los sujetos leyeron y firmaron el consentimiento informado antes de la participación en el estudio. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia.

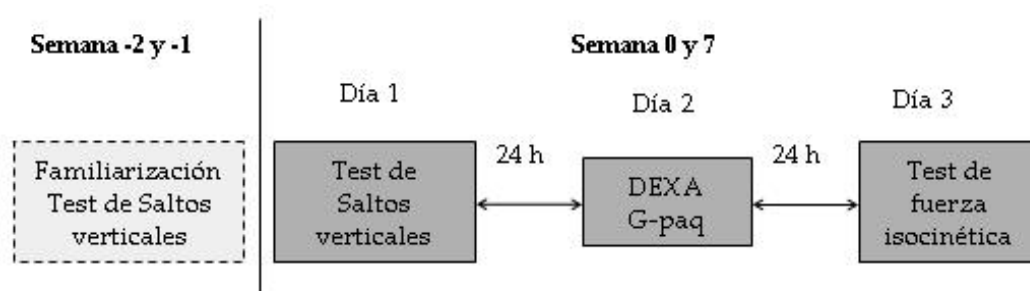
**Tabla 1.** Características de los participantes. \*

		Edad (años)	Altura (cm)	Masa corporal (kg)	TorqF 270° · s <sup>-1</sup> (N·m)
G2	(n = 16)	21,5 ± 5,2	175,1 ± 8,1	71,2 ± 12,6	124,8 ± 37,8
G3	(n = 14)	21,1 ± 1,6	170,3 ± 15,8	74,8 ± 13,9	123,7 ± 39,9
GC	(n = 11)	21,5 ± 3,8	172,3 ± 8,9	66,8 ± 10,5	132,0 ± 33,3
TOTAL	(n = 41)	21,4 ± 3,0	172,6 ± 10,9	70,9 ± 12,3	126,8 ± 37,0

\* TorqF = torque pico de extensión de la rodilla; M = hombre; F = mujer; GL = grupo de baja amplitud (2 mm); GH = grupo de alta amplitud (4 mm); GC = grupo control.

### 5.2.3. Procedimiento Experimental

La evaluación inicial y final se llevó a cabo al principio y al final de la fase experimental. Se utilizó una semana para llevar a cabo las pruebas. Los participantes realizaron la prueba inicial y final en la misma secuencia y en la misma hora del día (Figura 1). Dos semanas antes de la toma inicial de datos se implementaron 2 sesiones de familiarización con las pruebas de saltos. Todas las pruebas que involucran acciones musculares se realizaron con un descanso de 48 horas entre cada sesión de medición, con el objetivo de garantizar que los participantes no sufrieran fatiga durante su realización.



**Figura 1.** Distribución temporal de todas las pruebas complementarias. DEXA = densitometría; G-paq = cuestionario para valorar el nivel de actividad física.

#### 5.2.4. Saltos

Se realizaron diferentes tests de salto (SJ y CMJ) sobre una plataforma de fuerza (Dinascan / IBV, Valencia, España). Para la ejecución de los saltos, se le pidió a los sujetos que mantuvieran sus manos en la cintura en todo momento para minimizar cualquier impulso que pudiera ocasionar la parte superior del cuerpo (Caserotti, Aagaard, Simonsen, y Puggaard, 2001). Cada sujeto realizó una ejecución de prueba para cada uno de los movimientos antes de realizar los tests. Todas las variables de las pruebas de salto se tomaron en términos absolutos, así como en relación a la masa corporal (Bojsen-Moller, Magnusson, Rasmussen, Kjaer y Aagaard, 2005). Los SJ se realizaron a partir de un ángulo de rodillas de 90°, y no se permitió ningún salto o contramovimiento. Si se detectaba algún contramovimiento en la pantalla de fuerza-tiempo, el sujeto debía repetir ese salto. Para los CMJ, se instruyó a los sujetos para que realizaran el salto lo más rápido posible con el objetivo de que el ciclo de estiramiento-acortamiento se activase (Komi, 1984). Se analizaron las curvas fuerza-tiempo (SJ y CMJ) para obtener 3 variables dependientes: la altura del salto, la potencia mecánica máxima (Pmax), y el ratio máximo de desarrollo de la fuerza (RFDmax). El inicio de la contracción concéntrica se definió en el punto en que las lecturas de fuerza eran 10 N mayor que el promedio de las lecturas de fuerza cuando el sujeto estaba estático en la posición de inicio del SJ. La altura del salto (h) se calculó a partir de la velocidad de despegue vertical ( $v_i$ ) mediante la siguiente ecuación:  $h = v_i^2 \cdot 2g^{-1}$ . La potencia mecánica absoluta y relativa se calculó de la siguiente forma: fuerza vertical x velocidad vertical instantánea del sistema de centro de masa (Caserotti, Aagaard y Puggaard, 2008), y RFDmax se calculó como el mayor aumento en la fuerza durante períodos de 5 milisegundos desde el inicio de la contracción concéntrica (Harrison y Bourke, 2009).

#### 5.2.5. Fuerza isocinética

Se utilizó un dinamómetro isocinético (Biodex Sistema 3; Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY, EE.UU.) para las valoraciones de fuerza isocinética. Cada sujeto realizó una sesión de familiarización completa y estandarizada que incluía todas las pruebas, al menos 1 semana antes de las valoraciones. Los extensores de la cadera y flexores de la pierna dominante se valoraron concéntricamente. Todos los movimientos se testearon a las velocidades angulares de 60°·s<sup>-1</sup>, 180°·s<sup>-1</sup>, y 270°·s<sup>-1</sup>. Cada sujeto se midió en una posición de bipedestación y se estabilizó con correas de velcro. El eje de rotación del brazo de palanca del dinamómetro se alineó con el eje anatómico de la cadera, como se describe en el manual Biodex. El dinamómetro se calibró antes de cada sesión de valoración, y se calculó la corrección del factor gravitacional realizándose una compensación automática de las mediciones. En cada test, el sujeto realizó a modo de calentamiento 5 repeticiones submáximas seguidas de 3 repeticiones máximas. El

test comenzó 1 minuto después de haber terminado las series de calentamiento. Se utilizó un período de recuperación de 90 segundos (Brown, 2000) entre tests. Después de las repeticiones de calentamiento, se realizaron 3 repeticiones máximas para cada test (Alcaraz, Elvira, y Palao, 2014). Se tomó como medida de la fuerza máxima, aquella repetición en la que se obtuvo el mayor pico torque. Los resultados fueron normalizados expresándolos en relación a la masa corporal.

#### **5.2.6. Composición corporal**

Se valoró la masa ósea total y regional, la grasa y la MLG mediante DEXA (XR-46; Norland Corp., Fort Atkinson, WI, EE.UU.). El escáner DEXA fue calibrado usando una pieza de calibración de la columna lumbar como recomienda el fabricante. Los sujetos fueron escaneados en posición supina. Se calculó la masa magra (en gramos), la masa grasa (en gramos), la superficie total (centímetro cuadrado), y el CMO (g) a partir del análisis total y el regional de la exploración de todo el cuerpo. El área de la DMO ( $\text{g}\cdot\text{cm}^2$ ) se calculó mediante la fórmula  $\text{DMO} = \text{CMO (g)} \times \text{área (cm}^2\text{)}^{-1}$ .

#### **5.2.7. Protocolo de vibración**

El estímulo vibratorio consistió en oscilaciones verticales producidas por la plataforma Power Plate® Next Generation (Power Plate Norteamérica, Northbrook, IL, EE.UU.). Los sujetos se colocaron sobre la plataforma en bipedestación adoptando una posición isométrica con flexión de rodillas y situando los pies con una separación predeterminada (Lamont, Cramer, Bembem, Shehab, Anderson y Bembem, 2010). Tras la semana de familiarización, los sujetos entrenaron 2 ó 3 días a la semana durante 6 semanas (con la excepción del GC) utilizando un programa de entrenamiento vibratorio incremental que se inició con 8 series por sesión y aumentó progresivamente. Los parámetros vibratorios a tener en cuenta fueron: frecuencia de la vibración (50 Hz), tiempo de cada serie (60 s) y tiempo de recuperación (60 s) que fueron iguales para los 2 grupos variando sólo los días semanales de entrenamiento (G2 = 2 días, G3 = 3 días) (Tabla 2). Se tomó en consideración para el diseño de este protocolo a la Sociedad Internacional de Interacciones Musculoqueléticas y Neuronales (Rauch, Sievanen, Boonen, Cardinale, Degens, Felsenberg, Roth, Schoenau, Verschueren y Rittweger, 2010).



**Tabla 2.** Distribución semanal de los parámetros del entrenamiento vibratorio\*.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
G2	8 x 60 s	9 x 60 s	10 x 60 s	11 x 60 s	12 x 60 s	13 x 60 s
	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
G3	8 x 60 s	9 x 60 s	10 x 60 s	11 x 60 s	12 x 60 s	13 x 60 s
	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
GC	No realizan entrenamiento vibratorio					

S = semana; G2 = grupo con dos días de entrenamiento; G3 = grupo con tres días de entrenamiento; GC = grupo control.

#### 5.2.8. *Análisis Estadístico:*

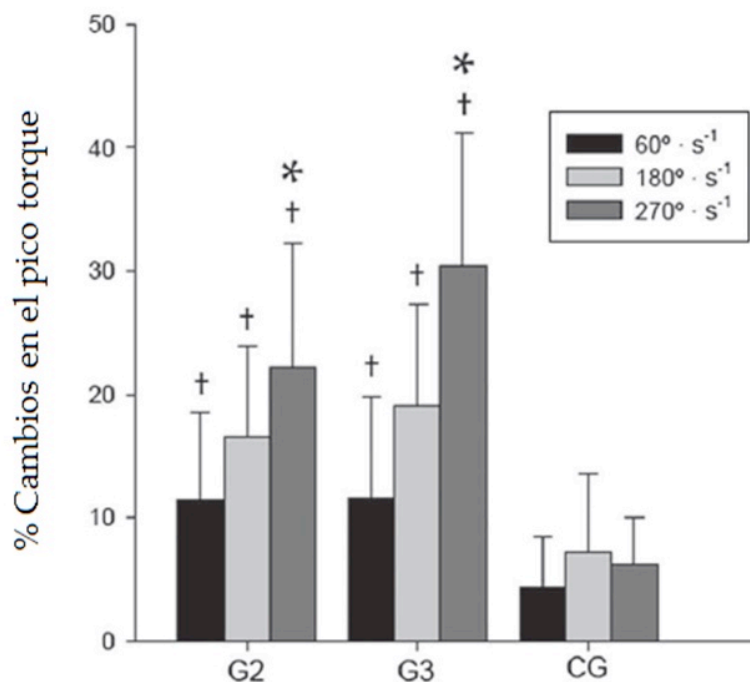
Los datos se almacenaron utilizando la hoja de cálculo Excel 2003 (Microsoft corp., Redmond, WA, EE.UU.). El análisis estadístico de los datos se realizó con SPSS 15.0 (SPSS 15.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, EE.UU.) en el entorno Windows. Un análisis descriptivo se realizó al detalle para analizar las características de la muestra que participó en el estudio. Para el análisis inferencial, se realizó la prueba de Shapiro-Wilks para establecer la normalidad de la distribución de la muestra y su análisis con independencia de lo observado. Para determinar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes, se llevó a cabo un análisis de medidas repetidas de la varianza (ANOVA) para toda la muestra. En el caso de existir diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para el factor tiempo, se realizó una prueba de ANOVA de medidas repetidas (Modelo lineal general) para evaluar las medidas repetidas de cada grupo para diferenciar entre las sesiones de pretest y postest. Ante la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para el factor tiempo x grupo, se realizó un análisis factorial de la varianza (ANOVA) y el test post hoc de Tukey, para ver si había diferencias significativas entre grupos.

### 5.3. Resultados

Este estudio se diseñó para investigar los efectos que producen 6 semanas de entrenamiento con vibraciones corporales modificando su frecuencia (días). A continuación se muestran los resultados de la fuerza isocinética, el salto vertical, y los cambios en la composición corporal de los grupos que participaron en el estudio.

#### Fuerza isocinética

La figura 2 presenta las ganancias relativas al pico torque entre el pre-test y post-test para cada grupo: G2 ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11,5 \pm 14,0\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 16,5 \pm 14,7\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 22,1 \pm 20,3\%$ ), G3 ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11,6 \pm 16,5\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 19,1 \pm 16,5\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 30,5 \pm 21,5\%$ ) y GC ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 4,4 \pm 8,1\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 7,2 \pm 12,7\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 6,2 \pm 7,6\%$ ). Se observaron diferencias estadísticamente significativas al comparar el efecto del tiempo entre los grupos experimentales y el CG. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre G3 y GC ( $p = 0,066$ ) a velocidades angulares de  $180^\circ \cdot s^{-1}$ . A su vez, a velocidades angulares de  $270^\circ \cdot s^{-1}$  aparecieron diferencias estadísticamente significativas entre G2 ( $p = 0,041$ ) y G3 ( $p = 0,001$ ) en comparación con GC.



**Figura 2.** Cambios en la fuerza isocinética de los extensores de la rodilla a velocidades angulares de  $60^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$ . G2 = grupo que entrenaba 2 días; G3 = grupo que entrenaba 3 días; GC = grupo control; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre pretest y posttest; \* = Diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) con el GC.

### Composición corporal

La Tabla 3 muestra los resultados de las variables de composición corporal así como los cambios que se produjeron en los grupos experimentales y GC entre el pre-test y el post-test (media  $\pm$  SD). Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre pre-test y post-test en la MLG para el G2 ( $p = 0,005$ ) y G3 ( $p = 0,001$ ). Cuando el análisis fue entre grupos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre G3 y CG en la MLG.

**Tabla 3.** Variables de la composición corporal (media  $\pm$  SD). \*

		MG (%)	MLG (Kg)	MG (Kg)	DMO <sub>total</sub> (g · cm <sup>-2</sup> )	CMO <sub>total</sub> (g)
G2	Pre	18,3 $\pm$ 6,8	54,7 $\pm$ 10,8	13,1 $\pm$ 5,9	1,1 $\pm$ 0,1	3106 $\pm$ 445
	Post	17,6 $\pm$ 7,7	55,6 $\pm$ 10,9 †	12,6 $\pm$ 6,9	1,1 $\pm$ 0,1	3104 $\pm$ 435
	$\Delta$	-0,8 $\pm$ 1,7	0,9 $\pm$ 1,0	-0,5 $\pm$ 1,4	0,0 $\pm$ 0,0	-1,1 $\pm$ 21,9
G3	Pre	20,7 $\pm$ 7,3	53,7 $\pm$ 10,5	14,6 $\pm$ 4,9	1,1 $\pm$ 0,1	3035 $\pm$ 319
	Post	19,8 $\pm$ 7,4	55,1 $\pm$ 10,4 †	14,2 $\pm$ 5,8	1,1 $\pm$ 0,1	3036 $\pm$ 326
	$\Delta$	-0,8 $\pm$ 1,9	1,5 $\pm$ 0,7	-0,4 $\pm$ 1,3	0,0 $\pm$ 0,0	0,9 $\pm$ 27,6
GC	Pre	20,6 $\pm$ 7,6	49,4 $\pm$ 10,8	13,1 $\pm$ 4,1	1,1 $\pm$ 0,2	2968 $\pm$ 542
	Post	21,1 $\pm$ 7,3	49,7 $\pm$ 10,7	13,8 $\pm$ 3,9	1,1 $\pm$ 0,2	2971 $\pm$ 550
	$\Delta$	0,6 $\pm$ 1,9	0,4 $\pm$ 0,7 ‡	0,7 $\pm$ 1,4	0,0 $\pm$ 0,0	3,3 $\pm$ 22,8

\* G2 = grupo que entrenaba 2 días; G3 = grupo que entrenaba 3 días; GC = grupo control; FM = masa grasa, MLG = masa libre de grasa; DMO = densidad mineral ósea; CMO = contenido mineral ósea;  $\Delta$  = diferencia, † Diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre pretest y posttest, ‡ Diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) con G3.

### Rendimiento del salto vertical

La Tabla 4 muestra los resultados de la altura de los saltos (SJ y CMJ), así como, los cambios que se produjeron en la altura de los mismos en relación al peso corporal (pc) para los grupos experimentales y el GC entre el pre-test y el post-test (media  $\pm$  SD). Tras realizar la ANOVA de medidas repetidas, no se encontraron cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre-test y el post-test en ninguno de los grupos estudiados.  $SJ_h$  ( $p = 0,112$ ),  $CMJ_h$  ( $p = 0,646$ ),  $SJ_{h \cdot pc^{-1}}$  ( $p = 0,473$ ), y  $CMJ_{h \cdot pc^{-1}}$  ( $p = 0,254$ ).

La tabla 5 muestra los resultados de la potencia mecánica máxima absoluta y relativa de cada uno de los grupos cuando se realiza un salto vertical (SJ y CMJ). Al realizar una ANOVA de medidas repetidas, no se observaron cambios estadísticamente significativos ( $p > 0,05$ ) en la potencia pico desarrollada durante el SJ ( $p = 0,689$ ) ni durante el CMJ ( $p = 0,542$ ) entre el pre-test y el post-test de los grupos estudiados.

No hubo cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la potencia pico valorada en relación a bm durante el SJ ( $p = 0,423$ ), ni durante el CMJ ( $p = 0,833$ ) para los grupos experimentales y el GC entre el pre-test y el post-test.

**Tabla 4.** Altura del salto SJ y CMJ en relación a la masa corporal (media  $\pm$  SD).\*

		$SJ_h$	$CMJ_h$	$SJ_{h/pc}$	$CMJ_{h/pc}$
		(cm)	(cm)	(cm $\cdot$ kgf <sup>-1</sup> )	(cm $\cdot$ kgf <sup>-1</sup> )
G2	Pre	28,7 $\pm$ 5,0	31,7 $\pm$ 5,3	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	Post	27,3 $\pm$ 4,7	31,5 $\pm$ 5,0	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	$\Delta$	-1,4 $\pm$ 3,6	-0,2 $\pm$ 3,1	0,0 $\pm$ 0,1	0,0 $\pm$ 0,0
G3	Pre	29,0 $\pm$ 4,9	33,2 $\pm$ 3,8	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	Post	28,0 $\pm$ 3,9	32,2 $\pm$ 3,8	0,4 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,1
	$\Delta$	-1,0 $\pm$ 3,0	-1,0 $\pm$ 2,8	0,0 $\pm$ 0,1	-0,1 $\pm$ 0,0
GC	Pre	27,4 $\pm$ 3,9	30,3 $\pm$ 4,1	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	Post	27,5 $\pm$ 6,0	30,1 $\pm$ 4,5	0,4 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1
	$\Delta$	0,1 $\pm$ 2,8	-0,2 $\pm$ 2,1	0,0 $\pm$ 0,1	0,0 $\pm$ 0,0

\* G2 = grupo que entrenaba 2 días; G3 = grupo que entrenaba 3 días; GC = grupo control; SJ = salto sin contramovimiento; CMJ = salto con contramovimiento; h = altura vertical; pc = peso corporal;  $\Delta$  = diferencia.

**Tabla 5.** Potencia mecánica máxima absoluta y relativa a la masa corporal del SJ y CMJ (media  $\pm$  SD). \*

		<i>SJ</i> <i>P</i> <sub>imax</sub> (W)	<i>CMJ</i> <i>P</i> <sub>imax</sub> (W)	<i>SJ</i> <i>P</i> <sub>imax</sub> /pc (W·kgf <sup>-1</sup> )	<i>CMJ</i> <i>P</i> <sub>imax</sub> /pc (W·kgf <sup>-1</sup> )
G2	Pre	3518 $\pm$ 868	3177 $\pm$ 736	48,9 $\pm$ 6,2	44,4 $\pm$ 6,2
	Post	3382 $\pm$ 847	3155 $\pm$ 765	48,1 $\pm$ 15,4	43,7 $\pm$ 5,7
	$\Delta$	-136,2 $\pm$ 379,9	-21,1 $\pm$ 225,7	-0,8 $\pm$ 13,0	-0,7 $\pm$ 3,3
G3	Pre	3497 $\pm$ 763	3261 $\pm$ 658	48,0 $\pm$ 6,5	44,8 $\pm$ 5,5
	Post	3409 $\pm$ 737	3281 $\pm$ 705	51,1 $\pm$ 13,2	44,2 $\pm$ 4,7
	$\Delta$	-87,8 $\pm$ 254,9	20,2 $\pm$ 373,1	3,1 $\pm$ 12,2	-0,6 $\pm$ 5,6
GC	Pre	3207 $\pm$ 743	2928 $\pm$ 610	47,8 $\pm$ 6,2	43,9 $\pm$ 4,4
	Post	3373 $\pm$ 743	2946 $\pm$ 609	52,2 $\pm$ 11,4	43,8 $\pm$ 3,9
	$\Delta$	165,9 $\pm$ 290,4	18,2 $\pm$ 107,9	4,4 $\pm$ 9,7	-0,1 $\pm$ 2,3

\* G2 = grupo que entrenaba 2 días; G3 = grupo que entrenaba 3 días; GC = grupo control; SJ = salto sin contramovimiento; CMJ = salto con contramovimiento; MIP = máxima potencia instantánea; pc = peso corporal;  $\Delta$  = diferencia.

La Tabla 6 muestra la RFD obtenida en el rendimiento de los saltos (SJ y CMJ) de los grupos experimentales y el CG tanto en el pre-test como en el post-test, así como, la diferencia (media  $\pm$  SD) entre ellos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el pre-test y el post-test del SJ y CMJ entre los grupos estudiados, ni se observaron cambios significativos entre los grupos en ninguno de los saltos verticales estudiados.

**Tabla 6.** Ratio máximo de desarrollo de la fuerza en el SJ y CMJ (media  $\pm$  SD). \*

		$SJ_{RFD_{max}}$ ( $N \cdot s^{-1}$ )	$CMJ_{RFD_{max}}$ ( $N \cdot s^{-1}$ )
G2	Pre	1055 $\pm$ 506	1243 $\pm$ 544
	Post	1316 $\pm$ 693	1313 $\pm$ 562
	$\Delta$	161,1 $\pm$ 393,6	70,2 $\pm$ 733,0
G3	Pre	861 $\pm$ 365	1083 $\pm$ 294
	Post	1074 $\pm$ 424	1279 $\pm$ 434
	$\Delta$	213,4 $\pm$ 402,1	196,5 $\pm$ 434,5
GC	Pre	936 $\pm$ 349	1197 $\pm$ 365
	Post	1116,0 $\pm$ 343,0	1260,0 $\pm$ 543,0
	$\Delta$	179,8 $\pm$ 375,6	62,7 $\pm$ 486,8

\* G2 = grupo que entrenaba 2 días; G3 = grupo que entrenaba 3 días; GC = grupo control; SJ = salto sin contramovimiento; CMJ = salto con contramovimiento;  $RFD_{max}$  = relación entre el desarrollo máximo de la fuerza;  $\Delta$  = diferencia.

#### 5.4. Discusión

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de 6 semanas de WBV sobre la composición corporal, fuerza isocinética y la potencia de las extremidades inferiores variando la frecuencia semanal de entrenamiento (2 vs 3 días). Un hallazgo importante fue el aumento de la fuerza de los músculos extensores de la rodilla para los grupos que se sometieron a vibraciones. Además, hubo una ganancia significativa en la masa total libre de grasa en G2 (0,9  $\pm$  1,0 kg) y G3 (1,5  $\pm$  0,7 kg), estableciéndose diferencias estadísticamente significativas entre G3 y GC (1,04  $\pm$  1,7%) ( $p = 0,05$ ). Sin embargo, no se encontraron cambios significativos en el rendimiento del salto vertical.

En la evaluación de la composición corporal, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el cambio en la MG, CMO, y DMO después del periodo de entrenamiento vibratorio. En contraposición, la MLG aumentó significativamente en el G2 y G3 entre pre-test y post-test. Por otra parte, el aumento de la MLG fue estadísticamente significativa en G3 en comparación con GC. Estos resultados son similares a los hallados por Hazell et al. (Hazell, Thomas, Deguire, y

Lemon, 2008), quien afirmó que el estrés cardiovascular producido por la exposición a WBV es moderada, y que los requerimientos de energía podrían compararse con una actividad de caminar a una intensidad moderada (Da Silva, Fernandez, Castillo, Nunez, Vaamonde, Poblador, y Lancho, 2007; Rittweger, Beller, y Felsenberg, 2000). Además, la duración total de la sesión WBV para los sujetos de este estudio fue de 13 minutos. Éste tiempo es breve para producir cambios en la grasa corporal. En una revisión, Rittweger (2010), establece que una persona de 70 kg, mientras utiliza WBV, consume alrededor de 20 litros de oxígeno por hora. Esto supone una energía equivalente a  $20,9 \text{ kJ} \cdot \text{L}^{-1}$  de oxígeno y un equivalente calórico de  $39 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  de grasa, lo que implicaría una pérdida de peso de sólo 10 g de grasa por cada hora de dicho ejercicio. Por lo tanto, WBV no produce un estímulo mínimo para generar pérdida de grasa corporal con un protocolo de entrenamiento de 6 semanas.

Existen varios estudios que sugieren que la hipertrofia muscular puede deberse a una respuesta hormonal inducida por el entrenamiento (Viru, 1992). Tales respuestas hormonales se pueden explicar debido a un aumento de la testosterona (Bosco, Iacovelli, Tsarpela, Cardinale, Bonifazi, Tihanyi, Viru, De Lorenzo y Viru, 2000), la hormona de crecimiento (Bosco et al., 2000; Kvorning, Bagger, Caserotti y Madsen, 2006), el aumento de catecolaminas (Goto y Takamatsu, 2005), la disminución de cortisol (Bosco et al., 2000; Kvorning, Bagger, Caserotti y Madsen, 2006), y el aumento de la síntesis de proteínas (Wilcock, Whatman, Harris y Keogh, 2009). La literatura científica muestra una mayor producción de la hormona del crecimiento en la exposición aguda a la vibración (Bosco et al., 2000). Estos efectos endocrinos podrían explicar el aumento de la MLG después del entrenamiento vibratorio. En el estudio de Martínez-Pardo et al. (2013), queda patente que 6 semanas de entrenamiento utilizando una plataforma con vibración vertical de alta amplitud, produce hipertrofia muscular en sujetos activos.

Atendiendo a la MG, no hubo cambios estadísticamente significativos en la MG absoluta o relativa tras 6 semanas de entrenamiento vibratorio. Tampoco hubo diferencias significativas al hacer la comparación entre grupos. Este estudio proporciona resultados similares a los publicados por Roelants et al. (2004), que evaluaron la composición corporal de 48 mujeres con edades y nivel de actividad física similar a los participantes de este estudio. Tras 24 semanas de WBV, 3 sesiones por semana, con una frecuencia, amplitud y tiempo de exposición a la vibración similar a la de este estudio, no hubo cambios en la grasa corporal. Comparando estos resultados con los del estudio de Roelants et al. (2004), se obtuvieron resultados similares. Los autores evaluaron la composición corporal de 48 mujeres jóvenes tras 24 semanas de entrenamiento vibratorio, obteniendo un aumento significativo del 2,2% de la MLG entre el pre-test y post-test. En el presente estudio, hubo un aumento de 1,6% en el G2 y 3% en el G3. El estudio realizado por Roelants et al. (2004) no mostró reducción en el

peso corporal, la grasa corporal total, o la grasa subcutánea después de 24 semanas de entrenamiento WBV en mujeres previamente entrenadas. Sin embargo, los resultados mostraron claramente que el entrenamiento WBV inducía un aumento en la fuerza de los extensores de rodilla, así como ligeros aumentos en la MLG. En este sentido, encontramos un aumento estadísticamente significativo de la MLG tras 6 semanas. Los participantes del estudio de Roelants et al. (2004) eran mujeres jóvenes, sin embargo, en el presente estudio hubo una mayor proporción de hombres jóvenes, los cuales producen niveles más altos de testosterona. Como se ha mencionado anteriormente, existen varios estudios que sugieren que la hipertrofia muscular puede deberse a una respuesta hormonal inducida por el entrenamiento (Virus, 1992), por lo tanto, esta puede ser la razón del aumento de la MLG.

En dicho estudio se ha mostrado que el programa de entrenamiento WBV de 6 semanas, entrenando 2 ó 3 días por semana, no mejoraba el CMO ni la DMO. Tampoco aparecieron mejoras cuando se compararon los grupos entre sí. Sin embargo, Ligouri et al. (2012) encontraron incrementos (2,7% por encima del GC) en la DMO de la columna vertebral tras 12 semanas. Además, Gilsanz et al. (2006) encontraron mejoras en la DMO trabecular en la zona de la columna vertebral y el hueso cortical del fémur en mujeres tras 12 meses de WBV. Pero, no hubo mejoras en el estudio aleatorio de Torvinen et al. (2003), ya que no encontró cambios significativos en el CMO de 56 voluntarios (21 hombres y 35 mujeres; edad: 19-38 años) tras 8 meses de entrenamiento WBV (1-4 min · d<sup>-1</sup>; 3-5 días · semana<sup>-1</sup>; 25-45 Hz). El estudio actual utilizó valores similares de frecuencia, amplitud, número de semanas y carga de trabajo diario, pero no es comparable con la duración de los estudios mencionados. Efectos similares se produjeron en el estudio de Milanese et al. (2011) después de 8 semanas de ejercicio WBV (2 sesiones por semana; 2,0 - 5,0 mm, 40 - 60 Hz), donde no se mejoraron los parámetros óseos en mujeres jóvenes sanas (edad media: 25,3 ± 5,26 años) antes de alcanzar su masa ósea máxima. El efecto positivo en el aumento de tejido libre de grasa hallado en este estudio permite utilizar este programa en otras poblaciones, como son, mujeres posmenopáusicas mayores o personas sedentarias.

Las mayores ganancias en la fuerza isocinética se produjeron a altas velocidades (270° · s<sup>-1</sup>). Los efectos de los programas de entrenamiento WBV están determinados por las adaptaciones neuronales y los posibles cambios hormonales y bioquímicos. Los ejercicios WBV pueden causar estimulación en las terminaciones primarias de los husos musculares (cuyo estímulo del feed-back aferente aumenta la descarga de  $\alpha$ -motoneuronas), así como la activación de órganos tendinosos de Golgi (GTO) que son sensibles a la fuerza desarrollada y cuya activación desencadena una inhibición de la acción muscular. Cabe la hipótesis de que el efecto acumulativo de entrenamiento sistemático WBV incluya (a) la mejora del reflejo-estiramiento mono-sináptico que se inicia a través de las vías aferentes desde los husos musculares hasta el conjunto de motoneuronas y (b) un descenso del impacto inhibitorio de GTO debido a la excitación



vibratoria facilitada (Issurin, 2005). Los resultados de este estudio son consistentes con los publicados por otros autores, quienes indican que WBV incrementa la fuerza dinámica de los músculos de las extremidades inferiores (Bosco, Colli, Introini, Cardinale, Tsarpela, Madella, Tihanyi y Viru, 1999; Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Jacobs y Burns, 2009; Mahieu, Witvrouw, Van de Voorde, Michilsens, Arbyn y Van den Broecke, 2006; Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004; Torvinen, Kannu, Sievanen, Jarvinen, Pasanen, Kontulainen, Jarvinen, Jarvinen, Oja y Vuori, 2002; Verschueren, Roelants, Delecluse, Swinnen, Vanderschueren y Boonen, 2004). Mahieu et al. (2006) estudiaron el efecto de 6 semanas de WBV en jóvenes esquiadores. La fuerza isocinética en los extensores de rodilla mejoró significativamente en comparación con el punto de referencia establecido. Resultados similares obtuvieron Delecluse et al. (2003) que, después de someter a 74 mujeres jóvenes desentrenadas a 12 semanas de WBV, observaron que la fuerza isocinética (a una velocidad de  $100^\circ \cdot s^{-1}$ ) de las extremidades inferiores se incrementó de forma estadísticamente significativa (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003).

En este momento no hay suficiente evidencia científica para demostrar que cuando el estímulo vibratorio actúa directamente sobre el músculo o tendón se produzca un reflejo tónico de vibración, tampoco existe tal evidencia cuando la vibración se transmite a los músculos indirectamente (WBV) (Jacobs y Burns, 2009). Sin embargo, investigaciones recientes (Roelants, Verschueren, Delecluse, Levin y Stijnen, 2006) sugieren que cuando un individuo se somete a WBV sobre una plataforma, el cuerpo trabaja en una fuerza gravitacional que provoca tensión muscular. Esto podría explicar las ganancias de fuerza observada en nuestro estudio. En una revisión sobre los efectos de la vibración en la fuerza muscular, Marín et al. (35) describieron que las mayores ganancias de fuerza se producían con amplitudes altas. Una posible explicación de esta mejora encontrada en los grupos de este estudio que entrenaron con amplitudes altas, es que el entrenamiento vibratorio con amplitudes y frecuencias altas aumentan la aceleración del cuerpo. Sin embargo, se ha sugerido que el entrenamiento WBV activa específicamente las fibras musculares de tipo II (Rittweger, Beller y Felsenberg, 2000), las cuales son las responsables de los movimientos más explosivos. La activación de las fibras musculares tipo II podría explicar porqué los mayores incrementos observados en nuestro estudio suceden cuando se genera una fuerza a una velocidad alta ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). Una posible explicación, aunque no hay suficiente evidencia científica, es que la vibración de gran amplitud produzca una mayor hipertrofia de las fibras musculares de tipo II. Eckhardt et al. (2011) en un estudio reciente encontraron que el entrenamiento vibratorio incrementaba el lactato de forma estadísticamente significativa en comparación con ejercicios realizados sin vibraciones, lo que sugiere que dicho incremento podría deberse a un mayor reclutamiento de las fibras glucolíticas tipo II durante WBV. Basándonos en la evidencia de este estudio, WBV puede beneficiar mejorando la fuerza muscular de sujetos activos. A su vez, este tipo

de entrenamiento puede ser un complemento para los atletas ayudando a mejorar su fuerza y acondicionamiento.

El rendimiento del SJ y CMJ no mostraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables analizadas entre pre-test y post-test. Es posible que la frecuencia de la vibración (50 Hz) junto con la amplitud (4 mm) utilizada fueran un estímulo demasiado fuerte para los grupos expuestos a la vibración, provocando una reducción mediada del GTO en la descarga de activación de las neuronas motoras alfa (Lamont, Cramer, Bemben, Shehab, Anderson y Bemben, 2008). En la misma línea que esta investigación, de Ruitter et al. (2003), evaluaron los efectos de 11 semanas de WBV en posición estática de semisentadillas sobre la altura del salto, sin obtener mejoras significativas. En contraposición, otros estudios evaluaron el efecto a largo plazo del rendimiento WBV sobre el salto vertical, tanto SJ (Colson, Pensini, Espinosa, Garrandes y Legros, 2010; Fernández-Rio, Terrados, Fernández-García y Suman, 2010) como CMJ (Delecluse, Roelants y Verschueren, 2003; Fernández-Rio, Terrados, Fernández-García y Suman, 2010; Roelants, Delecluse, Goris y Verschueren, 2004; Ronnestad, 2004; Verschueren, Roelants, Delecluse, Swinnen, anderschueren y Boonen, 2004) mostrando mejoras en el rendimiento. Las diferencias entre nuestros resultados y los obtenidos por de Ruitter et al. (2003) podrían deberse a los diferentes protocolos de entrenamiento utilizados. En este estudio, al igual que en el de Ruitter et al. (2003) los sujetos permanecieron en una posición estática de semisentadillas, a diferencia de otros estudios que realizaron diversos ejercicios dinámicos sobre la plataforma. Una posible explicación sería que WBV puede aumentar la coactivación muscular (Rothmuller y Cafarelli, 1995), y por lo tanto, no incrementar las acciones dinámicas como son los saltos verticales (Fernández-Rio, Terrados, Fernández-García y Suman, 2010).

Teniendo en cuenta que 3 días de entrenamiento mostraron una mejora en lo que respecta a la fuerza evaluada en este estudio, proponemos entrenar 3 veces por semana. Previas investigaciones han demostrado que el entrenamiento WBV durante 4-12 semanas (3 sesiones por semana) puede aumentar la fuerza del tren inferior (17,39). Resultados similares encontraron Hong et al. (25), donde el grupo WBV entrenó a lo largo de 4 semanas (3 sesiones por semana) mejorando la activación neuromuscular (RFD). Estos hallazgos sugieren que 3 sesiones de entrenamiento WBV durante, al menos 4 semanas, son beneficiosos para aumentar la fuerza isocinética a velocidades angulares altas ( $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ ).

### **5.5. Aplicaciones prácticas**

Esta investigación muestra que el uso incremental de entrenamiento vibratorio, 2 ó 3 días por semana durante 6 semanas, puede aumentar la fuerza isocinética y la masa total libre de grasa en sujetos activos de forma recreativa. Sin embargo, las mejoras no son diferentes entre los grupos que entrenaron. G3 produjo un aumento significativo de MLG cuando se le comparó con GC. Si utilizamos las plataformas vibratorias de una manera apropiada, podemos incidir en la mejora de la condición física de este tipo de sujetos. Por lo tanto, consideramos que es una herramienta útil y complementaria para entrenadores personales y entrenadores que buscan mejorar el estado físico. Con respecto a la información aportada, se propone una serie de consideraciones a tener en cuenta para futuras investigaciones. Por ejemplo, controlar y determinar si hay ganancias de MLG en otros tipos de muestra, utilizando el mismo protocolo que en el estudio actual. Por último, sería muy interesante comparar el ejercicio estático vs. ejercicio dinámico sobre la plataforma vibratoria para determinar si los efectos a largo plazo implican una pérdida de coordinación en tareas tales como saltar, cuando se realiza un sólo ejercicio estático sobre la plataforma. Por otra parte, se necesitan más estudios para dilucidar los mecanismos neurofisiológicos exactos involucrados en las respuestas adaptativas a la exposición a la vibración en diferentes poblaciones.



***CAPÍTULO 6:***

RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS  
OBTENIDOS

---

## CAPÍTULO 6. RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

### RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Estudio 2:

#### *Rendimiento del salto vertical*

Cuando se analizan los resultados de la altura de vuelo para los saltos verticales (SJ y CMJ), así como los resultados de la altura de vuelo de estos saltos verticales relativos al peso corporal, tanto para los grupos experimentales que utilizaron WBV con dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) como para GC, no se observaron cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre-test y el post-test de ninguno de los grupos sometidos a estudio. AV SJ ( $p = 0,112$ ); AV CMJ ( $p = 0,646$ ); AV SJ  $\cdot pc^{-1}$  ( $p = 0,473$ ); AV CMJ  $\cdot pc^{-1}$  ( $p = 0,254$ ).

Tras observar la variable fuerza máxima de reacción vertical del suelo al realizar el salto vertical (SJ y CMJ), y la fuerza máxima de reacción vertical del suelo al realizar el salto vertical relativa al peso corporal, para los grupos experimentales y para el GC, en el pre-test y en el post-test, así como la diferencia existente, se observaron cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la fuerza máxima desarrollada para los grupos GL ( $p = 0,004$ ) y GH ( $p = 0,034$ ), en el SJ, pero estas diferencias desaparecieron cuando se normalizaron los valores en relación al peso corporal. A su vez, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) para la fuerza máxima en SJ relativa al peso corporal ( $p = 0,059$ ), para la fuerza máxima en CMJ ( $p = 0,580$ ) y para la fuerza máxima en CMJ relativa al peso corporal de cada participante ( $p = 0,893$ ) para ninguno de los grupos.

#### *Fuerza isocinética*

Cuando atendemos a los resultados obtenidos en la variable dependiente fuerza isocinética, aparecen cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en el torque máximo isocinético de la musculatura extensora de rodilla a velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$  entre el pre-test y el post-test en GL ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,030$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,000$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,004$ ), GH ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,011$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,000$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,000$ ). Estos cambios no se observaron en el GC ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,129$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,119$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $p = 0,070$ ). Cuando se hallan los porcentajes, se observan las ganancias en el torque máximo entre el pre-test y el post-test de cada grupo: GL ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 12,51 \pm 14,13\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 18,73 \pm 11,67\%$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1} = 16,63 \pm 14,90\%$ ), GH ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11,49 \pm 13,98\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} =$

16,50 ± 14,74%; 270° · s<sup>-1</sup> = 22,14 ± 20,34%) y GC (60° · s<sup>-1</sup> = 4,38 ± 8,15%; 180° · s<sup>-1</sup> = 7,17 ± 12,69%; 270° · s<sup>-1</sup> = 6,24 ± 7,61%). También se observaron diferencias estadísticamente significativas cuando se comparó el efecto del tiempo sobre los grupos experimentales que utilizaron WBV con dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) con el GC. A velocidades de 270° · s<sup>-1</sup> se observaron diferencias estadísticamente significativas en GH ( $p = 0,041$ ) con respecto al GC.

### ***Composición corporal***

Cuando se valoró la composición corporal en los grupos experimentales que utilizaron WBV con dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) y el GC, se observaron modificaciones estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre-test y el post-test en la MLG para GH ( $p = 0,005$ ). Además, estas diferencias fueron significativamente diferentes que las observadas en GL y GC. La MLG aumentó (1,6%) de manera significativa ( $p = 0,005$ ) en el grupo que entrenó con una amplitud alta (4 mm). No se produjeron cambios en el % MG ni en la MG total. Tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes grupos entre sí. El CMO y la DMO, no mostraron variaciones entre el pre-test y el post-test. Tampoco se obtuvieron cambios al comparar entre sí los grupos sometidos a estudio.

Estudio 3:

### ***Fuerza isocinética***

Cuando se utiliza WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>), aparecen mejoras relativas al pico torque entre el pre-test y post-test para cada grupo: G2 (60° · s<sup>-1</sup> = 11,5 ± 14,0%, 180° · s<sup>-1</sup> = 16,5 ± 14,7%, 270° · s<sup>-1</sup> = 22,1 ± 20,3%), G3 (60° · s<sup>-1</sup> = 11,6 ± 16,5%, 180° · s<sup>-1</sup> = 19,1 ± 16,5%, 270° · s<sup>-1</sup> = 30,5 ± 21,5%) y GC (60° · s<sup>-1</sup> = 4,4 ± 8,1%; 180° · s<sup>-1</sup> = 7,2 ± 12,7%, 270° · s<sup>-1</sup> = 6,2 ± 7,6%). Se observaron diferencias estadísticamente significativas al comparar el efecto del tiempo entre los grupos experimentales y el CG. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre G3 y GC ( $p = 0,066$ ) a velocidades angulares de 180° · s<sup>-1</sup>. A su vez, a velocidades angulares de 270° · s<sup>-1</sup> aparecieron diferencias estadísticamente significativas entre G2 ( $p = 0,041$ ) y G3 ( $p = 0,001$ ) en comparación con GC.

### ***Rendimiento del salto vertical***

Cuando se utilizó WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>), atendiendo a la altura de los saltos (SJ y CMJ) en relación al peso corporal (pc) para los grupos experimentales y el GC, no se encontraron cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre-test y el post-test en ninguno de

los grupos estudiados.  $SJ_h$  ( $p = 0,112$ ),  $CMJ_h$  ( $p = 0,646$ ),  $SJ_h \cdot pc^{-1}$  ( $p = 0,473$ ), y  $CMJ_h \cdot pc^{-1}$  ( $p = 0,254$ ).

A su vez, al estudiar la potencia mecánica máxima absoluta y relativa de cada uno de los grupos cuando se realiza un salto vertical (SJ y CMJ), no se observaron cambios estadísticamente significativos ( $p > 0,05$ ) en la potencia pico desarrollada durante el SJ ( $p = 0,689$ ) ni durante el CMJ ( $p = 0,542$ ) entre el pre-test y el post-test. Tampoco hubo cambios estadísticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la potencia pico valorada en relación a  $bm$  durante el SJ ( $p = 0,423$ ), ni durante el CMJ ( $p = 0,833$ ) para los grupos experimentales y el GC entre el pre-test y el post-test.

La RFD obtenida en el rendimiento de los saltos (SJ y CMJ) de los grupos experimentales y el CG no presenta diferencias estadísticamente significativas entre el pre-test y el post-test, ni cambios significativos entre los grupos.

### *Composición corporal*

Tras utilizar WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>) durante 6 semanas, la MLG aumentó de manera significativa ( $p = 0,005$  y  $p = 0,001$ ) en los grupos G2 ( $0,9 \pm 1,0$  kg) y G3 ( $1,5 \pm 0,7$  kg) entre el pre-test y el post-test. G3 aumentó su MLG de manera estadísticamente significativa en comparación con GC ( $1,04 \pm 1,7\%$ ) ( $p = 0,05$ ). Por otro lado, no se produjeron modificaciones estadísticamente significativas, en términos absolutos ni porcentuales, en la MG tras un entrenamiento vibratorio de seis semanas. Tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes grupos entre sí. En cuanto al CMO y la DMO no se produjeron variaciones entre pre-test y post-test. Tampoco se obtuvieron mejoras al comparar entre sí los grupos sometidos a estudio. Al relacionar la ganancia de masa libre de grasa con los resultados obtenidos en las valoraciones de fuerza isocinética, se observa como G2 y G3 obtuvieron mayores incrementos que GC.

## **DISCUSIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Con estos estudios se ha pretendido conocer el efecto que produce seis semanas de entrenamiento con vibraciones mecánicas corporales, sobre la fuerza y la potencia del tren inferior, y sobre la variación de la composición corporal, variando tanto la amplitud de la vibración (2 Hz y 4 Hz) como la frecuencia semanal de entrenamiento (2 días vs. 3 días). Entre los hallazgos más relevantes destacan, el aumento de la fuerza de la musculatura extensora de la rodilla para todos los grupos que se sometieron a la



vibración. Por otro lado, no se produjeron cambios en el %MG, y tampoco en la MG total, ni en el CMO ni en la DMO. Solamente se observaron cambios significativos para la variable MLG y para los grupos que sometían a vibraciones con una amplitud alta. No se observaron cambios significativos en la capacidad de salto vertical.

Tras seis semanas de entrenamiento vibratorio, se observaron ganancias en la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla en todos los grupos experimentales entre el pre-test y el post-test. Estos resultados están en consonancia con los publicados por otros autores, quienes dicen que WBV aumenta la fuerza dinámica de la musculatura de las extremidades inferiores (Bosco, Colli, et al., 1999; Delecluse, et al., 2003; Jacobs & Burns, 2009; Mahieu, et al., 2006; Roelants, Delecluse, Goris, et al., 2004; Spiliopoulou, Amiridis, Tsigganos, Economides, & Kellis, 2010; Torvinen, et al., 2002; Verschueren, et al., 2004). Mahieu y colaboradores (Mahieu, et al., 2006) estudiaron el efecto de 6 semanas de WBV en esquiadores jóvenes. La fuerza isocinética en los extensores de rodilla mejoró de forma significativa al compararla con los valores iniciales. Similares resultados obtuvieron Delecluse et al. (Delecluse, et al., 2003), que tras someter a 74 mujeres jóvenes no entrenadas a 12 semanas de WBV mejoraron de forma significativa la fuerza isocinética de las extremidades inferiores. En la actualidad existe suficiente evidencia científica que demuestra que cuando el estímulo vibratorio actúa directamente sobre el músculo o tendón se produce el reflejo tónico vibratorio, no existiendo tal evidencia cuando la vibración se transmite a la musculatura de manera indirecta (WBV) (Jacobs & Burns, 2009). Por otro lado, algunos grupos de trabajo (Cardinale & Lim, 2003; Roelants, et al., 2006) sugieren que cuando un individuo se somete a WBV sobre una plataforma, actúa sobre él una fuerza gravitacional que obliga a la musculatura a generar una tensión para mantener la posición sobre la misma. Esto podría explicar las ganancias de fuerza observadas en este estudio.

Todos los grupos mostraron mejoras de forma significativa en la fuerza isocinética desarrollada en todas las velocidades ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). Los grupos que mostraron una mayor ganancia de fuerza, fueron aquellos que entrenaron a una alta amplitud, y concretamente cuando la fuerza era evaluada a una velocidad alta ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). Así mismo, es el incremento de fuerza isocinética desarrollada por estos dos grupos a una alta velocidad, la única que muestra diferencias estadísticamente significativas al comparar con el GC. En una reciente revisión acerca de los efectos de la vibración sobre la fuerza muscular, Marín y cols. (Marin & Rhea, 2010) describen que se producen mayores ganancias sobre la fuerza con amplitudes altas. Por otro lado, diversos autores han sugerido que el entrenamiento WBV activa específicamente las fibras rápidas (Delecluse, et al., 2003; Rittweger, et al., 2000), las cuales son responsables de los movimientos más explosivos. Esto contribuiría a explicar porqué los mayores incrementos de fuerza observados en nuestro estudio se producen cuando la fuerza es generada a una alta velocidad ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ).

Al valorar la composición corporal, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la variación de la MG, el CMO y la DMO tras el entrenamiento vibratorio. Todo lo contrario sucedió con la MLG que aumentó de manera significativa entre el pre-test y el post-test en el grupo que se sometió a una amplitud de vibración alta (4 mm), independientemente de su frecuencia semanal de entrenamiento (2 ó 3 días x semana<sup>-1</sup>). A su vez, no se produjeron cambios significativos en el grupo experimental que entrenaba con amplitud baja, ni en el GC. Al comparar con el estudio elaborado por Roelants y colaboradores (Roelants, Delecluse, Goris, et al., 2004), se pueden observar similares resultados. Los autores evaluaron la composición corporal de 48 mujeres jóvenes tras 24 semanas de entrenamiento vibratorio, obteniendo un incremento significativo del 2,2% de la MLG entre el pre-test y el post-test. En esta investigación, se observó un incremento de un 1,6% en el grupo GH. A su vez, hubo una ganancia significativa en la MLG en G2 ( $0,9 \pm 1,0$  kg) y G3 ( $1,5 \pm 0,7$  kg), estableciéndose diferencias estadísticamente significativas entre G3 y GC ( $1,04 \pm 1,7\%$ ). Han sido varios los estudios que sugieren que la hipertrofia muscular puede ser debida a una respuesta hormonal inducida por la vibración. El ejercicio provoca reacciones endocrinas que se pueden entender como señales mediadoras para el efecto del entrenamiento (Virus, 1992). Tales respuestas hormonales han sido documentadas por un incremento de testosterona (Bosco, et al., 2000), de hormona de crecimiento (Bosco, et al., 2000; Cardinale & Erskine, 2008; Kvorning, et al., 2006), aumento de catecolaminas (Goto & Takamatsu, 2005), disminución del cortisol (Bosco, et al., 2000; Kvorning, et al., 2006), e incrementos en la síntesis de proteínas (Wilcock, et al., 2009). La literatura muestra que hay un mayor incremento en la producción de hormona de crecimiento con la exposición a vibraciones de forma aguda (Bosco, et al., 2000). Estos efectos endocrinos podrían constituir una de las explicaciones del aumento de la MLG tras el entrenamiento vibratorio.

Al relacionar la ganancia de MLG con los resultados obtenidos en las valoraciones de fuerza isocinética, se observa que son los grupos que entrenaron con una amplitud alta (4 Hz), fueron los que obtuvieron mayores incrementos. A su vez, ya que las mayores ganancias en fuerza isocinética se produjeron a velocidades elevadas ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ), se podría sugerir, aunque no existe suficiente evidencia científica al respecto, que la vibración amplitud alta produce una mayor hipertrofia de fibras musculares tipo II. Eckhardt y colaboradores (Eckhardt, Wollny, Muller, Bartsch, & Friedmann-Bette, 2010) en un reciente estudio, comprobaron que un entrenamiento vibratorio incrementaba el lactato de manera significativa en comparación con ejercicios realizados sin vibración, sugiriendo que podría ser debido al mayor reclutamiento de fibras glucolíticas tipo II durante WBV, aunque para poder confirmarlo, sería necesario realizar biopsias musculares (Eckhardt, et al., 2010).

Al llevar a cabo una comparación entre los diferentes grupos sometidos a estudio, únicamente se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo que se sometía a una alta amplitud de vibración y una frecuencia de tres sesiones de entrenamiento semanales (GH y G3), con respecto al grupo que se sometía a una amplitud de vibración baja y una frecuencia de dos sesiones de entrenamiento semanales (GL y G2), y con respecto al GC.

A falta de evidencia científica que compare los diferentes protocolos de entrenamiento vibratorio a largo plazo, estos resultados sugieren que un entrenamiento con una amplitud de 4 mm y una frecuencia semanal de 3 sesiones, presenta mayores ganancias en la MLG en comparación con un entrenamiento vibratorio con una amplitud baja y una frecuencia semanal inferior.

En cuanto al CMO y la DMO, no se produjeron variaciones entre pre-test y post-test. Tampoco se obtuvieron mejoras al comparar entre sí los grupos sometidos a estudio. Algunos estudios han hallado potenciales aplicaciones de WBV en la prevención de la osteoporosis. Se ha encontrado que la vibración mecánica de alta frecuencia y baja magnitud provocan un efecto anabólico en el tejido óseo de ovejas (Rubin, et al., 2001) y ratas (Flieger, et al., 1998). Posteriormente se publicaron los mismos efectos en mujeres posmenopáusicas (Rubin, et al., 2002; Verschueren, et al., 2004). Por el contrario, Torvinen y colaboradores no encontraron ninguna adaptación ósea tras 8 meses de entrenamiento con WBV en jóvenes sanos. Tampoco Russo y colaboradores encontraron mejoras en la densidad ósea tras 6 meses de entrenamiento en mujeres posmenopáusicas (Russo, et al., 2003). La disparidad de resultados entre Russo y colaboradores por un lado, y los estudios de Rubin y colaboradores y Verschueren y colaboradores por otro, podrían explicarse por el volumen escaso de trabajo por sesión que aplicaron los primeros; 6 minutos en el estudio de Russo y colaboradores frente a 2 sesiones de 10 minutos diarias en el trabajo de Rubin y colaboradores y 30 minutos por sesión en el trabajo de Verschueren y colaboradores. El actual estudio trabaja a similares valores de frecuencia, amplitud, número de sesiones semanales y volumen de trabajo diario; pero no tiene una duración comparable a la de los estudios mencionados. Al parecer, el tiempo de exposición a la vibración, puede ser la causa por la que en el presente trabajo no se observen mejoras significativas a nivel óseo. A diferencia de los estudios que obtuvieron resultados positivos, los participantes de la actual investigación se sometieron a vibraciones durante un periodo de 6 semanas, frente a periodos de varios meses de los estudios que si obtuvieron ganancias.

La potencia y la fuerza explosiva son aspectos que han sido estudiados sobre el entrenamiento vibratorio, siendo valorados a través de saltos verticales como el SJ y el CMJ. En el presente trabajo, únicamente mejoró la fuerza máxima aplicada al suelo en el SJ para los sujetos que entrenaban con una frecuencia semanal de 2 sesiones. Sin embargo, estas diferencias desaparecieron cuando se normalizaron los valores en

relación al peso corporal. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para ninguno de los saltos realizados (SJ y CMJ) entre el pre-test y el post-test. Tampoco cuando se comparaban los diferentes grupos entre sí.

De Ruitter y colaboradores (de Ruitter, Van Raak, Schilperoort, Hollander, & de Haan, 2003) valoraron los efectos de 11 semanas de WBV en semi-sentadilla estática sobre la altura de salto, sin obtener mejoras significativas. Al igual que sucede en la presente investigación. En cambio, otros estudios que valoraron el efecto a largo plazo de WBV sobre el rendimiento en el salto vertical, tanto el SJ (Colson, et al., 2010; Fernández-Rio, et al., 2010) como el CMJ (Delecluse, Roelants, Diels, Koninckx, & Verschueren, 2005; Delecluse, et al., 2003; Fernández-Rio, et al., 2010; Roelants, Delecluse, Goris, et al., 2004; Ronnestad, 2004; Verschueren, et al., 2004), mostraron mejoras en el rendimiento de los saltos. Estas diferencias con los resultados obtenidos por la presente investigación y por De Ruitter y colaboradores, podrían ser debido a que los protocolos de ejercicios llevados a cabo sobre la plataforma eran diferentes. En el presente estudio, al igual que en el de De Ruitter y colaboradores los participantes realizaban una semi-sentadilla de forma estática, a diferencia de las otras investigaciones que realizan diferentes ejercicios de forma dinámica sobre la plataforma. Una posible explicación, sería que asumiendo que WBV produce un aumento de la activación muscular, y que la aplicación de las vibraciones a través de los pies es inespecífica, aumentaría la activación de la musculatura agonistas y antagonista (co-activación) (Rothmuller & Cafarelli, 1995), generando dudas sobre los beneficios de la coordinación muscular en tareas tales como el salto (Fernández-Rio, et al., 2010).

***CAPÍTULO 7:***

**CONCLUSIONES**

---

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.

### Estudio 2:

- Se produjo un incremento de la fuerza de la musculatura extensora de la rodilla para los grupos que utilizaron WBV con dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm). Mejoró la fuerza máxima aplicada al suelo para los grupos experimentales (GL y GH) en el SJ, pero estas diferencias desaparecieron cuando se normalizaron los valores en relación al peso corporal. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para ninguno de los saltos realizados (SJ y CMJ) entre el pre-test y el post-test. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para ninguno de los saltos realizados (SJ y CMJ) cuando se comparaban los diferentes grupos entre sí.
- Se observaron ganancias en la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla en los dos grupos experimentales que utilizaron WBV con dos amplitudes diferentes (2 mm y 4 mm) entre el pre-test y el post-test.
- La masa libre de grasa aumentó (1,6%) de manera significativa ( $p = 0,005$ ) en el grupo que entrenó con una amplitud alta (4 mm). No se produjeron cambios en el % MG ni en la MG total. Tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes grupos entre sí. El CMO y la DMO, no mostraron variaciones entre el pre-test y el post-test. Tampoco se obtuvieron cambios al comparar entre sí los grupos sometidos a estudio.

### Estudio 3:

- Cuando se utiliza WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>), aparecen mejoras significativas en la fuerza isocinética de los músculos extensores de la rodilla en ambos grupos experimentales entre los pre-test y post-test a diferentes velocidades angulares ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). El grupo que mostró mayores ganancias en la fuerza fue el que dirigió con gran amplitud, y, específicamente, cuando la fuerza se evaluó a una velocidad alta ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ). También hubo un aumento en la fuerza isocinética desarrollada por este grupo a alta velocidad, la única diferencia estadísticamente significativa en comparación con el GC.
- Cuando se utilizó WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>), no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para ninguno de los saltos realizados entre el pre-test y el post-test. Tampoco cuando se comparaban los diferentes grupos entre sí.

- Tras utilizar WBV con dos frecuencias diferentes de entrenamiento (2 días vs 3 días \* semana<sup>-1</sup>) durante 6 semanas, la MLG aumentó de manera significativa en los grupos G2 ( $0,9 \pm 1,0$  kg) y G3 ( $1,5 \pm 0,7$  kg) entre el pre-test y el post-test. G3 aumentó su masa libre de grasa de manera estadísticamente significativa en comparación con GC ( $1,04 \pm 1,7\%$ ) ( $p = 0,05$ ). No se produjeron modificaciones estadísticamente significativas, en términos absolutos ni porcentuales en la MG tras un entrenamiento vibratorio de seis semanas. Tampoco se observaron diferencias significativas al comparar los diferentes grupos entre sí. En cuanto al CMO y la DMO no se produjeron variaciones entre pre-test y post-test. Tampoco se obtuvieron mejoras al comparar entre sí los grupos sometidos a estudio. Al relacionar la ganancia de MLG con los resultados obtenidos en las valoraciones de fuerza isocinética, se observa como G2 y G3 obtuvieron mayores incrementos que GC.





***CAPÍTULO 8:***

APLICACIONES PRÁCTICAS.

---

## **CAPÍTULO 8. APLICACIONES PRÁCTICAS.**

### **ESTUDIO N°2: EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING IN ACTIVE ADULTS.**

#### **EFEECTO DE DIFERENTES AMPLITUDES (ALTA VS BAJA) EN EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO DE TODO EL CUERPO EN ADULTOS ACTIVOS.**

La investigación actual indica que el uso de un entrenamiento vibratorio incremental, dos días por semana durante 6 semanas con WBV de amplitud alta puede aumentar la fuerza isocinética y la masa magra total. Se recomienda este protocolo para sujetos activos que realizan actividad física de forma recreativa con el objetivo de lograr los mayores efectos en la condición física y el rendimiento deportivo. Por lo tanto, consideramos que el entrenamiento WBV de amplitud alta es una herramienta útil para entrenadores personales y profesores de educación física cuando se pretende conseguir un buen estado de forma y un entrenamiento completo. Esto se ha demostrado en este estudio, donde es evidente que 6 semanas de entrenamiento utilizando una plataforma vibratoria con una frecuencia de 50 Hz y una amplitud de movimiento de 4 mm, produce hipertrofia muscular en sujetos activos. Sin embargo, es necesario realizar más estudio para establecer el protocolo vibratorio más adecuado en función de las características individuales de otras poblaciones.

### **ESTUDIO N°3: EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS**

#### **EFEECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VARIANDO EL NÚMEROS DE SESIONES POR SEMANA EN ADULTOS ACTIVOS**

La investigación actual indica que el uso de un entrenamiento vibratorio incremental, dos días por semana durante 6 semanas con WBV de amplitud alta puede aumentar la fuerza isocinética y la masa magra total. Se recomienda este protocolo para sujetos activos que realizan actividad física de forma recreativa con el objetivo de lograr los mayores efectos en la condición física y el rendimiento deportivo. Por lo tanto, consideramos que el entrenamiento WBV de amplitud alta es una herramienta útil para entrenadores personales y profesores de educación física cuando se pretende conseguir un buen estado de forma y un entrenamiento completo. Esto se ha demostrado en este estudio, donde es evidente que 6 semanas de entrenamiento utilizando una plataforma vibratoria con una frecuencia de 50 Hz y una amplitud de movimiento de 4 mm, produce hipertrofia muscular en sujetos activos. Sin embargo, es necesario realizar más estudio para establecer el protocolo vibratorio más adecuado en función de las características individuales de otras poblaciones.

***CAPÍTULO 9:***

LIMITACIONES.

---

## CAPÍTULO 9. LIMITACIONES.

Seis semanas de entrenamiento con vibraciones mecánicas corporales variando tanto la amplitud como la frecuencia de entrenamiento semanal (2 y 3 días \* semana<sup>-1</sup>) no produjeron cambios en el % MG, en la MG total, el CMO ni en la DMO. Una posible limitación sería que el estrés cardiovascular producido al exponerse a WBV es moderado y los requerimientos energéticos puede que no sean altos. Además, la duración total de WBV en la sesión más duradera a la que se sometieron los participantes del presente trabajo fue de 13 minutos, siendo probablemente un período breve para producir cambios en la grasa corporal y a nivel óseo. Parece que el estímulo provocado por WBV es insuficiente para que se produzca una elevada carga metabólica que conlleve una reducción de la masa grasa.

Otra limitación que cabe exponer es que el presente trabajo utilizó una menor proporción de mujeres que de hombres, los cuales producen mayores niveles de testosterona, y por tanto, mayores incrementos de MLG.

La potencia y la fuerza explosiva son aspectos que han sido estudiados sobre el entrenamiento vibratorio, siendo valorados a través de saltos verticales como el SJ y el CMJ. En el presente trabajo, cuando se utilizaron dos amplitudes diferentes, únicamente mejoró la fuerza máxima aplicada al suelo para los grupos experimentales (GL y GH) en el SJ, pero estas diferencias desaparecieron cuando se normalizaron los valores en relación al peso corporal. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para ninguno de los saltos realizados (SJ y CMJ) entre el pre-test y el post-test. Tampoco cuando se comparaban los diferentes grupos entre sí. Los resultados obtenidos por la presente investigación podrían ser debido a que los protocolos de ejercicios llevados a cabo sobre la plataforma. Cuando se varió la frecuencia semanal de entrenamiento (2 vs 3 días), el rendimiento del SJ y CMJ tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables analizadas entre pre-test y post-test. Una posible limitación podría ser la frecuencia de la vibración (50 Hz) junto con la amplitud (4 mm) utilizada, siendo un estímulo demasiado fuerte para los grupos expuestos a la vibración, provocando una reducción mediada del GTO en la descarga de activación de las neuronas motoras alfa. Podría sugerirse que otra limitación viniera dada por el movimiento que se realiza sobre la superficie vibratoria, ya que en el presente estudio los participantes realizaban una semi-sentadilla de forma estática, a diferencia de las otras investigaciones que realizan diferentes ejercicios de forma dinámica sobre la plataforma. Así, se podría decir, que para una mejora, mediante WBV, de los efectos a largo plazo sobre tareas tales como el salto que requieran cierta coordinación intermuscular.

***CAPÍTULO 10:***

DELIMITACIONES.

---

## **CAPÍTULO 10. DELIMITACIONES.**

Dicho estudio contó con una población adulta y sana.

En el estudio nº 2 participaron treinta y ocho sujetos ( $n = 38$ ; 30 hombres y 8 mujeres) activos que realizaban actividad física de forma recreativa ( $21,2 \pm 3,3$  años;  $173,4 \pm 7,6$  cm;  $69,3 \pm 9,8$  kg).

El estudio nº 3 incluyó a cuarenta y un estudiantes activos que realizaban actividad física de forma recreativa ( $n = 41$ ; 32 hombres y 9 mujeres;  $21,4 \pm 63,0$  años;  $172,6 \pm 10,9$  cm;  $70,9 \pm 12,3$  kg) (Tabla 1).

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia.

***CAPÍTULO 11:***

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

## CAPÍTULO 11. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En base a lo expuesto hasta ahora, se plantea una serie de consideraciones a tener en cuenta en futuras líneas de investigación:

- Valorar mediante el dinamómetro isocinético posibles descompensaciones entre la musculatura agonista-antagonista.
- Comprobar en qué medida se producen ganancias de MLG en otros sectores de la población, utilizando el mismo protocolo que en el presente estudio.
- Valorar mediante biopsias musculares cuáles son las fibras más requeridas durante WBV.
- Comparar el ejercicio estático frente al ejercicio dinámico sobre la plataforma vibratoria, para conocer si los efectos a largo plazo conllevan una posible pérdida de coordinación en tareas tales como el salto, cuando se lleva a cabo un ejercicio únicamente estático sobre la plataforma.
- Puede resultar más práctico periodizar el entrenamiento vibratorio. Para ello, se debería comenzar en las primeras sesiones con unas frecuencias y amplitudes más bajas, para ir progresando a otras más altas de forma gradual. Con este incremento gradual de la intensidad de la vibración, se puede facilitar las adaptaciones a este tipo de entrenamiento.



***CAPÍTULO 12:***

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

**CAPÍTULO 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Abernethy, P. J., y Jurimae, J. Cross-sectional and longitudinal uses of isoinertial, isometric, and isokinetic dynamometry. *Med Sci Sports Exerc* 28(9): 1180-1187, 1996.

Alcaraz, PE, Elvira, JL, y Palao, JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports* 24: 279–290, 2014.

American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.

Annino, G, Padua, E, Castagna, C, Di Salvo, V, Minichella, S, Tsarpela, O, Manzi, V, y D'Ottavio, S. Effect of whole body vibration training on lower limb performance in selected high-level ballet students. *J Strength Cond Res* 21: 1072–1076, 2007.

Artero, E. G., Espada-Fuentes, J. C., Arguelles-Cienfuegos, J., Roman, A., Gomez-Lopez, P. J., y Gutierrez, A. Effects of whole-body vibration and resistance training on knee extensors muscular performance. *Eur J Appl Physiol* 112(4): 1371-1378, 2012.

Blazevich, T. Resistance training for sprinters (part 1): Theoretical considerations. *Strength Cond Coach* 4(3): 1371-1378, 1997.

Blazevich, T. Resistance training for sprinters (part 2): exercise suggestions. *Strength Cond Coach* 5(1): 5-10, 2007.

Bogaerts, A., Verschueren, S., Delecluse, C., Claessens, A. L., y Boonen, S. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial. *Gait Posture* 26(2): 309-316, 2007.

Bojsen-Moller, J, Magnusson, SP, Rasmussen, LR, Kjaer, M, y Aagaard, P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* (1985) 99: 986–994, 2005.

Bongiovanni, L. G., Hagbarth, K. E., y Stjernberg, L. (1990). Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. *J Physiol* 423: 15-26, 1990.

Bosco, C., Cardinale, M., y Tsarpela, O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79(4): 306-311, 1999.

Bosco, C, Colli, R, Introvini, E, Cardinale, M, Tsarpela, O, Madella, A, Tihanyi, J, y Viru, A. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19: 183–187, 1999.

Bosco, C, Iacovelli, M, Tsarpela, O, Cardinale, M, Bonifazi, M, Tihanyi, J, Viru, M, De Lorenzo, A, y Viru, A. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 81: 449–454, 2000.

Brown, L. *Isokinetics in Human Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000.

Candow, DG y Burke, DG. Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *J Strength Cond Res* 21: 204–207, 2007.

Cardinale, M. *The Effects of Vibration on Human Performance and Hormonal Profile*. Budapest, Hungary: Semmelweis University Doctoral School, 2002.

Cardinale, M., y Bosco, C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* 31(1): 3-7, 2003.

Cardinale, M., y Erskine, J. A. Vibration training in elite sport: effective training solution or just another fad? *Int J Sports Physiol Perform* 3(2): 232-239, 2008.

Cardinale, M, y Lim, J. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 17: 621-624, 2003.

Cardinale, M., y Pope, M. H. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiol Hung* 90(3): 195-206, 2003.

Cardinale, M y Wakeling, J. Whole body vibration exercise: Are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 39: 585–589, 2005.

Cardinale, M, Leiper, J, Erskine, J, Milroy, M, y Bell, S. The acute effects of different whole body vibration amplitudes on the endocrine system of young healthy men: A preliminary study. *Clin Physiol Funct Imaging* 26: 380–384, 2006.

Cardinale, M., Leiper, J., Farajian, P., y Heer, M. Whole-body vibration can reduce calciuria induced by high protein intakes and may counteract bone resorption: A preliminary study. *J Sports Sci* 25(1): 111-119, 2007.

Carter, D. R., Caler, W. E., Spengler, D. M., y Frankel, V. H. Fatigue behavior of adult cortical bone: the influence of mean strain and strain range. *Acta Orthop Scand* 52(5): 481-490, 1981.

Caserotti, P, Aagaard, P, y Puggaard, L. Changes in power and force generation during coupled eccentric-concentric versus concentric muscle contraction with training and aging. *Eur J Appl Physiol* 103: 151–161, 2008.

Caserotti, P, Aagaard, P, Simonsen, EB, y Puggaard, L. Contraction-specific differences in maximal muscle power during stretch-shortening cycle movements in elderly males and females. *Eur J Appl Physiol* 84: 206–212, 2001.

Colson, SS, Pensini, M, Espinosa, J, Garrandes, F, y Legros, P. Whole-body vibration training effects on the physical performance of basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 999–1006, 2010.

Cochrane, D. J., y Hawke, E. J. Effects of acute upper-body vibration on strength and power variables in climbers. *J Strength Cond Res* 21(2): 527-531, 2007.

Cochrane, D. J., Legg, S. J., y Hooker, M. J. The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *J Strength Cond Res* 18(4): 828-832, 2004.

Cochrane, D. J., Sartor, F., Winwood, K., Stannard, S. R., Narici, M. V., y Rittweger, J. A comparison of the physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch Phys Med Rehabil* 89(5): 815-821, 2008.

Cole, KJ, y Mahoney, SE. Effect of five weeks of whole body vibration training on speed, power, and flexibility. *Clinical Kinesiology*, 64(1): 1-7, 2010.

Colson, SS, Pensini, M, Espinosa, J, Garrandes, F, y Legros, P. Whole-body vibration training effects on the physical performance of basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 999-1006, 2010.

Cornie, P., Deane, R. S., Triplett, N. T., y McBride, J. M. Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res* 20(2): 257-261, 2006.

Cochrane, D. J., Stannard, S. R., Sargeant, A. J., y Rittweger, J. The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *Eur J Appl Physiol* 103(4): 441-448, 2008.

Cristi-Montero, C., Cuevas, M. J., y Collado, P. S. Whole-body vibration training as complement to programs aimed at weight loss. *Nutr Hosp* 28(5): 1365-1371, 2013.

Cronin, J. B., McNair, P. J., y Marshall, R. N. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res* 17(1): 148-155, 2003.

Da Silva, ME, Fernandez, JM, Castillo, E, Nunez, VM, Vaamonde, DM, Poblador, MS, y Lancho, JL. Influence of vibration training on energy expenditure in active men. *J Strength Cond Res* 21: 470–475, 2007.

Davis, R., Sanborn, C., Nichols, D., Bazett-Jones, D. M., y Dugan, E. L. The effects of whole body vibration on bone mineral density for a person with a spinal cord injury: a case study. *Adapt Phys Activ Q* 27(1): 60-72, 2010.

de Ruyter, CJ, Van Raak, SM, Schilperoort, JV, Hollander, AP, y de Haan, A. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* 90: 595–600, 2003.

Delecluse, C, Roelants, M, y Verschueren, S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1033–1041, 2003.

Delecluse, C, Roelants, M, Diels, R, Koninckx, E, y Verschueren, S. Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *Int J Sports Med* 26: 662-668, 2005.

Delecluse, C, Roelants, M, y Verschueren, S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1033-1041, 2003.

Dolny, D. G., y Reyes, G. F. Whole body vibration exercise: training and benefits. *Curr Sports Med Rep* 7(3): 152-157, 2008.

Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., Smith, B. K., y American College of Sports, Medicine. (2009). American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc* 41(2): 459-471, 2009.

Eckhardt, H, Wollny, R, Muller, H, Bartsch, P, y Friedmann-Bette, B. Enhanced myofiber recruitment during exhaustive squatting performed as whole-body vibration exercise. *J Strength Cond Res* 25: 1120–1125, 2011.

Eider, J, Muishchenko, V, Tomiak, T, Sawzyn, S, Kuehne, T, y Zasada, M. Effects of 8-week whole-body vibration training on knee extensors strength in healthy young volunteers. *Pol J Environ Stud* 20(6): 1453-1464, 2011.

Elmantaser, M., McMillan, M., Smith, K., Khanna, S., Chantler, D., Panarelli, M., y Ahmed, S. F. A comparison of the effect of two types of vibration exercise on the endocrine and musculoskeletal system. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 12(3): 144-154, 2012.

Erskine, J., Smillie, I., Leiper, J., Ball, D., y Cardinale, M. Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. *Clin Physiol Funct Imaging* 27(4): 242-248, 2007.

Esmaeilzadeh, S, Akpınar, M, Polat, SE, Yildiz, A, y Oral, A. Effects of 8-week whole-body vibration training on knee extensors strength in healthy young volunteers. *Osteoarthritis Cartilage* 23, A392, 2015.

Fernandez-Rio, J, Terrados, N, Fernandez-Garcia, B, y Suman, OE. Effects of vibration training on force production in female basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 1373–1380, 2010.

Fjeldstad, CPI, Bemben, MG, and Bemben, DA. Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. *Maturitas* 20: 79–83, 2009.

Flieger, J, Karachalios, T, Khaldi, L, Raptou, P, y Lyritis, G. Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int* 63: 510-514, 1998.

Gilsanz, V, Wren, TA, Sanchez, M, Dorey, F, Judex, S, y Rubin, C. Low-level, high-frequency mechanical signals enhance musculoskeletal development of young women with low BMD. *J Bone Miner Res* 21: 1464–1474, 2006.

Goto, K y Takamatsu, K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jpn J Physiol* 55: 279–284, 2005.

Harrison, AJ y Bourke, G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res* 23: 275–283, 2009.

Hazell, T. J., Jakobi, J. M., y Kenno, K. A. The effects of whole-body vibration on upper- and lower-body EMG during static and dynamic contractions. *Appl Physiol Nutr Metab* 32(6): 1156-1163, 2007.

Hazell, T. J., y Lemon, P. W. Synchronous whole-body vibration increases  $VO_2$  during and following acute exercise. *Eur J Appl Physiol* 112(2), 413-420, 2012.

Hazell, TJ, Thomas, GW, Deguire, JR, y Lemon, PW. Vertical whole-body vibration does not increase cardiovascular stress to static semi-squat exercise. *Eur J Appl Physiol* 104: 903–908, 2008.

Hong, JKK, Johnson, ST, y Hoffman, MA. Effects of whole body vibration on electromechanical delay, rate of force development, and presynaptic inhibition. *Int J Phys Rehab* 1: 30–40, 2010.

Hosseini, S.S., Rostamkhany, H., Hashemi, M., y Jalili, M.A. A Comparison of the Effect of Whole-Body Vibration and Strength Training On Certain Physical Fitness Factors and Dynamic Balance in Students. *Middle-East Journal of Scientific Research* 11(3): 336-341, 2012.

Humphries, B., Warman, G., Purton, J., Doyle, T. L. A., y Dugan, E. The influence of vibration on muscle activation and rate of force development during maximal isometric contractions. *Journal of Sports Science and Medicine* 3: 16-22, 2004.

Issurin, V. B., Liebermann, D. G., y Tenenbaum, G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* 12(6): 561-566, 1994.

Issurin, VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 45: 324-336, 2005.

Jacobs, PL y Burns, P. Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res* 23: 51-57, 2009.

Jarska, K., Szczepanowska, E., Chudecka, M., Sieńko, E., y Drozdowski, R. Changes in body composition and heart rate in women after systematic static physical exertion on a vibraplate. *Polish Journal of Sports Medicine* 25(2): 106-114, 2009.

Jidovtseff, B, Croisier, JL, Lhermerout, C, Serre, L, Sac, D, y Crielaard, JM. The concept of iso-inertial assessment: reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinetic Exerc Sci* 14: 53-62, 2006.

Jidovtseff, B, Croisier, JL, Scimar, N, Demoulin, C, Maquet, D, y Crielaard, JM. The ability of isoinertial assessment to monitor specific training effect. *J Sports Med Phys Fitness* 47: 55-64, 2007.

Kholvadia, A, y Baard, ML. Whole body vibration improves body mass, flexibility and strength in priously sedentary adults. *SAJSM* 24(2): 60-64, 2012.

Kinser, A. M., Ramsey, M. W., O'Bryant, H. S., Ayres, C. A., Sands, W. A., y Stone, M. H. Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 40(1): 133-140, 2008.

Komi, PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev* 12: 81-121, 1984.

Kvorning, T, Bagger, M, Caserotti, P, y Madsen, K. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol* 96: 615-625, 2006.

Lamont, H. S., Cramer, J. T., Bemben, D. A., Shehab, R. L., Anderson, M. A., y Bemben, M. G. Effects of 6 weeks of periodized squat training with or without whole-body vibration on short-term adaptations in jump performance within recreationally resistance trained men. *J Strength Cond Res* 22(6): 1882-1893, 2008.

Lamont, H. S., Cramer, J. T., Bemben, D. A., Shehab, R. L., Anderson, M. A., y Bemben, M. G. Effects of a 6-week periodized squat training with or without whole-body vibration upon short-term adaptations in squat strength and body composition. *J Strength Cond Res* 25(7): 1839-1848, 2011.

Lamont, HS, Cramer, JT, Bemben, DA, Shehab, RL, Anderson, MA, y Bemben, MG. Effects of a 6-week periodized squat training program with or without whole-body vibration on jump height and power output following acute vibration exposure. *J Strength Cond Res* 23: 2317–2325, 2009.

Lamont, HS, Cramer, JT, Bemben, DA, Shehab, RL, Anderson, MA, y Bemben, MG. Effects of adding whole body vibration to squat training on isometric force/time characteristics. *J Strength Cond Res* 24: 171–183, 2010.

Lohman, E. B., 3rd, Petrofsky, J. S., Maloney-Hinds, C., Betts-Schwab, H., y Thorpe, D. The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Med Sci Monit* 13(2): 71-76, 2007.

Luo, J., McNamara, B., y Moran, K. Effect of vibration training on neuromuscular output with ballistic knee extensions. *J Sports Sci* 26(12): 1365-1373, 2008.

Ligouri, GC, Shoepe, TC, y Almstedt, HC. Whole body vibration training is osteogenic at the spine in college-age men and women. *J Hum Kinet* 31: 55–68, 2012.

Mahieu, NN, Witvrouw, E, Van de Voorde, D, Michilsens, D, Arbyn, V, y Van den Broecke, W. Improving strength and postural control in young skiers: Whole-body vibration versus equivalent resistance training. *J Athl Train* 41: 286–293, 2006.

Maloney-Hinds, C., Petrofsky, J. S., y Zimmerman, G. The effect of 30 Hz vs. 50 Hz passive vibration and duration of vibration on skin blood flow in the arm. *Med Sci Monit* 14(3): 112-116, 2008.

Marin, PJ y Rhea, MR. Effects of vibration training on muscle strength: A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24: 548–556, 2010.

Marin, P. J., Herrero, A. J., Sainz, N., Rhea, M. R., y Garcia-Lopez, D. Effects of different magnitudes of whole-body vibration on arm muscular performance. *J Strength Cond Res* 24(9): 2506-2511, 2010.

Martinez-Pardo, E, Romero-Arenas, S, y Alcaraz, PE. Effects of different amplitudes (high vs. low) of whole-body vibration training in active adults. *J Strength Cond Res* 27: 1798–1806, 2013.

Melnyk, M., Kofler, B., Faist, M., Hodapp, M., y Gollhofer, A. Effect of a whole-body vibration session on knee stability. *Int J Sports Med* 29(10): 839-844, 2008.



Mester, J., Kleinoder, H., y Yue, Z. Vibration training: benefits and risks. *J Biomech* 39(6): 1056-1065, 2006.

Meyer, N. L., Shaw, J. M., Manore, M. M., Dolan, S. H., Subudhi, A. W., Shultz, B. B., y Walker, J.A. Bone mineral density of olympic-level female winter sport athletes. *Med Sci Sports Exerc* 36(9): 1594-1601, 2004.

Mikhael, M., Orr, R., y Fiatarone Singh, M. A. The effect of whole body vibration exposure on muscle or bone morphology and function in older adults: A systematic review of the literature. *Maturitas*, 2010.

Milanese, CPF, Simoni, C, y Zancanaro, C. Mild chronic whole body vibration does not affect bone mineral mass or density in young females. *J Hum Sport Exerc* 6: 474-479, 2011.

Moezy, A., Olyaei, G., Hadian, M., Razi, M., y Faghihzadeh, S. A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 42(5): 373-378, 2008.

Moras, G., Rodriguez-Jimenez, S., Tous-Fajardo, J., Ranz, D., y Mujika, I. A Vibratory Bar for Upper Body: Feasibility and Acute Effects on EMGrms Activity. *J Strength Cond Res* 24(8):2132-2142, 2010.

Murphy, A. J., Lockie, R. G., y Coutts, A. J. Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *J Sports Sci Med* 2(4): 144-150, 2003.

Murphy, A. J., y Wilson, G. J. The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of isoinertial and isokinetic tests. *J Sports Med Phys Fitness* 36(3): 169-177, 1996.

Osawa, Y., y Oguma, Y. Effects of resistance training with whole-body vibration on muscle fitness in untrained adults. *Scand J Med Sci Sports* 23(1): 84-95, 2013.

Paradisis, G., y Zacharogiannis, E. Effects of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance. *Journal of Sport Science and Medicine* 6: 44-49, 2007.

Poston, B., Holcomb, W. R., Guadagnoli, M. A., y Linn, L. L. The acute effects of mechanical vibration on power output in the bench press. *J Strength Cond Res* 21(1): 199-203, 2007.

Prisby, R. D., Lafage-Proust, M. H., Malaval, L., Belli, A., y Vico, L. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know. *Ageing Res Rev* 7(4): 319-329, 2008.

Rauch, F, Sievanen, H, Boonen, S, Cardinale, M, Degens, H, Felsenberg, D, Roth, J, Schoenau, E, Verschueren, S, y Rittweger, J. Reporting whole-body vibration intervention studies: Recommendations of the international society of musculoskeletal and neuronal interactions. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 10: 193–198, 2010.

Rehn, B., Lidstrom, J., Skoglund, J., y Lindstrom, B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 17(1): 2-11, 2007.

Rijkelijkhuisen, J. M., de Ruiter, C. J., Huijling, P. A., y de Haan, A. Low-frequency fatigue is fibre type related and most pronounced after eccentric activity in rat medial gastrocnemius muscle. *Pflugers Arch* 447(2): 239-246, 2003.

Rittweger, J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol* 108: 877-904, 2010.

Rittweger, J, Beller, G, y Felsenberg, D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20: 134-142, 2000.

Rittweger, J., Beller, G., Armbrecht, G., Mulder, E., Buehring, B., Gast, U., Dimeo, F., Schubert, H., de Haan, A., Stegeman, D.F., Schiessl, H., Felsenberg, D. Prevention of bone loss during 56 days of strict bed rest by side-alternating resistive vibration exercise. *Bone* 46(1): 137-147, 2010.

Rittweger, J., Ehrig, J., Just, K., Mutschelknauss, M., Kirsch, K. A., y Felsenberg, D. Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med* 23(6): 428-432, 2002.

Rittweger, J., Schiessl, H., y Felsenberg, D. Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol* 86(2): 169-173, 2001.

Roelants, M, Delecluse, C, Goris, M, y Verschueren, S. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med* 25: 1–5, 2004.

Roelants, M, Verschueren, SM, Delecluse, C, Levin, O, y Stijnen, V. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res* 20:124–129, 2006.

Rønnestad, BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 18:839–845, 2004.

Rønnestad, B. R. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 18(4): 839-845, 2004.

Rothmuller, C y Cafarelli, E. Effect of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue in humans. *J Physiol* 485(pt 3): 857-864, 1995.

Rubin, C, Turner, AS, Muller, R, Mitra, E, McLeod, K, Lin, W, y Qin, YX. Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, noninvasive mechanical intervention. *J Bone Miner Res* 17: 349-357, 2002.

Rubin, C, Xu, G, y Judex, S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J* 15: 2225-2229, 2001.

Russo, CR, Lauretani, F, Bandinelli, S, Bartali, B, Cavazzini, C, Guralnik, JM, y Ferrucci, L. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil* 84: 1854-1857, 2003.

Sarshin, A., Mohammadi, S., Khadam, A.R., y Sarshin, K. The effect of whole body vibration training on explosive power and speed in male non athlete students. *Phy Ed Sport* 8(1): 81-88, 2010.

Sheppard, J. Improving the sprint start with strength and conditioning exercise. *Modern Athlete & Coach* 42(4): 9-13, 2004.

Spiliopoulou, S. I., Amiridis, I. G., Tsigganos, G., Economides, D., y Kellis, E. Vibration effects on static balance and strength. *Int J Sports Med* 31(9): 610-616, 2010.

Torvinen, S, Kannu, P, Sievanen, H, Jarvinen, TA, Pasanen, M, Kontulainen, S, Jarvinen, TL, Jarvinen, M, Oja, P, y Vuori, I. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging* 22:145-152, 2002.

Torvinen, S, Kannus, P, Sievanen, H, Jarvinen, TA, Pasanen, M, Kontulainen, S, Nenonen, A, Jarvinen, TL, Paakkala, T, Jarvinen, M, and Vuori, I. Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: A randomized controlled study. *J Bone Miner Res* 18: 876-884, 2003.

Torvinen, S, Kannus, P, Sievänen, H, Järvinen, TA, Pasanen, M, Kontulainen, S, Järvinen, TL, Järvinen, M, Oja, P, y Vuori I. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1523-1528, 2002.

Totosy de Zepetnek, J. O., Giangregorio, L. M., y Craven, B. C. Whole-body vibration as potential intervention for people with low bone mineral density and osteoporosis: A review. *Journal of Rehabilitation Research & Development* 46(4): 529–542, 2009.

Turner, AP, Sanderson, MF, y Attwood, LA. The Acute Effect of Different Frequencies of Whole-Body Vibration on Countermovement Jump Performance. *J Strength Cond Res* 25(6): 1592-1597, 2011.

van den Tillaar, R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *J Strength Cond Res* 20(1): 192-196, 2006.

van Nes, I. J., Geurts, A. C., Hendricks, H. T., y Duysens, J. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *Am J Phys Med Rehabil* 83(11): 867-873, 2004.

Verschueren, SM, Roelants, M, Delecluse, C, Swinnen, S, Vanderschueren, D, y Boonen, S. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: A randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res* 19: 352–359, 2004.

Viru, A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med* 13:201–209, 1992.

Vissers, D, Verrijken, A, Mertens, I, Van Gils, C, Van de Sompel, A, Truijen, S, y Van Gaal, L. Effect of long-term whole body vibration training on visceral adipose tissue: A preliminary report. *Obes Facts* 3:93–100, 2010.

Wilcock, IM, Whatman, C, Harris, N, y Keogh, JW. Vibration training: Could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res* 23: 593–603, 2009.

Young, W.B., Benton, D., Duthie, G., y Pryor, J. Resistance Training for Short Sprints and Maximum-speed Sprints. *Strength Conditioning J* 23(2): 7-13, 2001.

***CAPÍTULO 13:***

APÉNDICE

---

## **CAPÍTULO 13. APÉNDICE**

### **COMPENDIO DE PUBLICACIONES**

TRES ARTÍCULOS PUBLICADOS EN UNA REVISTA DEL ÁMBITO DE LA ESPECIALIDAD E INDEXADA EN LA ÚLTIMA RELACIÓN PUBLICADA ENTRE LOS DOS PRIMEROS CUARTILES DE LA RELACIÓN DEL JOURNAL CITATION REPORTS (SCI Y/O SSCI).

#### **ARTICULOS:**

##### **ART. 1**

MARTÍNEZ-PARDO E, ALCARAZ PE , MARTÍNEZ-RUIZ E, RUBIO-ARIAS JA. EFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CUALIDADES FÍSICAS EN ADULTOS JÓVENES FÍSICAMENTE ACTIVOS. NUTRICIÓN HOSPITALARIA, 2015; 32(5).

FECHA DE PUBLICACIÓN: AGOSTO DE 2015.

DATOS INDEX: DEP. LEGAL: M-34.850-1982      SOPORTE VÁLIDO: 19/05-R-CM      ISSN: 0212-1611      EISSN: 1699-5198      SOPORTE:SOPORTE@NUTRICIONHOSPITALARIA.COM  
IMPACT FACTOR: 1.040

##### **ART. 2**

MARTÍNEZ-PARDO E E, ROMERO S, ALCARAZ PE. EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING IN ACTIVE ADULTS. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH. 2013; 27(7):1798-1806.

FECHA DE PUBLICACIÓN: JULIO 2013

DATOS INDEX: ISSN: 1064-8011      ONLINE ISSN: 1533-4287      RANKING: SPORT SCIENCES 23/81      IMPACT FACTOR: 1.858

##### **ART. 3**

MARTÍNEZ-PARDO E, ROMERO-ARENAS S, MARTÍNEZ-RUIZ E, RUBIO-ARIAS JA, ALCARAZ PE. EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH. 2014; 28(11):3255-3263.

FECHA DE PUBLICACIÓN: NOVIEMBRE 2014

DATOS INDEX: ISSN: 1064-8011      ONLINE ISSN: 1533-4287      RANKING: SPORT SCIENCES 23/81      IMPACT FACTOR: 2.075

**ART. 1**

MARTÍNEZ-PARDO E, ALCARAZ PE , MARTÍNEZ-RUIZ E, RUBIO-ARIAS JA. EFECTOS DE LAS VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CUALIDADES FÍSICAS EN ADULTOS JÓVENES FÍSICAMENTE ACTIVOS. NUTRICIÓN HOSPITALARIA, 2015; 32(5).



## Revisión

# Efectos de las vibraciones de cuerpo completo sobre la composición corporal y las capacidades físicas en adultos jóvenes físicamente activos

Esmeraldo Martínez-Pardo<sup>1</sup>, Enrique Martínez-Ruiz<sup>2</sup>, Pedro E. Alcaraz<sup>1,3</sup>  
y Jacobo A. Rubio-Arias<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Facultad de Deporte - UCAM, Universidad Católica de Murcia, Murcia. <sup>2</sup>Cátedra de traumatología del deporte - UCAM, Universidad Católica de Murcia, Murcia. <sup>3</sup>UCAM Centro de Investigación de Alto Rendimiento - UCAM, Universidad Católica de Murcia (Murcia), España.

## Resumen

En la última década se ha sugerido que la práctica de ejercicio a través de las vibraciones de todo el cuerpo (WBV) puede incrementar el rendimiento neuromuscular y, consecuentemente, incidir en la mejora muscular, ya sea como respuesta aguda a la vibración o como adaptación crónica al entrenamiento. Las plataformas vibratorias generan frecuencias que van de 5 a 45 Hz y desplazamientos verticales de 1 a 11 mm de pico a pico, incidiendo en una mayor o menor aceleración modificando la intensidad al combinar frecuencia y amplitud. El entrenamiento vibratorio, tanto en una sesión como en varias, ofrece diferentes resultados en lo que se refiere a cambios en la composición corporal, así como en el incremento del salto vertical, la velocidad de carrera y las diferentes manifestaciones del rendimiento de la fuerza. Estos resultados tan prometedores aguardan futuras investigaciones que establezcan unos parámetros (duración, frecuencia y amplitud) con estímulo vibratorio en sujetos jóvenes activos.

Esta revisión bibliográfica ofrece una recopilación actualizada de la evidencia científica sobre las vibraciones corporales con el fin de responder a la cuestión de si las WBV, entendidas como el ejercicio que incrementa la carga gravitacional, son una opción de tratamiento si el objetivo es mejorar la función neuromuscular, la flexibilidad, el equilibrio, la agilidad, la coordinación o la composición corporal.

(Nutr Hosp. 2015;32:1949-1959)

DOI:10.3305/nh.2015.32.5.9672

Palabras clave: *Vibración de todo el cuerpo. Ejercicio vibratorio. Fuerza. Composición corporal.*

## EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING ON BODY COMPOSITION AND PHYSICAL FITNESS IN RECREATIONALLY ACTIVE YOUNG ADULTS

### Abstract

In the last decade, it has been suggested that whole-body vibration training (WBV) may increase neuromuscular performance and consequently affect the muscular improvement as either acute response to vibration or chronic adaptation training. Vibrating platforms generate frequencies from 5-45 Hz and vertical oscillations of 1-11 mm peak to peak, affecting more or less intensity acceleration changing by combining frequency and amplitude. Vibration training, in a session as various offers different results in regard to changes in body composition and in increasing the vertical jump, sprint, and the different manifestations of force development. These promising results await further research to establish parameters (duration, frequency and amplitude) with vibration stimulation in young active subjects.

This literature review provides an update on the scientific evidence on the body vibrations in order to answer the question whether WBV, meaning the exercise by increasing the gravitational load collection, is a treatment option if the aim is to improve neuromuscular function, flexibility, balance, agility, coordination and body composition.

(Nutr Hosp. 2015;32:1949-1959)

DOI:10.3305/nh.2015.32.5.9672

Key words: *Whole body vibration. Vibration exercise. Strength. Body composition.*

**Correspondencia:** Jacobo A. Rubio Arias/Esmeraldo Martínez-Pardo.  
E-mail: jararias@ucam.edu/aldo.martinez@gmail.com

Recibido: 22-VII-2015.  
Aceptado: 17-VIII-2015.



## Abreviaturas

WBV: Vibraciones de cuerpo entero.  
Hz: Frecuencia.  
mm: Amplitud.  
MG: Masa grasa.  
MLG: Masa libre en grasa.  
DXA: Absorciometría de rayos X de energía dual.  
CMO: Contenido mineral óseo.  
DMO: Densidad mineral ósea.  
GC: Grupo control.  
ACSM: Colegio Americano de Medicina Deportiva.  
VS: Estimulación vibratoria.

## Introducción

El entrenamiento vibratorio de cuerpo entero (WBV) ha aumentado su popularidad como una alternativa al entrenamiento convencional con pesas o como un entrenamiento complementario, ya que ofrece una cantidad importante de beneficios físicos, así como la mejora de la fuerza muscular, flexibilidad, rango de movimiento, densidad ósea y circulación sanguínea<sup>1</sup>.

Este tipo de estímulo vibratorio está caracterizado por la transmisión de oscilaciones mecánicas sinusoidales en las que la vibración es aplicada indirectamente a la musculatura que se quiere entrenar a través de una plataforma vibratoria, donde el individuo permanece en posición de semiflexión de piernas sobre su superficie y, a través de los pies, las vibraciones emitidas se transmiten por todo el cuerpo (Fig. 1). Estas vibraciones permiten una adaptación atendiendo a las variables que se manejan, como son la frecuencia (Hz) y la amplitud (mm) de vibración, el tiempo de exposición y recuperación y los ejercicios o posturas que se utilizan sobre la plataforma. Este tipo de dispositivo administra vibraciones sinusoidales a todo el cuerpo con frecuencias que oscilan entre 5 y 45 Hz<sup>2</sup> y desplazamientos verticales de 1 a 11 mm<sup>3</sup>. Cuando las vibraciones se aplican a largo plazo, las frecuencias oscilan entre 26 y 45 Hz y las amplitudes se encuentran en un rango entre 2 y 10 mm si atendemos a la revisión de 14 estudios longitudinales que ofrece Rehn et al.<sup>4</sup>. En dicha revisión aparecen 5 artículos con jóvenes sanos los cuales entrenaron con frecuencias entre 26 y 40 Hz y amplitudes entre 2 y 10 mm. Todas estas variables condicionan la respuesta del cuerpo humano a la vibración<sup>5</sup>.

Gran cantidad de investigadores hacen referencia a la incidencia de las vibraciones sobre el organismo cuando los efectos son agudos, o cuando las adaptaciones se producen a largo plazo. Dichas adaptaciones a esta forma popular de entrenamiento, han proporcionado efectos beneficiosos sobre la salud ósea<sup>7</sup>, la composición corporal<sup>6,8</sup>, el perfil hormonal<sup>9</sup> o el rendimiento muscular<sup>6,10-13</sup>.

Estos beneficios están condicionados por una serie de parámetros, que son los que actualmente crean



*Fig. 1.—Disposición del sujeto sobre la plataforma. El sujeto permanece sobre la plataforma manteniendo una posición isométrica de cuarto de sentadilla con los pies a la anchura de los hombros<sup>6</sup>.*

tanta controversia entre los distintos autores. Dichos parámetros son los que determinarán la carga de entrenamiento, en concreto la intensidad (frecuencia, amplitud y aceleración) y el volumen (tiempo de exposición, tiempo de descanso, frecuencia semanal y distribución), ya que dependiendo de cómo se combine la frecuencia, la amplitud, el tiempo de exposición a la vibración, el tiempo de descanso intermedio, la posición adquirida sobre la plataforma, se obtendrán diferentes adaptaciones. Además, no se obtienen los mismos efectos cuando la vibración es aplicada en una sola sesión que cuando se aplica durante un periodo de tiempo, por lo que, para las adaptaciones a largo

plazo es posible que la frecuencia semanal de entrenamiento pueda influir en las posibles adaptaciones crónicas que provoca el entrenamiento vibratorio. La adquisición de una condición física muscular adecuada que permita mejorar el estado de salud, pasa por la necesidad de un entrenamiento que perdure en el tiempo, por lo que serán las adaptaciones crónicas las que mayor interés despierten a la hora de prescribir programas de entrenamiento dedicados a la mejora de la calidad de vida.

Debido a la importancia de comprender este complejo entramado, surge la necesidad de elaborar una revisión de estudios longitudinales centrada en los jóvenes activos y sanos de características similares, donde se plasme la relación entre los distintos tipos de entrenamiento y los efectos que generan sobre el rendimiento de diferentes cualidades físicas, el equilibrio y la composición corporal en jóvenes sanos.

### Composición corporal

La actividad física es uno de los pilares fundamentales cuando el objetivo es la pérdida de peso, ya que conduce a un aumento del gasto de energía. Sin embargo, los efectos que produce el entrenamiento con WBV sobre el porcentaje de masa grasa (MG) o masa libre en grasa (MLG) no han aportado muchas investigaciones en la literatura científica actual, sobre todo en jóvenes activos y sanos. A su vez, dicha población ha sido objeto de pocos estudios entorno a los efectos que generan las WBV sobre el tejido óseo.

#### *Masa muscular*

Muchos estudios han sugerido que el entrenamiento vibratorio puede afectar a la fuerza muscular<sup>6,10-14</sup> y a la potencia<sup>6,15-20</sup>. Sin embargo, pocos son los estudios se han centrado en características morfológicas como la composición corporal de jóvenes sanos.

El estudio de Martínez-Pardo et al.<sup>6</sup> evaluaba los efectos de dos amplitudes diferentes de WBV sobre la composición corporal. Treinta y ocho sujetos jóvenes y activos participaron en el estudio dividiéndose en dos grupos experimentales (GL = 2 mm; GH = 4 mm) y un grupo de control (GC). Los grupos experimentales realizaron un entrenamiento vibratorio progresivo de 2 días a la semana durante 6 semanas. La frecuencia de vibración (50 Hz), tiempo de trabajo (60 s) y el tiempo de recuperación (60 s) fueron constantes para GL y GH. Todos los participantes adoptaron una posición estática con semiflexión de piernas sobre la plataforma. Tras valorar la composición corporal, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el cambio en la masa de grasa después del entrenamiento de vibración. Sin embargo, la MLG aumentó significativamente en GH entre el pre-test y post-test, sin cambios significativos en GL y el GC.

Hay varios estudios que sugieren que la hipertrofia muscular puede deberse a una respuesta hormonal inducida por la vibración. El ejercicio sobre una plataforma vibratoria provoca reacciones endocrinas que pueden ser entendidas como señales producidas por el efecto del entrenamiento<sup>21</sup>. Estas respuestas hormonales se manifiestan con un aumento de la testosterona<sup>9</sup>, de la hormona de crecimiento<sup>9,22,23</sup>, de las catecolaminas<sup>24</sup>, de la síntesis de proteínas<sup>25</sup> y en una disminución de cortisol<sup>9,23</sup>. La literatura científica muestra que hay un mayor aumento en la producción de la hormona del crecimiento con la exposición a la WBV<sup>9,23</sup>. Estos efectos endocrinos podrían explicar el aumento de MLG después del entrenamiento vibratorio. Similares resultados presenta el estudio de Roelants et al.<sup>12</sup>, que evaluaron la composición corporal de 48 mujeres jóvenes tras 24 semanas de entrenamiento vibratorio (35-40 Hz, 2,5 a 5,0 mm), obteniendo un aumento significativo del 2,2% en la MLG entre el pre-test y post-test. En el estudio de Martínez-Pardo et al.<sup>6</sup>, se observó un aumento del 1,6% en el grupo de GH con solo 6 semanas de entrenamiento. Lamont et al.<sup>8</sup> encontraron resultados similares en los cambios de masa corporal magra (en comparación con el GC) evaluada en 36 hombres (18-30 años) mediante DXA cuando se utilizó un programa de entrenamiento vibratorio (50 Hz, 2-4 mm) de una duración similar (6 semanas) combinado con el ejercicio de sentadillas. En la misma línea de resultados encontramos el estudio de Osawa & Oguma<sup>26</sup> donde se mostraba que 13 semanas de entrenamiento vibratorio combinado con un entrenamiento de pesas era más efectivo para generar hipertrofia muscular (+10,7% en el área de la sección transversal del psoas mayor) que el entrenamiento de fuerza por sí sólo (+3,8%).

#### *Masa ósea*

La incidencia de la osteoporosis, se manifiesta en la edad avanzada. Sin embargo, podría reducirse mediante el aumento del pico de masa ósea durante la juventud. Pocos son los trabajos que han estudiado el efecto de las vibraciones sobre el tejido óseo en jóvenes<sup>7,20</sup>. Gilsanz et al.<sup>7</sup> realizaron una investigación de 12 meses utilizando un programa de WBV con 48 mujeres saludables (15-20 años) que al menos habían tenido una fractura ósea antes del estudio. Se evaluaron tanto la dieta y la actividad física como la composición ósea y muscular. La mitad de los sujetos se sometieron diariamente a WBV (30 Hz; 0,3 g) y la otra mitad conformaba el GC. Una vez finalizado el estudio obtuvieron que el hueso esponjoso en la vértebra lumbar y el hueso cortical en la diáfisis femoral del grupo experimental había aumentado en un 2,1% ( $p = 0,025$ ) y un 3,4% ( $p < 0,001$ ), respectivamente, en comparación con un 0,1% ( $p = 0,74$ ) y un 1,1% ( $p = 0,14$ ) en el GC. El incremento en el hueso esponjoso y cortical fue 2,0% ( $p = 0,06$ ) y 2,3% ( $p = 0,04$ ) mayor, respectivamente,

en el grupo experimental en comparación con el GC. El área de sección transversal de la musculatura paravertebral fue un 4,9% mayor ( $p = 0,002$ ) en el grupo experimental que en el GC. Los datos de este estudio indican que la formación de hueso y músculo puede mejorarse en mujeres jóvenes con baja densidad mineral ósea (DMO) a través de una exposición diaria de señales mecánicas de baja magnitud. Este estudio apoya la presencia de que las señales mecánicas, en el orden de que la magnitud esté por debajo de aquella que cause daño en la matriz del hueso<sup>27</sup>, puede mejorar el desarrollo musculoesquelético.

El estudio de Gilsanz et al.<sup>7</sup> ofrece pruebas de que la carga de vibración puede ser una manera eficaz y segura para mejorar la DMO del hueso, proporcionando de este modo un gran potencial para la prevención y tratamiento de la osteoporosis. Sin embargo, Torvinen et al.<sup>20</sup> no hallaron los mismos resultados en un ensayo aleatorio controlado diseñado para evaluar los efectos de la intervención con WBV en el hueso. Para dicho estudio contaron con cincuenta y seis adultos jóvenes y sanos (21 hombres y 35 mujeres; edad: 19-38 años) asignados al azar en un grupo experimental (WBV) y un GC. La intervención consistió en una serie de WBV durante 8 meses (4 min/día, 3-5 veces por semana). Durante el programa de vibración la plataforma osciló en un orden ascendente desde 25 hasta 45 Hz. Se evaluó la masa, estructura, y la fuerza estimada de hueso en la tibia distal y en la diáfisis tibial mediante tomografía computarizada cuantitativa periférica (pQCT) al inicio y a los 8 meses. El contenido mineral óseo (CMO) se midió en la columna lumbar, cuello del fémur, trocánter, el calcáneo y el radio distal mediante absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) al inicio del estudio y después de la intervención de 8 meses. Se determinaron marcadores séricos de recambio óseo tanto al inicio como al finalizar del estudio. La intervención con vibraciones no tuvo ningún efecto sobre la masa, estructura, o la fuerza estimada de hueso en ninguna de las partes valoradas del esqueleto y los marcadores séricos del recambio óseo no variaron. En la misma línea de resultados se encuentra el estudio de Milanese et al.<sup>28</sup>, donde 36 mujeres sanas (edad =  $25,3 \pm 5,26$  años) se sometieron a 8 semanas de ejercicio con WBV (2 sesiones / semana; 2,0-5,0 mm; 40-60 Hz). El CMO y la DMO se evaluaron antes y después del entrenamiento con WBV mediante DXA. Los resultados mostraron que el tejido óseo valorado en todo el cuerpo y a nivel regional no se vieron afectados de manera significativa tras el periodo de entrenamiento.

### *Masa grasa*

Como describe el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM), la actividad física de intensidad moderada durante más de  $250 \text{ min} \cdot \text{wk}^{-1}$  se ha asociado con una pérdida significativa de peso<sup>29</sup>. Sin embargo,

hasta el momento, es difícil establecer un patrón de entrenamiento vibratorio donde se asegure una pérdida de tejido adiposo. Así lo demuestra el estudio de Paradis y Zacharogiannis<sup>16</sup> donde no aparecen cambios significativos en el porcentaje de grasa corporal en veinticuatro jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres; edad:  $21,3 \pm 1,2$  años) tras 6 semanas de entrenamiento vibratorio (3 entrenamientos semanales; 30 Hz; 2,5 mm) y, aunque Roelants et al.<sup>12</sup> demostraron que el entrenamiento WBV provocaba un pequeño aumento en la MLG, no hallaron una reducción de la grasa corporal en cuarenta y ocho mujeres desentrenadas (edad:  $21,3 \pm 2,0$  años). Sin embargo, Una reciente revisión concluye que el entrenamiento WBV parece estar asociado con la pérdida de peso debido a la inhibición de la adipogénesis y reducción de la masa grasa, aumento del gasto energético, y un aumento en la masa muscular<sup>30</sup>. Por ello, cuando se trata de explicar los efectos del WBV, cabe tener en cuenta que WBV puede provocar respuestas secundarias a través de la interacción entre los diferentes sistemas: el óseo, muscular, sistema endocrino, sistema nervioso y vascular<sup>31</sup>.

### **Fuerza**

La mayor parte de trabajos científicos dedicados a conocer los efectos del entrenamiento vibratorio, han centrado su interés en explicar las ganancias de fuerza y potencia muscular que se producen con esta modalidad de entrenamiento. Estas ganancias son debidas principalmente por adaptaciones a nivel neuromuscular<sup>32-34</sup>. Sin embargo, el entrenamiento con WBV no produce siempre los mismos efectos, así lo demuestran los siguientes estudios que se centran en valorar diferentes formas de generar fuerza en miembros superiores e inferiores tras un periodo de entrenamiento vibratorio en jóvenes sanos.

#### *Fuerza máxima isoinercial*

La evaluación isoinercial parece reflejar bien los gestos y movimientos de entrenamiento y competición propios de una gran variedad de deportes, en los que se producen acciones repetidas de aceleración y desaceleración<sup>35-38</sup>. Además, la evaluación isoinercial parece ser un procedimiento sensible para realizar un seguimiento longitudinal de los cambios que se producen en los niveles de fuerza como consecuencia del entrenamiento<sup>39</sup>.

#### *Fuerza isocinética*

#### **Miembros inferiores**

Diferentes autores han publicado que WBV aumenta la fuerza dinámica de los músculos de las extremi-



dades inferiores en sujetos activos o no entrenados<sup>10-13</sup>. Delecluse et al.<sup>10</sup> investigaron el efecto de un período de 12 semanas de entrenamiento con WBV (35-40 Hz) sobre la fuerza de los extensores de rodilla en sesenta y siete mujeres no entrenadas ( $21,4 \pm 1,8$  años). Todos los grupos de entrenamiento realizaron ejercicio 3 veces por semana a excepción del GC. La fuerza isométrica y dinámica de los extensores de rodilla se incrementó significativamente ( $p < 0,001$ ) tanto en el grupo WBV ( $16,6 \pm 10,8\%$ ;  $9,0 \pm 3,2\%$ ) como en el grupo que entrenó con pesas ( $14,4 \pm 5,3\%$ ;  $7,0 \pm 6,2\%$ ), mientras que el grupo placebo y control no mostraron ningún aumento significativo. Similares resultados encontramos en una muestra de treinta y ocho jóvenes activos (30 hombres y 8 mujeres;  $21,2 \pm 3,3$  años), en los que se evaluó los efectos que produce el uso de dos amplitudes diferentes (GL = trabajó con baja amplitud de 2 mm; GH = trabajado con alta amplitud de 4 mm) de WBV (50 Hz) sobre el desarrollo de la fuerza y la potencia mecánica de la extremidad, observándose un aumento significativo de la fuerza isocinética en GL y GH a velocidades angulares de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$ <sup>6</sup>. Así mismo, el estudio de Esmailzadeh et al. (2015) sugiere que 8 semanas de entrenamiento WBV (3 veces por semana; 30 Hz, 2-6 mm) es un método eficaz para la mejora significativa de la fuerza de los extensores de rodilla, en el pico torque concéntrico ( $p = 0,004$ ) y excéntrico ( $p = 0,031$ ), en mujeres jóvenes sanas<sup>40</sup>. Sin embargo, algunos estudios realizados con población físicamente activa, no aportan cambios significativos en la fuerza de los extensores de la rodilla después de un programa de 8 semanas de WBV (20-40 Hz; 2,5-5 mm) combinado con un entrenamiento de pesas<sup>41</sup>, o tras 4 meses de WBV (25-35 Hz, 2 mm, 4 min)<sup>19</sup>.

## Miembros superiores

Los efectos vibratorios sobre la potencia o fuerza del tren superior han sido menos estudiados. La vibración a través de los pies proporciona un estímulo para el rendimiento de los extensores del codo, mejorando el número de repeticiones completadas y la velocidad media<sup>42</sup>. Diferentes estudios donde se utilizaron resistencias han demostrado que el entrenamiento WBV da como resultado adaptaciones musculares significativas. Así se muestra en el estudio de Issurin et al.<sup>14</sup> donde aparece un aumento significativo de la fuerza como consecuencia de realizar levantamientos de curl de bíceps con una barra ensamblada a un cable vibratorio. En la misma línea de resultados encontramos el estudio de Bosco et al.<sup>43</sup> donde se produjo un incremento post-vibración del 8% en la potencia media del bíceps braquial en 12 boxeadores internacionales que agarraban de forma isométrica un dispositivo de vibración manual (30 Hz; 6 mm). Además, otro estudio que muestra la mejora de la potencia del tren superior es el aportado por Poston et al.<sup>17</sup>. Aplicando la vibra-

ción a una barra olímpica, 10 sujetos con experiencia en el levantamiento de pesas, realizaron 3 series de 3 repeticiones (70% 1RM) de press de banca con vibración (30 Hz; 1,1 mm) y sin ella en 2 sesiones (una sesión con vibración sirvió como condición experimental, mientras que la otra sesión sin vibración sirvió como control) separadas por 3 días. Como resultado, el pico y la potencia media fueron mayores después de la intervención vibratoria en comparación con la intervención sin vibraciones (control). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las series realizadas antes de la intervención con vibraciones mostraron salidas de potencia más altas en comparación con las que mostró la intervención control. Sin embargo, Cochrane & Hawke (2007) no han encontrado un incremento significativo en la potencia del tren superior en 12 escaladores activos y sanos que fueron expuestos a vibraciones (26 Hz; 3 mm) a través de una mancuerna (3 kg) eléctrica<sup>44</sup>.

Cuando la vibración es aplicada durante varias semanas, es posible mejorar la fuerza máxima isotónica. Así concluye el estudio de Issurin et al.<sup>14</sup> realizado con 28 sujetos activos (19-25 años) estudiantes de Educación Física, los cuales se sometieron a estimulación vibratoria (VS) aplicada a las extremidades superiores tres veces por semana durante 3 semanas. Para ello, se dividieron en tres grupos con la finalidad de realizar: (a) ejercicios convencionales de fuerza de brazos y ejercicios de estiramiento de piernas con VS; (b) ejercicios de fuerza de brazos con VS (44 Hz; 3 mm) y ejercicios de estiramientos convencionales para las piernas; (c) entrenamiento irrelevante (GC). Dicha investigación, que utilizó un sistema de poleas donde la vibración se transmitía a través de un cable mientras se ejecutaba el ejercicio de curl de bíceps sentado, indujo a un aumento significativamente mayor en la fuerza concéntrica durante la flexión de codos en el grupo que entrenó la fuerza con VS (promedio de 49,8%), mientras que el entrenamiento de fuerza convencional incrementó un 16,1% en el post-test. El GC no mostró ganancias en el 1RM. Similares resultados, sin ser éstos significativos, aparecen en el estudio de Eider et al. (2011) donde se muestran los efectos crónicos (8 semanas) de WBV (20 Hz; 2-5 mm) combinado con ejercicios estáticos y dinámicos submáximos con resistencias sobre las capacidades físicas de 37 mujeres jóvenes sanas (20-25 años). Para ello, fueron distribuidas aleatoriamente en dos grupos (experimental y control). El programa de entrenamiento constaba de 24 sesiones (3 sesiones por semana). Tanto los sujetos del grupo experimental como el control realizaron los mismos ejercicios de fuerza y potencia submáxima sobre la plataforma, solo que al GC no se le administró vibración. Se valoró la extensión máxima isocinética de los dos brazos (como si fueran flexiones) llegando a la conclusión que el entrenamiento con resistencias combinado con WBV es más eficiente en el incremento de la fuerza que el mismo entrenamiento

convencional sin WBV. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre grupos<sup>45</sup>.

## Potencia

### *Salto*

En la literatura científica encontramos una cantidad considerable de artículos que estudian los efectos de las vibraciones sobre el rendimiento del salto, sin embargo no son tantos los que se centran en sujetos sin experiencia atlética o que sólo realizan ejercicio físico de forma recreativa. Si bien, 6 de los estudios revisados sí encuentran mejoras significativas en el salto valorado, otros 4, hallan una tendencia positiva sin ser ésta significativa.

Cuando observamos (Tabla I) la duración de los estudios que evalúan los efectos de WBV sobre el salto vertical, aparecen mejoras significativas en 3 de los estudios con una duración de 5-6 semanas<sup>15,16,18</sup>. En contraposición, uno de los estudios con 6 semanas de duración halló cambios no significativos en SJ y CMJ<sup>6</sup>. Similares efectos aparecen en los estudios con 8 semanas de duración, donde no parecen ser significativos los efectos en la función muscular<sup>41,46</sup>. En estudios con una duración mayor, sí aparece una tendencia a incrementar la altura del CMJ tras 11 semanas de WBV<sup>47</sup>, mientras que tras 12 semanas dicho incremento sí fue significativo<sup>10</sup>. La mejora significativa en el CMJ tras 4 y 8 meses de WBV aparece en dos estudios<sup>19,20</sup>.

El objetivo del estudio de Paradisis y Zacharogianis<sup>16</sup> fue investigar el efecto de 6 semanas de WBV en el rendimiento de la fuerza explosiva de los miembros inferiores en 24 jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres;  $21,3 \pm 1,2$  años) que conformaban un grupo experimental que entrenaba con WBV (16-30 min/día; 3 veces a la semana; 2,5 mm; 30 Hz), y un GC, que no participó en ningún entrenamiento. El rendimiento de la fuerza explosiva mostró un aumento (3,3%) de la altura del salto en el CMJ y una mejora del 7,8% en la resistencia a la fuerza explosiva (CMJ 30 seg). En una muestra de edades similares y con 6 semanas más (12 semanas) de duración que en el estudio de Paradisis, Delecluse et al.<sup>10</sup> investigaron el efecto del entrenamiento con WBV (35-40 Hz) sobre la fuerza dinámica de los extensores de rodilla en sesenta y siete mujeres no entrenadas ( $21,4 \pm 1,8$  años). Todos los grupos de entrenamiento realizaron ejercicio 3 veces por semana a excepción del GC. La altura del CMJ incrementó significativamente ( $p < 0,001$ ) después de 12 semanas en el grupo WBV y permaneció sin cambios en el resto de grupos. La mejora inducida en el CMJ (7,6%) en el estudio de Delecluse es comparable con el incremento de un 8,5% en la altura del salto obtenida en el estudio de Torvinen et al. (2002) después de 4 meses de entrenamiento WBV<sup>19</sup>. A su vez, Torvinen et al.<sup>20</sup> observaron mejoras en los resultados obtenidos en la altura del salto vertical (7,8%) tras una

intervención WBV de 8 meses (4 min/día, 3-5 veces por semana, 25-45Hz; 2 mm) en jóvenes y adultos sanos (21 hombres y 35 mujeres; edad, 19-38 años). Sin embargo, Elmantaser et al.<sup>46</sup> tras utilizar dos dispositivos vibratorios diferentes (plataforma Galileo y plataforma Juvent) 3 veces por semana con una muestra de 10 hombres sanos (edad media = 33 años) durante 8 semanas, no encontraron cambios significativos en el rendimiento del salto. Así mismo, Artero et al.<sup>41</sup> utilizaron un programa de WBV combinado con un entrenamiento de pesas con el mismo tiempo de duración (8 semanas), no observando cambios significativos en la fuerza explosiva de los miembros inferiores (CMJ). En la misma línea de resultados Martínez-Pardo et al.<sup>6</sup>, tras seis semanas de entrenamiento WBV, no hallaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas para cualquiera de los saltos realizados (SJ y CMJ) entre el pre-test y post-test. Resultados similares fueron encontrados por De Ruiter et al.<sup>48</sup>, que evaluaron los efectos de 11 semanas de WBV (30 Hz; 8 mm) sobre la altura del CMJ sin obtener mejoras significativas. Rønnestad<sup>18</sup> tampoco encontró diferencias significativas en el rendimiento del CMJ entre los grupos que entrenaron mediante sentadillas y con sentadillas y vibración (40 Hz) durante 5 semanas, pero sí que halló mejoras significativas en el rendimiento del CMJ ( $p < 0,01$ ) en el grupo que entrenó con sentadillas y vibración. Dicho efecto positivo coincide con el estudio de Lamont et al.<sup>15</sup> realizado con 36 hombres (20-30 años), donde se obtuvo una mejora en la altura del depth jump en los grupos que entrenaron mediante sentadillas sin vibración (9,45%) y con vibración (8,49%) tras 6 semanas.

## Velocidad

El entrenamiento de la velocidad es una parte integral del entrenamiento tanto en atletas como en los deportes de campo y de pista. La mayoría de los entrenamientos de velocidad se centran en ejercicios cuya finalidad es el desarrollo de la aceleración y la velocidad máxima de carrera<sup>49-52</sup>.

### *Aceleración*

La capacidad de aceleración se refiere a menudo al rendimiento de carrera sobre distancias cortas como son 5 ó 10 m<sup>53</sup>. El siguiente estudio pretendía determinar si un programa de entrenamiento WBV de 6 semanas incidiría en la cinemática del sprint. Para ello contaron con veinticuatro jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres) que fueron divididos aleatoriamente ( $n = 12$ ) en un grupo experimental y un GC. El grupo WBV realizó un programa de entrenamiento de 6 semanas (3 veces por semana) sobre una plataforma vibratoria (2,5 mm; 30 Hz). El GC no participó en ningún tipo de entrenamiento. La duración del estímulo

**Tabla 1**  
Efectos de WBVT sobre el salto

Autor/es	n	♂	♀	edad (años)	¿Estudio con GC?	Características sujetos	Dosis	Duración	Frecuencia semanal (veces/semana)	Test	Diferencias entre antes y después de WBVT	Conclusión
Artero et al. (2012)	29	25	4	21,8 ± 1,5	no	activos recreacionalmente	20-40 Hz; 2,5-5 mm	8 semanas	2	CMJ	Cambios NS en el CMJ	No mejoró el rendimiento muscular en comparación con un programa de ejercicios idénticos en ausencia de vibraciones
De Ruiter et al. (2003)	20	12	8	19,9 ± 0,6 / 20,7 ± 0,5	si	activos	30 Hz; 8 mm	11 semanas	3	CMJ	Tendencia (P = 0,71) a incrementar la altura del salto	Mejoras NS en la altura del salto
Delecluse et al. (2003)	67	67		21,4 ± 1,8	si	no entrenadas	35-40 Hz; 2,5-5 mm; 2,28-5,09 g	12 semanas	3	CMJ	↑CMJh = 7,6 ± 4,3%	WBVT induce ganancias en la fuerza de los extensores de las piernas
Elmantaser et al. (2012)	10	10		29-49	no	sanos	Plataforma Juvent: 32-37 Hz; 0,085 mm; 0,3 g; Plataforma Galileo: 18-22 Hz; 4 mm; 2,6-3,8g.	8 semanas	3	CMJ	Efectos NS sobre la función muscular	No se hallaron cambios significativos en el rendimiento del salto
Lamont et al. (2008)	36	36		20-30	si	activos	50Hz; 2-6 mm	6 semanas	2	DJ 30cm; SJP	↑DJh = 8,49%; ↑SJP = 7,29%	Combinar el entrenamiento de sentadillas con WBV parece mejorar la potencia del salto
Martínez-Pardo et al. (2013),	38	30	8	21,2 ± 3,3	si	activos recreacionalmente	50 Hz; GL = 2 mm; GH = 4 mm	6 semanas	2	CMJ; SJ	Cambios NS en SJ y CMJ	El entrenamiento con vibraciones, independientemente de la amplitud, no produjo mejoras significativas en el salto vertical.
Paradis y Zacharogiannis (2007)	24	12	12	21,3 ± 1,2	si	sanos	30 Hz; 2,5 mm; 2,28 g	6 semanas	3	CMJ	↑CMJh = 3,3%; ↑CVJT = 7,8%	Cambios significativos en el rendimiento de la fuerza explosiva
Ronnestad (2004)	14	14		21-40	no	activos	40 Hz;	5 semanas	3	CMJ	↑CMJh = 9,1 ± 5,5%	Existe una tendencia de mejora en la F <sub>exp</sub> cuando se entrena sentadillas con vibraciones
Torvinen et al. (2002)	56	21	35	19-38	si	sanos	25-40 Hz; 2 mm; 2,5-6,4 g	4 meses	de 3 a 5	CMJ	A los 2 meses: ↑CMJ = 10,2%. A los 4 meses: ↑CMJ = 8,5%	4 meses de WBVT mejora la potencia del salto en adultos jóvenes
Torvinen et al. (2003)	56	21	35	19-38	si	sanos	25-45 Hz; 2 mm; 2-8 g	8 meses	de 3 a 5	CMJ	↑CMJh = 7,8%	8 meses de WBVT produce un beneficio neto de 7,8% en la altura del salto vertical (p = 0,003).

↑ = incremento; CMJ = Salto con contramovimiento; CVJT = Saltos realizados durante un período de 30 s; DJ30cm = Salto en profundidad desde 30 cm; F<sub>exp</sub> = Fuerza explosiva; g = campo gravitacional de la Tierra, o 9,81m·s<sup>-2</sup>; GC = Grupo Control; GH = entrenamiento con amplitud de 4 mm; GL = entrenamiento con amplitud de 2 mm; h = altura; NS = no significativo; SJ = Squat Jump; p = potencia.

diario fue de 16 minutos, el cual constaba 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. El GC no participó en ningún tipo de entrenamiento. Los tests se desarrollaron antes y después del programa de entrenamiento<sup>16</sup>. El rendimiento de las carreras de velocidad fue valorado durante un sprint de 60 metros midiendo el tiempo y la velocidad de carrera. Los sprints se ejecutaron en una pista de atletismo cubierta con una temperatura constante de 25°C. El tiempo y la velocidad promedio en las distancias de 10 m, 20 m, 40 m, 50 m and 60 m se evaluó utilizando el Sistema de Cronometraje Broker (Brower, USA). Tras 6 semanas de entrenamiento, el grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de sprint en 10 m del 4.3% ( $p < 0,05$ ), mientras que en el GC no se observaron diferencias significativas. El grupo WBV mostró una mejora significativa en el tiempo de sprint en 20 m del 3,0% ( $p < 0,05$ ) mientras que en el GC no ofreció cambios significativos. A su vez, el análisis mostró que la velocidad de carrera entre los 0 y los 10 m se incrementó significativamente en un 4,9% ( $p < 0,05$ ), mientras que no se observaron cambios significativos en el GC. Considerando estos primeros metros de la carrera velocidad como la fase de aceleración, el estudio de Paradisis y Zacharogiannis<sup>16</sup> ofreció mejoras significativas. Similares resultados aparecen en el estudio de Sarshin et al.<sup>54</sup> donde 20 jóvenes (edad:  $21,5 \pm 1,4$  años) divididos aleatoriamente en un grupo experimental (GE) ( $n = 10$ ) y un GC ( $n = 10$ ) se entrenaron durante 4 semanas con WBV (3 sesiones/semana; 30 Hz; 10 mm). Tras evaluar al inicio y al final del periodo experimental, los resultados mostraron una mejora notable y significativa en la aceleración del GE en los 5 m ( $P \leq 0,001$ ) y 10 m ( $P \leq 0,042$ ), sin encontrar diferencias significativas en el GC. En contraposición, Cochrane et al.<sup>55</sup> no hallaron diferencias significativas entre el GC y el GE tras 9 días de entrenamiento WBV (25 Hz; 10 mm) sobre la aceleración de carrera (test de 5, 10, y 20 m) en 24 sujetos sanos (16 hombres y 8 mujeres; edad =  $23,9 \pm 5,9$  años).

### *Velocidad máxima*

El objetivo del estudio de Paradisis y Zacharogiannis<sup>16</sup> fue investigar el efecto de 6 semanas de WBV en el rendimiento de la carrera de velocidad. Veinticuatro jóvenes sanos (12 mujeres y 12 hombres;  $21,3 \pm 1,2$  años) participaron en el estudio. El grupo experimental realizó un programa de 6 semanas de entrenamiento con WBV (16-30 min/día, 3 veces a la semana; 2,5 mm; 30 Hz). El GC no participó en ningún entrenamiento. Las pruebas se realizaron antes y después del periodo de entrenamiento. El test de carrera de velocidad se midió mediante un sprint de 60 m donde se calculó el tiempo de carrera, la velocidad de carrera, la longitud de zancada y la cantidad de zancadas. El rendimiento en 10

m, 20 m, 40 m, 50 m y 60 m mejoró significativamente tras 6 semanas de entrenamiento WBV con una mejora general del 2,7%. La longitud de zancada y la velocidad de carrera mejoraron en un 5,1% y 3,6%, y la cantidad de zancadas disminuyó en un 3,4%. En la misma línea de resultados se encuentra la investigación de Sarshin et al. (2010), donde un grupo experimental (GE) ( $n = 10$ ) y un GC (GC) ( $n = 10$ ) de jóvenes, se sometieron a 4 semanas de entrenamiento WBV (3 sesiones/semana; 30 Hz; 10 mm). Tras comparar las valoraciones iniciales y finales con un test de velocidad, los resultados mostraron una mejora significativa en el GE, mientras que el GC no obtuvo diferencias destacables<sup>54</sup>. Sin embargo, el estudio de Cole y Mahoney (2010) no presentó mejoras significativas en el test de velocidad al que se sometieron 8 estudiantes universitarios (6 hombres y 2 mujeres) antes y después de 5 semanas de entrenamiento vibratorio (2 sesiones/semana; 30-50 Hz; amplitud baja-alta)<sup>56</sup>. En la misma línea de resultados se encuentra el estudio de Hosseini et al.<sup>57</sup>, donde no se observó ninguna diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) entre los datos pre-test y post-test de los 3 grupos que integraban el estudio -- [1.- entrenamiento con vibración ( $n=30$ ); 2.- entrenamiento de fuerza ( $n=30$ ) y 3.- GC ( $n=30$ ) -- cuando se evaluó la velocidad de carrera (60 m) tras 6 semanas de entrenamiento vibratorio (4 sesiones/semana; 30 Hz; 10 mm). Así mismo, Cochrane et al. (2004) llegaron a la conclusión tras 9 días de entrenamiento con WBV (25 Hz; 10 mm), que no había diferencias estadísticamente significativas en los tiempos de los test de velocidad (20 m)<sup>55</sup>.

### **VO<sub>2</sub>**

Algunos estudios analizan el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) para estimar el gasto energético relacionado con el ejercicio. Rittweger et al.<sup>58</sup> mostraron que tras realizar una serie de 3 min sobre una plataforma WBV (26 Hz; 6 mm) aumentaba el VO<sub>2</sub> de 12 sujetos jóvenes y sanos (8 hombres y 4 mujeres) en comparación con el mismo ejercicio sin vibración. En otro estudio posterior, Rittweger et al.<sup>59</sup> demostraron que el VO<sub>2</sub> se incrementaba cuando se aumentaba la frecuencia (18-34 Hz) y la amplitud (2,5 a 7,5 mm) de la vibración. Así mismo, tras la monitorización del VO<sub>2</sub> durante 24 horas tras una sesión de entrenamiento WBV y una segunda sesión sin vibraciones, Hazell & Lemon<sup>60</sup> hallaron un incremento del 23% del VO<sub>2</sub> durante la sesión de entrenamiento WBV (45 Hz; 2 mm).

### **Flexibilidad**

La investigación también se centra en conocer si el entrenamiento vibratorio puede influir en la flexibilidad muscular<sup>61</sup>. La distensión muscular es una de las lesiones más comunes, resultando en una disminución del rango de movimiento (ROM) en la zona afectada. Con la intención de determinar si WBV



tendrían un efecto positivo en la ganancia de flexibilidad (método de contracción-relajación) y de ese modo en el ROM de la musculatura isquiosural, Van den Tillaar et al.<sup>61</sup> realizaron un estudio con 19 estudiantes de la licenciatura de Educación Física (12 mujeres y 7 hombres; edad  $21,5 \pm 2,0$  años). Los sujetos fueron asignados aleatoriamente, a un grupo de entrenamiento WBV o a un GC. El protocolo de calentamiento consistía en 5 minutos de calentamiento general. Posteriormente, los sujetos de ambos grupos entrenaron sistemáticamente 3 veces por semana durante 4 semanas de acuerdo con el método de contracción-relajación, que consistía en realizar 3 veces una contracción isométrica de 5 segundos con cada pierna seguida de 30 segundos de estiramiento estático. Antes de cada ejercicio de estiramiento, el grupo WBV completaba un programa que consistía en WBV de pie en una posición en cuclillas sobre la plataforma con las rodillas flexionadas a  $90^\circ$  (30 segundos a 28 Hz, 10-mm de amplitud, 6 veces por sesión de entrenamiento). Los resultados mostraron que ambos grupos tenían un aumento significativo de flexibilidad isquiosural. Sin embargo, el grupo WBV mostró un aumento significativamente mayor (30%) en ROM que el GC (14%). Estos resultados indican que el entrenamiento WBV puede tener un efecto positivo adicional en la flexibilidad de los isquiotibiales cuando se combina con el método de contracción-relajación. Los autores sugirieron tres mecanismos posibles para la mejora observada: 1. Un aumento del flujo sanguíneo local inmediatamente después del entrenamiento vibratorio. Este aumento de sangre en la zona genera calor y por lo tanto mejora la elasticidad muscular y facilita un posible incremento de ROM durante el ejercicio de estiramiento; 2. Un estiramiento del cuádriceps puede relajar la musculatura isquiosural y de este modo influir de forma positiva en el ejercicio de estiramiento; 3. La vibración inducida reduce el dolor por inhibición, lo que significa que los sujetos podían estirarse más allá de los límites anteriores. En contraposición, el estudio de Cole y Mahoney (2010)<sup>56</sup> no presentó mejoras significativas en la flexibilidad de los isquiotibiales y la espalda baja (sit & reach test) de 8 estudiantes universitarios (6 hombres y 2 mujeres), tras 5 semanas de entrenamiento con vibraciones corporales (2 sesiones / semana; 30-50 Hz; amplitud baja-alta). Sin embargo, el estudio de Issurin et al.<sup>14</sup> realizado con 28 sujetos activos (19-25 años) concluyó tras 3 semanas de entrenamiento, que las vibraciones (44 Hz; 3 mm) aplicadas durante períodos cortos mostraban una mayor ganancia de la flexibilidad cuando se valoraba mediante el test flex and reach.

## Conclusiones

La puesta en práctica de entrenamientos vibratorios con sujetos jóvenes activos no tiene un gran historial hasta la fecha. Sin embargo, esta modalidad de en-

trenamiento está atrayendo cada vez más la atención de los investigadores. Se utilizan principalmente dos variedades de ejercicios: 1) manteniendo una posición estática sobre la plataforma, y 2) realizar algún movimiento sobre la superficie que vibra (con los miembros inferiores o superiores; con el peso del cuerpo o añadiendo una carga externa). El primer tipo de ejercicio no exige un esfuerzo muscular intenso. Sin embargo, el segundo tipo de ejercicio puede requerir de un esfuerzo físico mayor, dependiendo de la carga externa, el tipo de movimiento y la duración del ejercicio.

El conocimiento que se tiene sobre los efectos de las vibraciones mecánicas en sujetos jóvenes activos no es completo. Por ello, son necesarias más investigaciones que faciliten un protocolo válido (frecuencia, amplitud, duración y posición corporal) para mejorar el rendimiento de este tipo de población.

## Efectos sobre la composición corporal

Pocos son los estudios realizados y contradictorios son sus resultados en adultos jóvenes y saludables. Por ello, son necesarios realizar más estudios que muestren con claridad cuáles son las recomendaciones clínicas que se pueden prescribir para que el ejercicio vibratorio sea beneficioso.

## Efectos sobre la fuerza

Como muestra esta revisión, el entrenamiento vibratorio puede ocasionar un efecto crónico positivo sobre la fuerza y la potencia después de unas semanas o meses. Dicho entrenamiento vibratorio en ocasiones se combina con el entrenamiento de pesas. Este efecto facilitador está causado por los protocolos de entrenamiento utilizados tanto en las características de la vibración (frecuencia y amplitud) como en el protocolo del ejercicio (tipo de entrenamiento, intensidad, volumen, recuperación entre series y entrenamientos). Por otro lado, el entrenamiento con vibraciones, independientemente de la amplitud produjo mejoras significativas en la fuerza isocinética. Estos estudios indican que el entrenamiento vibratorio puede inducir a adaptaciones crónicas si se proporciona una intensidad y un volumen suficiente durante el ejercicio.

## Efectos sobre la potencia

Cuando se valora la potencia de los miembros inferiores en sujetos jóvenes y sanos, sí aparece una tendencia positiva en algunos estudios, así como, una mejora significativa en cuanto a la altura del salto valorado (SJ y CMJ) en otros. Dichas mejoras, en algunos casos, son significativas cuando el entrenamiento



mediante vibraciones tiene una duración superior a 6 semanas.

### Efectos sobre la velocidad

Parece ser que un entrenamiento WBV de 6 semanas produce beneficios en las características cinemáticas del rendimiento en la carrera de velocidad en sujetos que no compiten en dicha especialidad. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para aclarar los efectos del entrenamiento WBV en características específicas de las carreras de velocidad como son, el tiempo de contacto, la fase excéntrica y concéntrica de tiempo de contacto y el tiempo de vuelo.

### Efectos sobre el VO<sub>2</sub>

Queda patente que a través del entrenamiento WBV con frecuencias que oscilan entre 18 y 45 Hz y amplitudes que oscilan entre 2 y 7,5 mm se incrementa el VO<sub>2</sub>. De forma que, éste incremento incide en un aumento del metabolismo energético.

### Efectos sobre la flexibilidad

Parece que el entrenamiento WBV puede tener un efecto positivo adicional en la flexibilidad de los isquiotibiales cuando se combina con el método de contracción-relajación.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer al “Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo de la Universidad Católica San Antonio de Murcia. CIARD-UCAM” (Murcia, España) por su colaboración a lo largo de todo la revisión bibliográfica. No se recibió financiación alguna para este artículo.

### Referencias

1. Kholvadia A, Baard M. Whole body vibration improves body mass, flexibility and strength in priously sedentary adults. *SA-JSM*. 2012; 24(2): 60-64.
2. Cochrane DJ, Sartor F, Winwood K, et al. A comparison of the physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008; 89(5): 815-821.
3. Dolny DG, Reyes GF. Whole body vibration exercise: training and benefits. *Curr Sports Med Rep*. May-Jun 2008; 7(3): 152-157.
4. Rehn B, Lidstrom J, Skoglund J, Lindstrom B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*. Feb 2007; 17(1): 2-11.
5. Cardinale M, Pope MH. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiol Hung*. 2003; 90(3): 195-206.

6. Martinez-Pardo E, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effects of different amplitudes (high vs. low) of whole-body vibration training in active adults. *J Strength Cond Res*. Jul 2013; 27(7): 1798-1806.
7. Gilsanz V, Wren TA, Sanchez M, et al. Low-level, high-frequency mechanical signals enhance musculoskeletal development of young women with low BMD. *J Bone Miner Res*. Sep 2006; 21(9): 1464-1474.
8. Lamont HS, Cramer JT, Bembem DA, et al. Effects of a 6-week periodized squat training with or without whole-body vibration upon short-term adaptations in squat strength and body composition. *J Strength Cond Res*. Jul 2011; 25(7): 1839-1848.
9. Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol*. Apr 2000; 81(6): 449-454.
10. Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. Jun 2003; 35(6): 1033-1041.
11. Jacobs PL, Burns P. Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res*. Jan 2009; 23(1): 51-57.
12. Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med*. Jan 2004; 25(1): 1-5.
13. Spiliopoulou SI, Amiridis IG, Tsiganos G, et al. Vibration effects on static balance and strength. *Int J Sports Med*. Sep 2010; 31(9): 610-616.
14. Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*. Dec 1994; 12(6): 561-566.
15. Lamont HS, Cramer JT, Bembem DA, et al. Effects of 6 weeks of periodized squat training with or without whole-body vibration on short-term adaptations in jump performance within recreationally resistance trained men. *J Strength Cond Res*. Nov 2008; 22(6): 1882-1893.
16. Paradisis G, Zacharogiannis E. Effects of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance. *Journal of Sport Science and Medicine*. 2007; 6: 44-49.
17. Poston B, Holcomb WR, Guadagnoli MA, Linn LL. The acute effects of mechanical vibration on power output in the bench press. *J Strength Cond Res*. Feb 2007; 21(1): 199-203.
18. Ronnestad BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res*. Nov 2004; 18(4): 839-845.
19. Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, et al. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Sep 2002; 34(9): 1523-1528.
20. Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, et al. Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *J Bone Miner Res*. May 2003; 18(5): 876-884.
21. Viru A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med*. Apr 1992; 13(3): 201-209.
22. Cardinale M, Erskine JA. Vibration training in elite sport: effective training solution or just another fad? *Int J Sports Physiol Perform*. Jun 2008; 3(2): 232-239.
23. Kvorning T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol*. Mar 2006; 96(5): 615-625.
24. Goto K, Takamatsu K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jpn J Physiol*. Oct 2005; 55(5): 279-284.
25. Wilcock IM, Whatman C, Harris N, Keogh JW. Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res*. Mar 2009; 23(2): 593-603.
26. Osawa Y, Oguma Y. Effects of resistance training with whole-body vibration on muscle fitness in untrained adults. *Scand J Med Sci Sports*. Feb 2013; 23(1): 84-95.

27. Carter DR, Caler WE, Spengler DM, Frankel VH. Fatigue behavior of adult cortical bone: the influence of mean strain and strain range. *Acta orthopaedica Scandinavica*. Oct 1981; 52(5): 481-490.
28. Milanese C, Piscitelli F, Simoni C, Zancanaro C. Mild chronic whole body vibration does not affect bone mineral mass or density in young females. *JHSE*. 2011; 6(2): 474-479.
29. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*. Feb 2009; 41(2): 459-471.
30. Cristi-Montero C, Cuevas MJ, Collado PS. Whole-body vibration training as complement to programs aimed at weight loss. *Nutr Hosp*. Sep-Oct 2013; 28(5): 1365-1371.
31. Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, et al. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know. *Ageing Res Rev*. Dec 2008; 7(4): 319-329.
32. Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev*. Jan 2003; 31(1): 3-7.
33. Hazell TJ, Jakobi JM, Kenno KA. The effects of whole-body vibration on upper- and lower-body EMG during static and dynamic contractions. *Appl Physiol Nutr Metab*. Dec 2007; 32(6): 1156-1163.
34. Roelants M, Verschuere SM, Delecluse C, et al. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res*. Feb 2006; 20(1): 124-129.
35. Cronin JB, McNair PJ, Marshall RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res*. Feb 2003; 17(1): 148-155.
36. Jidovtseff B, Croisier J, Lhermerout C, et al. The concept of iso-inertial assessment: reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinetic Exerc Sci*. 2006; 14: 53-62.
37. Jidovtseff B, Croisier J, Scimar N, et al. The ability of iso-inertial assessment to monitor specific training effect. *J Sports Med Phys Fitness*. 2007; 47: 55-64.
38. Murphy AJ, Wilson GJ. The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of iso-inertial and isokinetic tests. *J Sports Med Phys Fitness*. Sep 1996; 36(3): 169-177.
39. Abernethy PJ, Jurimae J. Cross-sectional and longitudinal uses of iso-inertial, isometric, and isokinetic dynamometry. *Med Sci Sports Exerc*. Sep 1996; 28(9): 1180-1187.
40. Esmailzadeh S, Akpinar M, Polat S, et al. Effects of 8-week whole-body vibration training on knee extensors strength in healthy young volunteers. *Osteoarthritis Cartilage*. 2015; 23:A392.
41. Artero EG, Espada-Fuentes JC, Arguelles-Cienfuegos J, et al. Effects of whole-body vibration and resistance training on knee extensors muscular performance. *Eur J Appl Physiol*. Apr 2012; 112(4): 1371-1378.
42. Marin PJ, Herrero AJ, Sainz N, et al. Effects of different magnitudes of whole-body vibration on arm muscular performance. *J Strength Cond Res*. Sep 2010; 24(9): 2506-2511.
43. Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. Mar 1999; 79(4): 306-311.
44. Cochrane DJ, Hawke EJ. Effects of acute upper-body vibration on strength and power variables in climbers. *J Strength Cond Res*. May 2007; 21(2): 527-531.
45. Eider J, Muishchenko V, Tomiak T, et al. Effects of 8-week whole-body vibration training on knee extensors strength in healthy young volunteers. *Pol J Environ Stud*. 2011; 20(6): 1453-1464.
46. Elmantaser M, McMillan M, Smith K, et al. A comparison of the effect of two types of vibration exercise on the endocrine and musculoskeletal system. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. Sep 2012; 12(3): 144-154.
47. Rijkkelijkhuizen JM, de Ruiter CJ, Huijting PA, de Haan A. Low-frequency fatigue is fibre type related and most pronounced after eccentric activity in rat medial gastrocnemius muscle. *Pflugers Arch*. Nov 2003; 447(2): 239-246.
48. de Ruiter CJ, Van Raak SM, Schilperoort JV, et al. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol*. Nov 2003; 90(5-6): 595-600.
49. Blazevich T. Resistance training for sprinters (part 1): Theoretical considerations. *Strength Cond Coach*. 1997; 4(3): 1371-1378.
50. Blazevich T. Resistance training for sprinters (part 2): exercise suggestions. *Strength Cond Coach*. 2007; 5(1): 5-10.
51. Sheppard J. Improving the sprint start with strength and conditioning exercise. *Modern Athlete & Coach*. 2004; 42(4): 9-13.
52. Young WB, Benton D, Duthie G, Pryor J. Resistance Training for Short Sprints and Maximum-speed Sprints. *Strength Conditioning J*. 2001; 23(2): 7-13.
53. Murphy AJ, Lockie RG, Coutts AJ. Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *Journal of sports science & medicine*. Dec 2003; 2(4): 144-150.
54. Sarshin A, Mohammadi S, Khadam AR, Sarshin K. The effect of whole body vibration training on explosive power and speed in male non athlete students. *Phy Ed Sport*. 2010; 8(1): 81-88.
55. Cochrane DJ, Legg SJ, Hooker MJ. The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *J Strength Cond Res*. Nov 2004; 18(4): 828-832.
56. Cole K, Mahoney S. Effect of five weeks of whole body vibration training on speed, power, and flexibility. *Clinical Kinesiology*. 2010; 64(1): 1-7.
57. Hosseini SS, Rostamkhany H, Hashemi M, Jalili MA. A Comparison of the Effect of Whole-Body Vibration and Strength Training On Certain Physical Fitness Factors and Dynamic Balance in Students. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2012; 11(3): 336-341.
58. Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D. Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol*. Dec 2001; 86(2): 169-173.
59. Rittweger J, Ehrig J, Just K, et al. Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med*. Aug 2002; 23(6): 428-432.
60. Hazell TJ, Lemon PW. Synchronous whole-body vibration increases VO(2) during and following acute exercise. *Eur J Appl Physiol*. Feb 2012; 112(2): 413-420.
61. van den Tillaar R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *J Strength Cond Res*. Feb 2006; 20(1): 192-196.

**ART. 2**

MARTÍNEZ-PARDO E E, ROMERO S, ALCARAZ PE. EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING IN ACTIVE ADULTS. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH. 2013; 27(7):1798-1806.

---

# EFFECTS OF DIFFERENT AMPLITUDES (HIGH VS. LOW) OF WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING IN ACTIVE ADULTS

ESMERALDO MARTÍNEZ-PARDO, SALVADOR ROMERO-ARENAS, AND PEDRO E. ALCARAZ

UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of San Antonio, Guadalupe, Murcia, Spain

## ABSTRACT

Martínez-Pardo, E, Romero-Arenas, S, and Alcaraz, PE. Effects of different amplitudes (high vs. low) of whole-body vibration training in active adults. *J Strength Cond Res* 27(7): 1798–1806, 2013—The aim of this study was to evaluate the effects of two different amplitudes of whole-body vibrations on the development of strength, mechanical power of the lower limb, and body composition. Thirty-eight recreationally active participants took part in the study. Participants were divided in two experimental groups (low amplitude group [GL] = 2 mm; high amplitude group [GH] = 4 mm) and a control group. The experimental groups performed an incremental vibratory training, 2 days per week during 6 weeks. The frequency of vibration (50 Hz), time of work (60 seconds), and time of rest (60 seconds) were constant for GL and GH groups. All the participants were on the platform in a static semi-squat position. Maximum isokinetic strength, body composition, and performance in vertical jumps (squat and countermovement jumps) were evaluated at the beginning and at the end of the training cycle. A significant increase of isokinetic strength was observed in GL and GH at angular velocities of  $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $180^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $270^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ . Total lean mass was significantly increased in GH ( $0.9 \pm 1.0$  kg). There were no significant changes in the total fat mass in any of the groups. Significant changes were not observed in different variables (height, peak power, and rate of force development) derived from the vertical jumps for any of the groups submitted to study. The vibration training, whatever the amplitude, produced significant improvements in isokinetic strength. However, high vibration amplitude training presents better adaptations for hypertrophy than the training with low vibration amplitude. In this sense, GH would be a better training if the

practitioners want to develop both strength and hypertrophy of the lower limbs.

**KEY WORDS** vibration platform, strength, power, body composition, DEXA

## INTRODUCTION

Different physical attributes such as strength and power are important elements in many sports. Training methods that enhance these qualities are determining for the development and progression of the athlete. Several methods have been used to improve the physical condition of athletes in both the gym and in the field. However, a new addition to training has become popular both in sports and health exercises. This new trend in training acts through whole-body vibrations (WBV). The WBV has been introduced in health and physical activity as an alternative method and a measure to reduce body fat and to increase muscle mass and strength (37).

Several scientific studies explain the effects of vibration training focusing on strength and power gains that occurs with this type of training resulting mainly from neuromuscular adaptations (38,44). Some studies conducted in the field of WBV, relating to changes on the cardiovascular system or the  $\dot{V}O_2$  kinetic (36), have shown hormone increases after application of WBV (3) and have even found potential for applications of WBV in the prevention of osteoporosis (41).

The reduction of body fat and increase in muscle mass and muscle strength are the most popular aims at the beginning of an exercise program (37). Different authors (14,22,27,37,43) assert that WBV increases the dynamic strength of the muscles of the lower limbs. Similar results (14,27) were found regarding isokinetic strength after vibration training for several weeks. Apparently, this increased strength could be induced by the magnitude of vibration (38). This high magnitude might produce neuromuscular adaptations resulting in enhanced neuromuscular activation (14,33). In fact, vibration elicits a response called “tonic vibration reflex,” including activation of muscle spindles, mediation of the neural signals by Ia afferents, and activation of muscle fibers via large  $\alpha$ -motoneurons (19). The tonic vibration reflex is also able to cause an increase in

---

Address correspondence to Pedro E. Alcaraz, palcaraz@ucam.edu.  
27(7)/1798–1806

*Journal of Strength and Conditioning Research*  
© 2013 National Strength and Conditioning Association

recruitment of the motor units through activation of muscle spindles and polysynaptic pathways (11). Furthermore, when the long-term effects of WBV were evaluated on vertical jumps, improvements in the performance of the squat jump (SJ) (9,17) and countermovement jump (CMJ) (13,14,17,37,39) were found.

Regarding body composition, it is largely unknown what effects the use of vibrating platforms, with the purpose of altering body composition in humans, produces. There was a reciprocal increase in lean mass in untrained young women after 24 weeks of WBV; however, there was no change in total fat (37). Moreover, the different studies found on body composition have sparked some controversy (35,37,42,45). For this reason, more research is needed regarding this concern.

Specifically, the vibration exercise is based on controlled oscillations, where the vibration is transferred from a device to the human body. The effects of WBV are strongly dependent on magnitude of the vibration parameters (31), namely, vibration frequency, amplitude, duration, and mode. The frequency is measured in the unit of hertz (Hz) and shows oscillations ranging from 15 to 60 Hz (7). Peak-to-peak amplitude or displacement is defined as the difference between the maximum and minimum values of periodic oscillation (amplitude is defined as half the difference between the maximum values of the oscillation). However, the selective effects of different vibration amplitude parameters are not clearly understood (24). A variety of amplitudes are used in different studies, but not all of them were tested within the same protocols. Marin et al. (29) analyzed the effects of different vibration magnitudes via feet during a set of elbow-extension exercise suggesting that greater amplitudes may be used during vibration training to elicit a greater neuromuscular stimulus. In another cross-sectional study, Marin et al. (28) found that the magnitude of the WBV effect was clearly higher with the amplitude high mode (3.1 mm) than low mode (1.0 mm) on the surface electromyography (sEMG) analysis of all the muscles, and it showed conclusive changes with the different amplitudes of high vs. low treatment (28). Most studies included in the Rehn et al. (34) review show the amplitudes used for long-term exercise varied from 1.7 to 5.0 mm. This rather wide variety in vibration parameters between studies could explain the various outcomes found.

It is clear that the magnitude of the amplitude produces different neuromuscular adaptations. However, an evaluation of the general trends in treatment effects, when different amplitudes of vibration exercises are employed, is much needed. Therefore, the aim of this research was to study the effects, when using WBV, of two different amplitudes (2 and 4 mm) on the development of strength, mechanical power of the muscles of the lower limbs, and changes in body composition in active adults. Therefore, the following hypothesis was established: the WBV training program, using a high amplitude vibration, produces an increase in

mechanical power, strength, and muscle mass in young healthy adults, whereas the low amplitude does not.

## METHODS

### Experimental Approach to the Problem

A quasi-experimental, pretest/posttest randomized group design using two training groups and a control group (CG) was employed to examine the short-term effects of high amplitude vs. low amplitude when using WBV on the development of the lower-body strength, mechanical power, and body composition. After pretest, subjects were randomly assigned to one of two treatment conditions or the CG: (a) WBV training with high amplitudes (GH, 4 mm), (b) WBV training with low amplitudes (GL, 2 mm), (c) the no training CG. Subjects completed 1 week of familiarization WBV training before an 8-week specific training phase. During the 1-week familiarization phase, subjects performed low load magnitude WBV training; additionally, in this phase, participants were familiarized with the measurement protocols (vertical jump and isokinetic tests).

### Subjects

Thirty-eight recreationally active subjects (30 men and 8 women;  $21.2 \pm 3.3$  years old;  $173.4 \pm 7.6$  cm;  $69.3 \pm 9.8$  kg) took part in the study. Recreationally active was classified as engaging in low-to-moderate intensity physical activity no more than 3 times per week for approximately 20–30 minutes. Participants were divided in 2 experimental groups and a CG according to the habitual physical activity level measured with the GPAQ questionnaire (2), sex, and isokinetic strength of knee extensor muscles (Table 1). The subjects read and signed statements of informed consent before participation in the study. Approval for the study was given by the Human Subjects Ethics Committee of the San Antonio Catholic University of Murcia, Spain. Subjects were instructed to maintain their accustomed dietary and physical activity habits throughout the course of the study. To verify compliance with these instructions, dietary and activity habits were assessed on 2 occasions (1 and 6 weeks). An experienced instructor obtained dietary and physical activity records from the subjects without warning. On all occasions, dietary logs were recorded for 3 consecutive days, including 1 weekend day. The 3-day dietary records were analyzed for total caloric intake and for carbohydrate, fat, and protein composition using commercially available computer software (DietSource 1.2; Novartis, Barcelona, Spain). To monitor physical activity, the subjects also completed a GPAQ questionnaire.

### Procedures

The initial and final assessment was carried out at the beginning and end of the experimental phase. The test was performed over the duration of 1 week. Participants performed the initial and final test in the same sequence and at the same time of the day (Figure 1). Two weeks before the initial data collection, 2 familiarization sessions were

**TABLE 1.** Characteristics of the participants.\*

	Age (y)	Height (cm)	Body mass (kg)	Gender	TorqF 270°·s <sup>-1</sup> (N·m)
GL (n = 11)	20.5 ± 1.0	172.9 ± 5.7	69.9 ± 6.4	M = 9; F = 2	121.5 ± 37.8
GH (n = 16)	21.5 ± 5.2	175.1 ± 8.1	71.2 ± 12.6	M = 12; F = 4	124.8 ± 37.8
CG (n = 11)	21.5 ± 3.8	172.3 ± 8.9	66.8 ± 10.5	M = 9; F = 2	132.0 ± 33.3
Total (n = 38)	21.2 ± 3.3	173.4 ± 7.6	69.3 ± 9.8	M = 30; F = 8	126.1 ± 36.3

\*TorqF = peak torque in knee extension; M = male; F = female; GL = group of low amplitude (2 mm); GH = group of high amplitude (4 mm); CG = control group.

performed for the jump tests. All tests involving muscle actions were performed with a rest of 48 hours between each measurement session, with the aim of ensuring that the participants were not suffering from fatigue when they had to perform it.

### Jump Procedures

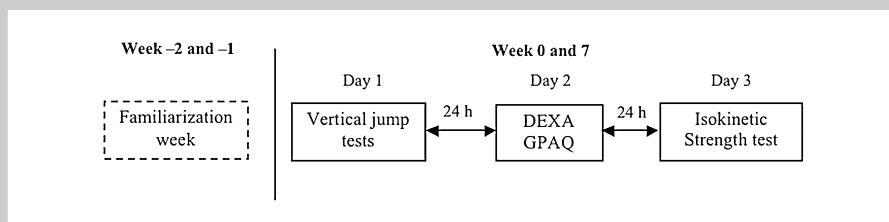
Before performing the CMJ and SJ tests, subjects completed a warm-up consisting of 10 minutes of self-paced cycle ergometry followed by 5 minutes of prescribed dynamic stretching. Once positioned on the force platform, subjects performed 1 submaximal practice jump for both the CMJ and SJ. Each subject then performed 4 jumps (2 CMJs and 2 SJs) beginning with either CMJ or SJ, then alternating between jumps with 3 minutes of rest between each jump. Displacement for each CMJ and SJ was measured with an extensometric force platform (Dinascan/IBV, Valencia, Spain), which sampled at a rate of 1,000 Hz, and has been described previously (23). To establish standing reach height, each subject stood side on to the jumping device while keeping the heels on the floor and reached upward as high as possible. Each subject began the CMJ in the standing position, dropped into the squat position, and then immediately jumped vertically. Each subject individually determined the depth of knee flexion used during each CMJ. Takeoff from 2 feet was strictly monitored with no preliminary steps or shuffling permitted during the eccentric or transition phases of the CMJ technique. The SJ technique required the subject to descend to a position of 90° knee flexion, determined using a hand-held goniometer, that positioned the upper

thigh parallel with the ground. Subjects were instructed to hold this position for 3 seconds, after which the subject jumped for maximum height without previous counter-movement. All SJ and CMJ were executed with both hands on the hips throughout the full range of take off, flight, and landing movements. The best result from each of the CMJ and SJ protocols was used for analysis. The vertical force-time data were filtered using a fourth-order Butterworth low-pass filter with a cutoff frequency of 20 Hz.

*Calculation of Force Variables.* The force-time data examined during the CMJs and SJs included jump height, maximum mechanical power (Pmax), and the maximum rate of force development (RFDmax). Jump heights (*h*) were calculated from the take off vertical velocity (*v<sup>o</sup>*) using the following equation:  $h = v^o \cdot 2g - 1$ . Absolute and relative mechanical power was calculated as follows: vertical force × instantaneous vertical velocity of the system's center of mass (8), and RFDmax was calculated as the greatest rise in force during 4-millisecond periods from the start of the jump till the end of the concentric phase (20,48) in the SJ and from the start of the CMJ till the highest value of force. The instantaneous vertical velocity was calculated from the integration of the force-time trace. A jump was deemed to have started when the vertical force exceeded (SJ) or decreased (CMJ) 10 N more than the mass of the subject.

### Isokinetic Strength

An isokinetic dynamometer (Biodex 6000, New York, NY, USA) was used for the isokinetic strength tests. Each subject underwent a thorough and standardized familiarization session, which included all tests, at least 1 week before being tested. The knee extensors and flexors in the dominant leg were tested concentrically. All movements were tested at 60°·s<sup>-1</sup>, 180°·s<sup>-1</sup>, and 270°·s<sup>-1</sup> angular velocities. Each subject was measured in a standing position and was stabilized with Velcro straps.



**Figure 1.** Temporal distribution of all tests. DEXA = densitometry; GPAQ = questionnaire to assess physical activity level.

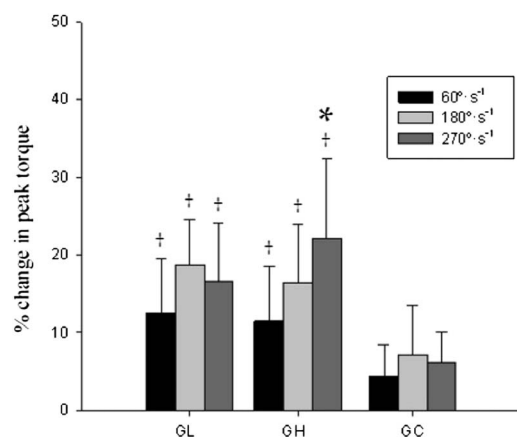
**TABLE 2.** Weekly distribution of the parameters of vibration training.\*

	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6
GL (2 mm)	8 × 60 s	9 × 60 s	10 × 60 s	11 × 60 s	12 × 60 s	13 × 60 s
GH (4 mm)	8 × 60 s	9 × 60 s	10 × 60 s	11 × 60 s	12 × 60 s	13 × 60 s
CG	No vibration training					

\*GL = low amplitude group; GH = high amplitude group; CG = control group.

The axis of rotation of the dynamometer lever arm was aligned with the anatomical axis of the knee, as described in the Biodex 6000 test manual. Both the “dynamic ramping” (limb acceleration and deceleration) and “gravity correction” features were used in all tests to avoid previously documented problems, such as torque overshoot and gravity effects. The dynamometer was calibrated, using the protocol from the Biodex 6000 manual, at the beginning of each test session.

At each test velocity, the subject performed between 3 and 5 submaximal warm-up trials followed by 3 maximal warm-up trials. The test started 1 minute after the 6 warm-up trials had been completed. A recovery period of 90 seconds (4) between test velocities was used. After the warm-up trials, 3 maximal trials were performed for each test. The trial in each test that had the greatest peak torque was taken as the measure of maximal strength. Results were normalized, expressed relative to body mass ( $\text{kgf} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ).



**Figure 2.** Percentage change in isokinetic peak torque for knee extensors at angular velocities of  $60^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ , and  $270^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ . Dagger indicates statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest and asterisk indicates statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) with the control group. GL = low amplitude group; GH = high amplitude group; CG = control group.

**Body Composition**

Total and regional bone masses and fat and lean (body mass – [fat mass + bone mass]) masses were assessed by DEXA (XR-46; Norland, Corp., Fort Atkinson, WI, USA). The DEXA scanner was calibrated using a lumbar spine phantom as recommended by the manufacturer. Subjects were scanned in the supine position. Lean

mass (in grams), fat mass (in grams), and total area (in square centimeters) were calculated from total and regional analysis of the whole-body scan. Lean mass of the limbs was assumed to be equivalent to the muscle mass. The test-retest reliability (ICC) for this device was very high ( $R^2 = 0.999$ ;  $p = 0.001$ ) in both cases.

**Vibration Training Protocol**

The vibration stimulus consisted of uniform vertical oscillations (Power Plate Next Generation; Power Plate North America, Northbrook, IL, USA). Subjects stood on the platform holding an isometric quarter squat position with the feet shoulder-width apart. After the familiarization week, subjects trained 2 days per week for 6 weeks (with the exception of the CG) using a vibrating incremental training program that began with 8 sets per session and increasing by 1 set weekly maintaining a series of parameters: vibration frequency (50 Hz), working time (60 seconds), and recovery time (60 seconds) constant for the 2 groups (GL = 2 mm and GH = 4 mm) (Table 2).

**TABLE 3.** Body composition variables (mean ± SD).\*

	FM (%)	FFM (kg)	FM (kg)
<b>GL</b>			
Pre	21.3 ± 8.7	52.0 ± 8.0	14.8 ± 5.8
Post	21.4 ± 8.3	52.3 ± 8.0	14.9 ± 5.5
Δ	0.1 ± 2.0	0.3 ± 1.0†	0.1 ± 1.4
<b>GH</b>			
Pre	18.3 ± 6.8	54.7 ± 10.8	13.1 ± 5.9
Post	17.6 ± 7.7	55.6 ± 10.9‡	12.6 ± 6.9
Δ	-0.8 ± 1.7	0.9 ± 1.0	-0.5 ± 1.4
<b>CG</b>			
Pre	20.6 ± 7.6	49.4 ± 10.8	13.1 ± 4.1
Post	21.1 ± 7.3	49.7 ± 10.7	13.8 ± 3.9
Δ	0.6 ± 1.9	0.4 ± 0.7†	0.7 ± 1.4

\*FM = fat mass; FFM = fat-free mass; GL = low amplitude group; GH = high amplitude group; CG = control group; Δ = difference.  
 †Statistically significant difference ( $p \leq 0.05$ ) with the GH group.  
 ‡Statistically significant difference ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest.

### Statistical Analyses

Data were registered and stored using the spreadsheet Excel 2003 (Microsoft, Corp., Redmond, WA, USA). Statistical analysis of data was performed with SPSS 19.0 (SPSS 19.0, Chicago, IL, USA) in the Windows environment. A descriptive analysis was performed to detail and analyze the characteristics of the sample participating in the study.

For the inferential analysis, we performed the Kolmogorov-Smirnov test to establish the normality of sampling distribution and analysis of runs to observe the independence of observations. To determine the effect of independent variables on the dependent variable, repeated-measures analysis of variance (ANOVA) measurements were carried out for the entire sample. If there were statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for the time factor, ANOVA was performed by repeated measurements of each group to differentiate between pretest and posttest. If there were statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for time  $\times$  group factor, ANOVA and Tukey post hoc test were performed, to see if there were significant differences between groups.

### RESULTS

This study was designed to investigate the effects of 6 week of training with body vibrations modifying amplitude. Below the results are shown for isokinetic strength, vertical jump, and body composition variables.

#### Isokinetic Strength

Figure 2 presents relative gains in the peak torque between the pretest and posttest for each group: GL ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 12.51 \pm 14.13\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 18.73 \pm 11.67\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 16.63 \pm 14.90\%$ ), GH ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11.49 \pm 13.98\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 16.50 \pm 14.74\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 22.14 \pm 20.34\%$ ), and CG ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 4.38 \pm 8.15\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 17.07 \pm 12.69\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 6.24 \pm 7.61\%$ ). We also observed significant differ-

**TABLE 4.** Flying height in SJ and CMJ, and relative to body mass (mean  $\pm$  SD).\*

	SJ <sub>h</sub> (cm)	CMJ <sub>h</sub> (cm)	SJ <sub>h/bm</sub> (cm $\cdot$ kgf <sup>-1</sup> )	CMJ <sub>h/bm</sub> (cm $\cdot$ kgf <sup>-1</sup> )
<b>GL</b>				
Pre	29.0 $\pm$ 3.6	30.9 $\pm$ 5.4	0.4 $\pm$ 0.1	0.4 $\pm$ 0.1
Post	28.0 $\pm$ 5.0	31.5 $\pm$ 6.1	0.4 $\pm$ 0.1	0.4 $\pm$ 0.1
$\Delta$	-1.0 $\pm$ 4.5	0.6 $\pm$ 2.7	0.0 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.7
<b>GH</b>				
Pre	28.7 $\pm$ 5.0	31.7 $\pm$ 5.3	0.4 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.1
Post	27.3 $\pm$ 4.7	31.5 $\pm$ 5.0	0.4 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.1
$\Delta$	-1.4 $\pm$ 3.6	-0.2 $\pm$ 3.1	0.0 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0
<b>CG</b>				
Pre	27.4 $\pm$ 3.9	30.3 $\pm$ 4.1	0.4 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.1
Post	27.5 $\pm$ 6.0	30.1 $\pm$ 4.5	0.4 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.1
$\Delta$	0.1 $\pm$ 2.8	-0.2 $\pm$ 2.1	0.0 $\pm$ 0.1	0.0 $\pm$ 0.0

\*SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump; h = vertical height; bm = body mass; GL = low amplitude group; GH = high amplitude group; CG = control group;  $\Delta$  = difference.

ences when comparing the effect of time on the experimental groups with the CG. Significant differences were found between GH and CG ( $p = 0.041$ ) at angular velocities of  $270^\circ \cdot s^{-1}$ .

#### Body Composition

Table 3 shows the results of body composition variables for the experimental groups and the CG in the pretest and posttest and changes (mean  $\pm$  SD). Statistically significant

**TABLE 5.** Peak mechanical power in SJ and CMJ, absolute and relative to body weight (mean  $\pm$  SD).\*

	SJ <sub>Pmax</sub> (W)	CMJ <sub>Pmax</sub> (W)	SJ <sub>Pmax/bm</sub> (W $\cdot$ kgf <sup>-1</sup> )	CMJ <sub>Pmax/bm</sub> (W $\cdot$ kgf <sup>-1</sup> )
<b>GL</b>				
Pre	3,011 $\pm$ 545	3,145 $\pm$ 654	46.8 $\pm$ 6.1	44.4 $\pm$ 7.8
	3,446 $\pm$ 735	3,216 $\pm$ 690	45.4 $\pm$ 9.2	45.4 $\pm$ 8.0
Post				
$\Delta$	135.1 $\pm$ 339.5	71.6 $\pm$ 147.9	-1.4 $\pm$ 5.7	1.0 $\pm$ 2.2
<b>GH</b>				
Pre	3,518 $\pm$ 868	3,177 $\pm$ 736	48.9 $\pm$ 6.2	44.4 $\pm$ 6.2
	3,382 $\pm$ 847	3,155 $\pm$ 765	48.1 $\pm$ 15.4	43.7 $\pm$ 5.7
Post				
$\Delta$	-136.2 $\pm$ 379.9	-21.1 $\pm$ 225.7	-0.8 $\pm$ 13.0	-0.7 $\pm$ 3.3
<b>CG</b>				
Pre	3,207 $\pm$ 743	2,928 $\pm$ 610	47.8 $\pm$ 6.2	43.9 $\pm$ 4.4
	3,373 $\pm$ 743	2,946 $\pm$ 609	52.2 $\pm$ 11.4	43.8 $\pm$ 3.9
Post				
$\Delta$	165.9 $\pm$ 290.4	18.2 $\pm$ 107.9	4.4 $\pm$ 9.7	-0.1 $\pm$ 2.3

\*SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump; Pmax = maximum instantaneous power; bm = body weight; GL = low amplitude group; GH = high amplitude group; CG = control group;  $\Delta$  = difference.



differences were observed ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest on the lean mass for GH ( $p = 0.005$ ). Furthermore, these differences were significantly different than those observed in both the low amplitude and in the CG.

### Vertical Jump Performance

Table 4 shows the results of the height of the SJ and the CMJ jumps, the results of the height of these vertical jumps relative to body mass for the experimental groups, and CG in the pretest and posttest and the changes (mean  $\pm$  SD). After a repeated-measures ANOVA, no statistically significant change were found ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest of any of the groups under study: SJ<sub>h</sub> ( $p = 0.112$ ), CMJ<sub>h</sub> ( $p = 0.646$ ), SJ<sub>h</sub>·Bm<sup>-1</sup> ( $p = 0.473$ ), CMJ<sub>h</sub>·Bm<sup>-1</sup> ( $p = 0.254$ ).

The results of peak mechanical power when performing a vertical jump (SJ and CMJ) and peak mechanical power of these vertical jumps on the weight of each participant can be seen in Table 5. By applying a repeated-measures ANOVA, no statistically significant changes were observed ( $p \leq 0.05$ ) in peak power developed during the SJ ( $p = 0.689$ ) and during the CMJ ( $p = 0.542$ ) for any of the groups under a study of the pretest and posttest. There were no statistically significant changes ( $p \leq 0.05$ ) in peak power comparative to body weight during the SJ ( $p = 0.423$ ) and during the CMJ ( $p = 0.833$ ) in the experimental groups and the CG between pretest and posttest.

Table 6 shows the maximum rate of force development (RFD) obtained when performing the vertical jumps (SJ and CMJ) with the experimental groups and the CG in the pretest and posttest and the difference (mean  $\pm$  SD). No statistically significant differences between pretest and posttest in the SJ and CMJ were found for any of the groups under

study nor were significant changes observed between groups for any vertical jumps studied.

### DISCUSSION

The aim of this study was to compare the effect of 6 weeks of training with body mechanical vibration on the strength and power of the lower limb, and changes in body composition, varying the amplitude of vibration. An important finding from this study was the increased strength of the knee extensor muscles for the groups that were subjected to vibration. Furthermore, there was significant gain in the total lean mass in the group that underwent high amplitude vibration training. On the other hand, no significant changes in vertical jumping performance were found.

Regarding body composition, we found no statistically significant difference in the change in fat mass after vibration training. However, lean mass increased significantly in the group that trained with high amplitude (GH) between the pretest and posttest, without significant changes in the experimental group that trained low amplitude vibration (GL) or the control group (CG). In addition, these differences were statistically different between GH with the GL and CG groups. There are several studies suggesting that muscle hypertrophy may be because of a hormonal response induced by vibration. The exercise on a vibratory device causes endocrine reactions that can be understood as mediating signals for the training effect (46). These hormonal responses manifest themselves as an increase in testosterone (3), growth hormone (3,5,25), increased catecholamines (18), decreased cortisol (3,25), and increases in protein synthesis (47). The literature shows that there is a greater increase in the production of growth hormone with exposure to WBV (3). These endocrine effects could be one explanation for the increase in lean mass after vibration training. Comparing our study with that by Roelants et al. (37), similar results can be observed. The authors assessed the body composition of 48 young women after 24 weeks of vibration training (35–40 Hz and 2.5–5.0 mm), obtaining a significant increase of 2.2% lean mass between pretest and posttest (37). In our research, we observed an increase of 1.6% in the GH group with only 6 weeks of training. Lamont et al. (26) found similar results for lean body mass changes (compared with a control condition) as assessed by DEXA applied for a similar duration (6 weeks) in conjunction with a squat training program. In the study of Roelants et al. (37), exposure to vibration was longer; however, relative smaller increases were observed in lean mass when compared with this study. This could be because of the difference in the sample used because Roelants et al. (37) used only young women, whereas this study used a greater proportion of young men, who produce higher levels of testosterone and thus greater increases in lean mass.

The GH group had greater increases in isokinetic strength, especially at high velocities (270°·s<sup>-1</sup>). One might suggest, although there is insufficient scientific evidence for

**TABLE 6.** Maximum rate of force development in SJ and CMJ.\*

	SJ <sub>RFDmax</sub> (N·s <sup>-1</sup> )	CMJ <sub>RFDmax</sub> (N·s <sup>-1</sup> )
<b>GL</b>		
Pre	799 $\pm$ 282	1,073 $\pm$ 498
Post	1,120 $\pm$ 458	1,261 $\pm$ 573
$\Delta$	320.6 $\pm$ 345.7	188.4 $\pm$ 493.0
<b>GH</b>		
Pre	1,055 $\pm$ 506	1,243 $\pm$ 544
Post	1,316 $\pm$ 693	1,313 $\pm$ 562
$\Delta$	161.1 $\pm$ 393.6	70.2 $\pm$ 733.0
<b>CG</b>		
Pre	936 $\pm$ 349	1,197 $\pm$ 365
Post	1,116.0 $\pm$ 343.0	1,260.0 $\pm$ 543.0
$\Delta$	179.8 $\pm$ 375.6	62.7 $\pm$ 486.8

\*SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump; RFDmax = ratio of maximum development of strength; GL = low amplitude group; GH = high amplitude group; CG = control group;  $\Delta$  = difference.

this, that vibration training at high amplitude can affect the hypertrophy of type II muscle fibers. Eckhardt et al. (16) found that vibration training increased lactate significantly compared with exercise performed without vibration. They suggested this could be because of increased recruitment of type II glycolytic fibers during WBV, although to confirm this would require muscle biopsies. All these data create a new line of research because if vibration training can be used to maintain or increase the amount of muscle fibers, it is possible that it could be implemented in sports in which the maximum force or power qualities are relevant to improving performance.

With regard to fat mass, there were no statistically significant changes, in absolute or relative terms, after the 6-week vibration training. There were also no significant differences between the different groups. These results might be explained by Hazell et al. (21), who claim that the cardiovascular stress produced by exposure to WBV is moderate, and energy requirements could be compared with walking at a moderate intensity (10,36). In addition, the total duration of WBV in the longest session in this study was 13 minutes, being a period too short to produce changes in body fat. It seems that the stimulus caused by WBV is insufficient to produce a high metabolic burden leading to a reduction in fat mass. Rittweger (35) states that a person weighing 70 kg while performing WBV would consume oxygen approximately  $20 \text{ L h}^{-1}$ , assuming an energy equivalent of  $20.9 \text{ kJ} \cdot \text{L}^{-1}$  of oxygen and a caloric equivalent of  $39 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  of fat, this would imply a weight loss of only 10 g of fat per hour with this exercise. Thus, it is reasonable to conclude that this type of exercise produces no loss of fat mass. It is possible that the duration of training sessions in this study were too short to cause changes in body fat. This study provides results similar to those published by Roelants et al. (37), who assessed the body composition of 48 women with an age and activity level similar to those of the participants in this study. After 24 weeks of WBV, 3 sessions per week, with a frequency, amplitude, and time of exposure to vibration similar to those in this study, there were no changes in body fat (37). We may suggest that the use of vibration training within a fitness training program should be implemented with other aerobic exercises to reduce body fat mass.

After 6 weeks of vibration training, there were significant gains in isokinetic strength of knee extensor muscles in both experimental groups between pretest and posttest. These significant improvements in isokinetic strength were developed at different angular velocities ( $60^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ , and  $270^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ ). The group that showed greater gains in strength was the one that used the high amplitude, and specifically when strength was evaluated at a high velocity ( $270^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ ). In addition, the only statistically significant difference when compared with the CG was found at this velocity. This finding could be because of the gains in the lean mass produced in the GH group. Our research shows that the GH group

significantly improves strength when compared with the CG, whereas the GL group did not; therefore, we may assert that the increased strength is induced by the magnitude of the amplitude of the vibration. This high amplitude might produce neuromuscular adaptations resulting in enhanced neuromuscular activation (14,33). There is now enough scientific evidence to show that when the vibratory stimulus acts directly on muscle or tendon, the tonic vibration reflex produces the activation. On the other hand, some working groups (6,38) suggest that when an individual undergoes training on a WBV platform, it acts on a gravitational force that induces the muscles to generate a discharge to maintain the balance. This could explain the strength gains observed in our study. These results are consistent with those published by other authors, who say that WBV increases the dynamic strength of the muscles of the lower extremities (14,22,27,37,43). Mahieu et al. (27) studied the effect of 6 weeks of WBV in young skiers; isokinetic strength in knee extensors improved significantly when compared with baseline. Similar results were found by Delecluse et al. (14), who, after subjecting 74 untrained young women to 12 weeks, significantly improved WBV isokinetic strength of the lower extremities. In a recent review about the effects of vibration on muscle strength, Marin et al. (31) described that greater strength gains are produced with high amplitudes. However, to our knowledge, there is no work that has studied this in an experimental way. A possible explanation for the higher gains found in the groups trained at a high amplitude in this study is that, when working with high vibration amplitudes, the acceleration forces to which the human body is exposed on the platform has increased. This increases the tension generated by muscles, which eventually causes a greater increase in strength. On the other hand, several authors have suggested that WBV training specifically activates the fast twitch fibers (14,36), which are responsible for explosive movements and produce higher values of strength. This would explain why the greatest increases in strength observed in our study occur when the force is generated at high speed ( $270^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ ). Thus, it seems appropriate to use such platforms, ranging on the vertical axis, and allow working with high frequency and amplitude with sports that require both high levels of maximum force and a large explosive strength in their athletic modality.

The mechanical power and RFD have been studied on the vibration training, being assessed through vertical jump, such as SJ and CMJ (30). In this study, there were no statistically significant differences in any of the variables studied for any of the jumps performed (SJ and CMJ) between pretest and posttest. Similar results were found by de Ruiter et al. (12); they assessed the effects of 11 weeks of WBV in semi-static squat on jump height without obtaining significant improvements. In contrast, other studies that assessed long-term effects of WBV on vertical jump performance, both the SJ (9,17) and the CMJ (13,14,17,37,39), showed an improvement in the jump performance. The differences in

the results obtained by this investigation and de Ruiter et al. (12) could be because of the fact that exercise protocols performed on the platform were different. In this study, as in the de Ruiter et al. (12) study, participants performed a semi-squat statically, unlike other studies that involved doing different exercises on the platform dynamically. One possible explanation could be that assuming that WBV causes increased muscle activation, the application of vibration occurs through the legs and these factors increase the activation of agonist and antagonist muscles (coactivation) (40), raising questions about the benefits of muscle coordination in dynamic actions, such as jumping (17). Another explanation may be because of prolonged exposure to vibrations has been shown to have detrimental effects on the soft tissues, including muscle fatigue (1), reductions in motor unit firing rates and muscle contraction force (32), decreases in nerve conduction velocity, and attenuated perception (15). Thus, it could be hypothesized that for an improvement through WBV, the long-term effects on the jump that requires some intermuscular coordination, athletes should not use static exercise protocols on the vibration platform, using them only for participants without experience because it is simple to learn.

Based on the foregoing information, we propose a number of considerations to be taken into account in future research, for example, checks to determine if there are gains of lean mass in other sectors of the population, using the same protocol as in this study. Also, one might compare the effects of WBV has on body composition, strength, and power comparing 2 vs. 3 days. Finally, it would be very interesting to compare the static exercise vs. dynamic exercise on the vibration platform to ascertain if the long-term effects that involve a loss of coordination in tasks such as jumping, when carrying out a static-only exercise on the platform.

### PRACTICAL APPLICATIONS

The current investigation indicates that using an incremental vibratory training, 2 days per week during 6 weeks of high amplitude WBV may increase isokinetic strength and total lean mass. We would recommend this protocol for recreationally active subjects to accomplish the greatest effects for physical fitness and sport performance. Thus, we consider high amplitude WBV training as a useful tool for personal trainers and physical education teachers when looking for improved fitness and a full workout. This has been shown in this study where it is evident that 6 weeks of training, using a vertical vibration platform at 50 Hz and peak-to-peak displacement of 4 mm, produces muscle hypertrophy in active subjects. However, more studies would be needed to establish which training protocol is most appropriate based on the individual characteristics of other population.

### ACKNOWLEDGMENTS

The researchers would like to express gratitude to the subjects in this investigation who made this study possible.

No funding was received for this article. The results from this study do not constitute endorsement of the products by the authors or by the National Strength and Conditioning Association.

### REFERENCES

1. Adamo, DE, Martin, BJ, and Johnson, PW. Vibration-induced muscle fatigue, a possible contribution to musculoskeletal injury. *Eur J Appl Physiol* 88: 134–140, 2002.
2. Armstrong, T and Bull, F. Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *J Public Health* 14: 66–70, 2006.
3. Bosco, C, Iacovelli, M, Tsarpela, O, Cardinale, M, Bonifazi, M, Tihanyi, J, Viru, M, De Lorenzo, A, and Viru, A. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 81: 449–454, 2000.
4. Brown, LE. *Isokinetics in Human Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000.
5. Cardinale, M and Erskine, JA. Vibration training in elite sport: Effective training solution or just another fad? *Int J Sports Physiol Perform* 3: 232–239, 2008.
6. Cardinale, M and Lim, J. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 17: 621–624, 2003.
7. Cardinale, M and Wakeling, J. Whole body vibration exercise: Are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 39: 585–589; discussion 589, 2005.
8. Caserotti, P, Aagaard, P, and Puggaard, L. Changes in power and force generation during coupled eccentric-concentric versus concentric muscle contraction with training and aging. *Eur J Appl Physiol* 103: 151–161, 2008.
9. Colson, SS, Pensini, M, Espinosa, J, Garrandes, F, and Legros, P. Whole-body vibration training effects on the physical performance of basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 999–1006, 2010.
10. Da Silva, ME, Fernandez, JM, Castillo, E, Nunez, VM, Vaamonde, DM, Poblador, MS, and Lancho, JL. Influence of vibration training on energy expenditure in active men. *J Strength Cond Res* 21: 470–475, 2007.
11. De Gail, P, Lance, JW, and Neilson, PD. Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 29: 1–11, 1966.
12. de Ruiter, CJ, Van Raak, SM, Schilperoord, JV, Hollander, AP, and de Haan, A. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* 90: 595–600, 2003.
13. Delecluse, C, Roelants, M, Diels, R, Koninckx, E, and Verschuere, S. Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *Int J Sports Med* 26: 662–668, 2005.
14. Delecluse, C, Roelants, M, and Verschuere, S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1033–1041, 2003.
15. Dupuis, H and Jansen, G. Immediate effects of vibration transmitted to the hand. In: *Man Under Vibration: Suffering and Protection, Proceedings of the International CISM-IFTToMM-WHO Symposium*. G Biachi, K Frolov, and A Olędzki, eds. Udine, Italy: Elsevier, 1981. pp. 76–86.
16. Eckhardt, H, Wollny, R, Muller, H, Bartsch, P, and Friedmann-Bette, B. Enhanced myofiber recruitment during exhaustive squatting performed as whole-body vibration exercise. *J Strength Cond Res* 25: 1120–1125, 2011.
17. Fernandez-Rio, J, Terrados, N, Fernandez-Garcia, B, and Suman, OE. Effects of vibration training on force production in female basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 1373–1380, 2010.

18. Goto, K and Takamatsu, K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jpn J Physiol* 55: 279–284, 2005.
19. Hagbarth, KE. The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disease. In: *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*. JE Desmedt, ed. Basel, Switzerland: Karger, 1973. pp. 428–443.
20. Harrison, AJ and Bourke, G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res* 23: 275–283, 2009.
21. Hazell, TJ, Thomas, GW, Deguire, JR, and Lemon, PW. Vertical whole-body vibration does not increase cardiovascular stress to static semi-squat exercise. *Eur J Appl Physiol* 104: 903–908, 2008.
22. Jacobs, PL and Burns, P. Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res* 23: 51–57, 2009.
23. Kibele, A. Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study. *J Appl Biomech* 14: 105–117, 1998.
24. Krol, P, Piecha, M, Slomka, K, Sobota, G, Polak, A, and Juras, G. The effect of whole-body vibration frequency and amplitude on the myoelectric activity of vastus medialis and vastus lateralis. *J Sports Sci Med* 10: 169–174, 2011.
25. Kvorning, T, Bagger, M, Caserotti, P, and Madsen, K. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol* 96: 615–625, 2006.
26. Lamont, HS, Cramer, JT, Bembien, DA, Shehab, RL, Anderson, MA, and Bembien, MG. Effects of a 6-week periodized squat training with or without whole-body vibration upon short-term adaptations in squat strength and body composition. *J Strength Cond Res* 25: 1839–1848, 2011.
27. Mahieu, NN, Witvrouw, E, Van de Voorde, D, Michilsens, D, Arbyn, V, and Van den Broecke, W. Improving strength and postural control in young skiers: Whole-body vibration versus equivalent resistance training. *J Athl Train* 41: 286–293, 2006.
28. Marin, PJ, Herrero, AJ, Garcia-Lopez, D, Rhea, MR, Lopez-Chicharro, J, Gonzalez-Gallego, J, and Garatachea, N. Acute effects of whole-body vibration on neuromuscular responses in older individuals: Implications for prescription of vibratory stimulation. *J Strength Cond Res* 26: 232–239, 2012.
29. Marin, PJ, Herrero, AJ, Sainz, N, Rhea, MR, and Garcia-Lopez, D. Effects of different magnitudes of whole-body vibration on arm muscular performance. *J Strength Cond Res* 24: 2506–2511, 2010.
30. Marin, PJ and Rhea, MR. Effects of vibration training on muscle power: A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24: 871–878, 2010.
31. Marin, PJ and Rhea, MR. Effects of vibration training on muscle strength: A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24: 548–556, 2010.
32. Necking, LE, Lundborg, G, and Friden, J. Hand muscle weakness in long-term vibration exposure. *J Hand Surg Br* 27: 520–525, 2002.
33. Nordlund, MM and Thorstensson, A. Strength training effects of whole-body vibration? *Scand J Med Sci Sports* 17: 12–17, 2007.
34. Rehn, B, Lidstrom, J, Skoglund, J, and Lindstrom, B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 17: 2–11, 2007.
35. Rittweger, J. Vibration as an exercise modality: How it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol* 108: 877–904, 2010.
36. Rittweger, J, Beller, G, and Felsenberg, D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20: 134–142, 2000.
37. Roelants, M, Delecluse, C, Goris, M, and Verschuere, S. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med* 25: 1–5, 2004.
38. Roelants, M, Verschuere, SM, Delecluse, C, Levin, O, and Stijnen, V. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res* 20: 124–129, 2006.
39. Ronnestad, BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 18: 839–845, 2004.
40. Rothmuller, C and Cafarelli, E. Effect of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue in humans. *J Physiol* 485(pt 3): 857–864, 1995.
41. Rubin, C, Xu, G, and Judex, S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *EASEB J* 15: 2225–2229, 2001.
42. Russo, CR, Lauretani, F, Bandinelli, S, Bartali, B, Cavazzini, C, Guralnik, JM, and Ferrucci, L. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehab* 84: 1854–1857, 2003.
43. Spiliopoulou, SI, Amiridis, IG, Tsiganos, G, Economides, D, and Kellis, E. Vibration effects on static balance and strength. *Int J Sports Med* 31: 610–616, 2010.
44. Turner, AP, Sanderson, MF, and Attwood, LA. The acute effect of different frequencies of whole-body vibration on countermovement jump performance. *J Strength Cond Res* 25: 1592–1597, 2011.
45. Verschuere, SM, Roelants, M, Delecluse, C, Swinnen, S, Vanderschuere, D, and Boonen, S. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res* 19: 352–359, 2004.
46. Viru, A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med* 13: 201–209, 1992.
47. Wilcock, IM, Whatman, C, Harris, N, and Keogh, JW. Vibration training: Could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res* 23: 593–603, 2009.
48. Wilson, GJ, Lyttle, AD, Ostrowski, KJ, and Murphy, AJ. Assessing dynamic performance: A comparison of rate of force development tests. *J Strength Cond Res* 9: 176–181, 1995.

**ART. 3**

MARTÍNEZ-PARDO E, ROMERO-ARENAS S, MARTÍNEZ-RUIZ E, RUBIO-ARIAS JA, ALCARAZ PE. EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION (WBV) TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS. JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH. 2014; 28(11):3255-3263.

# EFFECT OF A WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING MODIFYING THE TRAINING FREQUENCY OF WORKOUTS PER WEEK IN ACTIVE ADULTS

ESMERALDO MARTÍNEZ-PARDO,<sup>1,2</sup> SALVADOR ROMERO-ARENAS,<sup>1,2</sup> ENRIQUE MARTÍNEZ-RUIZ,<sup>1,3</sup> JACOBO A. RUBIO-ARIAS,<sup>1,2</sup> AND PEDRO E. ALCARAZ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research Center for High Performance Sport—UCAM, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España;

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte—UCAM, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España; and <sup>3</sup>Faculty of Health Sciences,

Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España

## ABSTRACT

Martínez-Pardo, E, Romero-Arenas, S, Martínez-Ruiz, E, Rubio-arias, JA, and Alcaraz, PE. Effect of a whole-body vibration training modifying the training frequency of workouts per week

in active adults. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2014–

The aim of this study was to evaluate the effects of whole-body vibration by varying the training frequency (2 or 3 sessions per week) on the development of strength and power, body composition, and mechanical power. Forty-one subjects (32 men and 9 women), recreationally active subjects, ( $21.4 \pm 3.0$  years old;  $172.6 \pm 10.9$  cm;  $70.9 \pm 12.3$  kg) took part in the study divided in 2 experimental groups (G2 = 2 sessions per week,

G3 = 3 sessions per week) and a control group (CG). The frequency of vibration (50 Hz), amplitude (4 mm), time of work (60 seconds), and time of rest (60 seconds) were constant for G2 and G3 groups. Maximum isokinetic strength, body composition, and performance in vertical jumps were evaluated at the beginning and the end of the training cycle. A statistically significant increase of isokinetic strength was observed in G2 and G3 at angular velocities of 60, 180, and  $270^\circ \cdot s^{-1}$ . Total fat-free mass was statistically significantly increased in G2 ( $0.9 \pm 1.0$  kg) and G3 ( $1.5 \pm 0.7$  kg). In addition, statistically significant differences between G3 and CG ( $1.04 \pm 1.7\%$ ) ( $p = 0.05$ ) were found. There were no statistically significant changes in the total fat mass, fat percentage, bone mineral content, and bone mineral density in any of the groups. Both vibration training schedules produced statistically significant improvements in isokinetic strength. The vibration magnitude of the study presented an adaptation stimulus for muscle hypertrophy. The vibration training used in this study may be

valid for athletes to develop both strength and hypertrophy of the lower limbs.

**KEY WORDS** vibration platform, strength, power, body composition

## INTRODUCTION

Whole-body vibration (WBV) has been suggested as a training and rehabilitation method (41). In sport practice, vibration is applied to the entire limb, to the entire body (26), through a vibrating platform on which a person stands for a certain period of time (11). The exercise devices currently available on the market deliver vibration to the whole body by means of oscillating plates using 2 different systems: (a) reciprocating vertical displacements on the left and right side of a fulcrum and (b) the whole plate oscillating uniformly up and down (10). In most devices, such vibratory movements generate sinusoidal oscillations that are characterized by their amplitude (in millimeter) and frequency (in hertz). During vibration, the human body is accelerated by causing a reactive force by and within the human body (42).

The reported benefits of vibration include improvements in bone health and neuromuscular function (51). The effects of vibration exposure have been examined using different protocols and methods. Different studies on vibration platforms have shown significant improvements in muscle strength and power in different populations (5,6). Some studies also suggest that WBV might affect cardiovascular responses during exercise (23,43),  $\dot{V}O_2$  kinetics (30), and produces significant increase in plasma concentrations of testosterone and growth hormone, modifying the activity of the endocrine system (6).

The main mechanisms explaining the increase in muscle strength derived from vibration training are neural regulation of voluntary muscle contraction and the neuromuscular adaptations that occur (26). A previous study showed that 24 WBV sessions over 8 weeks (30 Hz; 5 mm) is an effective

Address correspondence to Pedro E. Alcaraz, palcaraz@ucam.edu.

00(00)/1–9

*Journal of Strength and Conditioning Research*

© 2014 National Strength and Conditioning Association

AU11

TABLE 1. Characteristics of the participants.\*

	Age (y)	Height (cm)	Body mass (kg)	TorqF 270°·s <sup>-1</sup> (N·m)
G2 (n = 16)	21.5 ± 5.2	175.1 ± 8.1	71.2 ± 12.6	124.8 ± 37.8
G3 (n = 14)	21.1 ± 1.6	170.3 ± 15.8	74.8 ± 13.9	123.7 ± 39.9
CG (n = 11)	21.5 ± 3.8	172.3 ± 8.9	66.8 ± 10.5	132.0 ± 33.3
Total (n = 41)	21.4 ± 3.0	172.6 ± 10.9	70.9 ± 12.3	126.8 ± 37

\*TorqF = peak torque in knee extension; M = male; F = female; GL = group of low amplitude (2 mm); GH = group of high amplitude (4 mm); CG = control group.

training methodology for inducing improvements in knee-extensor explosiveness (3). When the effects of WBV were evaluated on vertical jumps, improvements in the performance of the squat jump (SJ) (9) and countermovement jump (CMJ) (3,46) were found. Torvinen et al. (49) suggest that short-time (4 minutes) exposure to WBV can lead to an improvement in countermovement vertical jump performance and force generating capacity in maximal isometric strength of the leg extensors. Similar results were found by Cardinale (9) after 10 days of vibration exercise involving male athletes and reported a considerable improvement in vertical jumping (CMJ and 5 seconds of continuous jumping) and muscular strength (maximal dynamic leg press exercises on a slide machine with extra loads of 70, 90, 110, and 130 kg). Apparently, this increased muscle activity could be due to vibration signals that activate muscle spindle receptors, which in turn causes reflexive activation of motor units (45). Furthermore, Lamont et al. (30) have shown that 6 weeks of training seems to have been sufficient to have produced statistically significant improvements in power measures like jump height (in centimeters) and peak power (Pmax) for SJs. In contrast, de Ruiter et al. (16) found that 11 weeks of standard 2-legged WBV training (30 Hz; 8 mm) without additional training loads did not improve functional knee extensor muscle strength (CMJs) in 10 young healthy physically active subjects.

Reduction of body fat and the increase of muscle mass are some of the most popular objectives for starting an exercise program (44). However, there are few studies that analyze the effects of WBV training on body composition. For example, a recent study has found that high amplitude WBV training can elicit lean body mass in healthy students (45). Another study (23) found that there was a reciprocal increase (+2.2%) in fat-free mass in untrained young women after 24 weeks of WBV training. The WBV group trained 3 times weekly increasing training volume (35–40 Hz; 2.5–5 mm; 3–20 minutes; number of series; shortening rest periods). However, there were no changes in total fat (44). Similar results were found by Fjeldstad et al. (20) who demonstrated that training with WBV with progressive overload (30–40 Hz; 3 mm) plus resistance training 3 times per week for 8 months resulted in positive body composition changes of increased lean tissue in older women (20). Also, a preliminary study done by Vissers et al. (53) shows how 6 months of WBV training (30–40 Hz; low-high amplitude; 10–22 exercises) may influence reduction in visceral fat of obese adults (3 d·wk<sup>-1</sup>). However, Verschueren et al. (51) found that muscle mass was not affected in postmenopausal women after 6 months of WBV training (3 sessions per week) increasing systematically the intensity (35–40 Hz; 1.7–2.5 mm) and the volume (duration of 1 vibration session; number of series of 1 exercise; number of different exercises). Therefore, further research is necessary to clarify the frequency of training sessions per week.

Training adaptations are determined by various factors (2), one of those factors is the optimal training frequency (the number of workouts per week). The frequency of training depends on the number of muscle groups trained per workout as well as the volume and intensity (2). Frequencies of 2–3 days per week have been effective in 29 untrained volunteers (8). A meta-analysis study has shown that strength gains in untrained individuals were highest with a frequency of 3 days per week (40). However, there are no studies that compare different training frequencies in WBV training. Therefore, the aim of this research was to study the effects, when using WBV with 2 different training frequencies (2 vs. 3 d·wk<sup>-1</sup>), on the development of strength, mechanical power of the muscles of

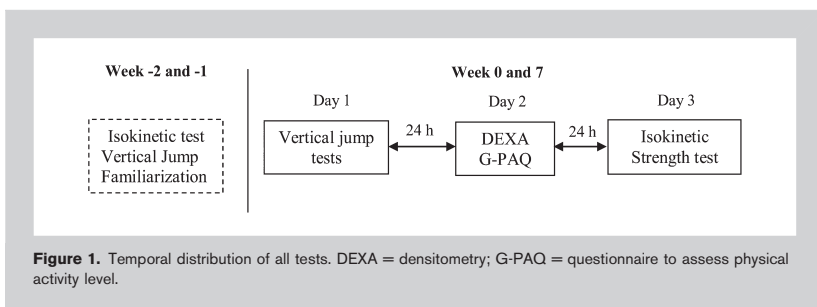


Figure 1. Temporal distribution of all tests. DEXA = densitometry; G-PAQ = questionnaire to assess physical activity level.



**TABLE 2.** Weekly distribution of the parameters of vibration training.\*

	W1	W2	W3	W4	W5	W6
G2	8 × 60 s 4 mm	9 × 60 s 4 mm	10 × 60 s 4 mm	11 × 60 s 4 mm	12 × 60 s 4 mm	13 × 60 s 4 mm
G3	8 × 60 s 4 mm	9 × 60 s 4 mm	10 × 60 s 4 mm	11 × 60 s 4 mm	12 × 60 s 4 mm	13 × 60 s 4 mm
CG	No vibration training					

\*W = week; G2 = 2 days training group; G3 = 3 days training group; CG = control group.

the lower limbs, and changes in body composition in active adults. Additionally, the following hypothesis was established: the WBV training program, using 3 days per week will produce an increase in mechanical power, strength, and muscle mass and decrease fat mass in young healthy adults, whereas the 2 days of training will not.

**METHODS**

**Experimental Approach to the Problem**

A quasi-experimental pretest/posttest group design using 2 training groups and a control group (CG) was used to examine the short-term effects of 2 vs. 3 sessions per week when using WBV on the development of lower-body strength, mechanical power, and body composition. Before data collection, the participants took part in a familiarization session for each test. To reduce potential confounding, a matched design was used in which participants were matched depending on their

habitual physical activity level measured with the G-PAQ questionnaire, sex, and isokinetic strength of the knee extensor (Table 1), and then assigned to 1 of 2 treatment conditions, or the CG: (a) G2 = 2 WBV training per week, (b) G3 = 3 WBV training session per week, and (c) a no training CG. Subjects completed 1 week of familiarization WBV training before a 6-week specific training phase.

During the 1-week familiarization phase, subjects performed low-load magnitude WBV training; additionally, participants were familiarized with the measurement protocols (vertical jump and isokinetic tests).

**Subjects**

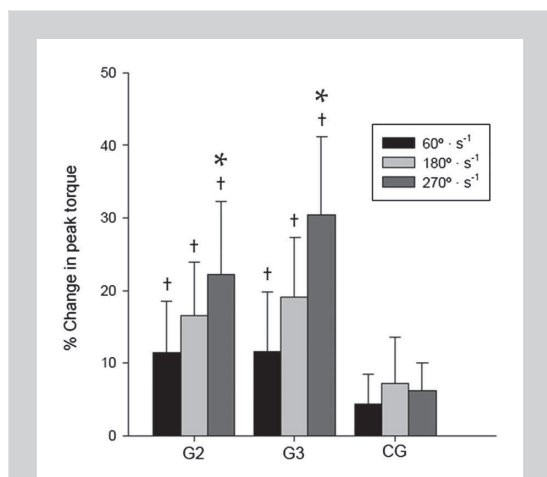
Forty-one recreationally active students ( $n = 41$ ; 32 men and 9 women;  $21.4 \pm 3.0$  years old;  $172.6 \pm 10.9$  cm;  $70.9 \pm 12.3$  kg) took part in the study (Table 1). Recreationally active were classified as engaging in low-to-moderate intensity physical activity no more than 3 times per week for approximately 20–30 minutes. Each subject read and signed a University Institutional Review Board approved informed consent form before participation.

**Testing**

The initial and final assessment was carried out at the beginning and end of the experimental phase. One week was used to accomplish the tests. Participants performed the initial and final test in the same sequence and at the same time of day (Figure 1). Two weeks before the initial data collection, 2 familiarization sessions were implemented for the jumps test. All tests involving muscle actions were performed with a rest of 48 hours between each measurement session, with the aim of ensuring that the participants were not suffering from fatigue when they had to perform.

**Jump Procedures**

Jump tests (SJ and CMJ) were performed on a force platform (Dinascan/IBV, Valencia, Spain). In all jump tests, the subjects were instructed to keep their hands on their waist at all times to minimize any contribution to jump impulse by the upper body (13). Each subject performed a practice trial for each of the movements before performing the test trials. All variables of the jump tests were taken in absolute terms and relative to body mass (Bm) (4). The SJs were performed starting from a 90° knee angle position, and no drop or countermovement was permitted. If any countermovement was detected on the force-time display, the subject was required to repeat that trial. For the CMJs, the subjects were instructed to perform the jump as fast as possible with the aim that the stretch-shortening cycle be activated (28). The force-time traces for the SJs and CMJs were



**Figure 2.** Changes in isokinetic peak torque for knee extensors at angular velocities of 60, 180, and 270° · s<sup>-1</sup>. G2 = 2 days training group; G3 = 3 days training group; CG = control group; † = statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest; \* = statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) with the CG.



**TABLE 3.** Body composition variables (mean ± SD).\*

	FM (%)	FFM (kg)	FM (kg)	BMD <sub>total</sub> (g·cm <sup>-2</sup> )	BMC <sub>total</sub> (g)
G2 Pre	18.3 ± 6.8	54.7 ± 10.8	13.1 ± 5.9	1.1 ± 0.1	3,106 ± 445
Post	17.6 ± 7.7	55.6 ± 10.9†	12.6 ± 6.9	1.1 ± 0.1	3,104 ± 435
Δ	-0.8 ± 1.7	0.9 ± 1.0	-0.5 ± 1.4	0.0 ± 0.0	-1.1 ± 21.9
G3 Pre	20.7 ± 7.3	53.7 ± 10.5	14.6 ± 4.9	1.1 ± 0.1	3,035 ± 319
Post	19.8 ± 7.4	55.1 ± 10.4†	14.2 ± 5.8	1.1 ± 0.1	3,036 ± 326
Δ	-0.8 ± 1.9	1.5 ± 0.7	-0.4 ± 1.3	0.0 ± 0.0	0.9 ± 27.6
CG Pre	20.6 ± 7.6	49.4 ± 10.8	13.1 ± 4.1	1.1 ± 0.2	2,968 ± 542
Post	21.1 ± 7.3	49.7 ± 10.7	13.8 ± 3.9	1.1 ± 0.2	2,971 ± 550
Δ	0.6 ± 1.9	0.4 ± 0.7‡	0.7 ± 1.4	0.0 ± 0.0	3.3 ± 22.8

\*G2 = 2 days training group; G3 = 3 days training group; CG = control group; FM = fat mass, FFM = fat-free mass; BMD = bone mineral density; BMC = bone mineral content; Δ = difference.

†Statistically significant difference ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest.

‡Statistically significant difference ( $p \leq 0.05$ ) with G3.

analyzed to obtain 3 dependent variables namely: jump height, maximum mechanical power ( $P_{max}$ ), and the maximum rate of force development (RFD<sub>max</sub>). The start of concentric contraction was defined as the point where the force readings were 10 N greater than the average of the force readings when the subject was static in the SJ starting position. Jump heights ( $h$ ) were calculated from the take off vertical velocity ( $v$ ) using the following equation:  $h = v^2 \cdot 2g^{-1}$ . Absolute and relative mechanical power were calculated as follows: vertical force × instantaneous vertical velocity of the system's center of mass (12), and RFD<sub>max</sub> was calculated as the greatest rise in force during 5-millisecond periods from the start of the concentric contraction (23).

**Isokinetic Strength**

An isokinetic dynamometer (Biodex System 3; Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY, USA) was used for the isokinetic

recognition was calculated by the dynamometer and automatically compensated for the measurements.

At each test velocity, the subject performed 5 submaximal warm-up trials followed by 3 maximal warm-up trials. The test started 1 minute after the 6 warm-up trials had been completed. A recovery period of 90 seconds (7) between test velocities was used. After the warm-up trials, 3 maximal trials were performed for each test (1). The trial in each test which had the greatest peak torque was taken as the measure of maximal strength. Results were normalized, expressed relative to body mass.

**Body Composition**

Total and regional bone, fat, and fat-free masses were assessed by DEXA (XR-46; Norland Corp., Fort Atkinson, WI, USA). The DEXA scanner was calibrated using a lumbar spine phantom as recommended by the manufacturer. Subjects were scanned in the supine position. Fat-free mass

strength tests. Each subject underwent a thorough and standardized familiarization session, which included all tests, at least 1 week before being tested. The hip extensors and flexors in the dominant leg were tested concentrically. All movements were tested at 60, 180, and 270°·s<sup>-1</sup> angular velocities. Each subject was measured in a standing position and stabilized with velcro straps. The axis of rotation of the dynamometer lever arm was aligned with the anatomical axis of the hip, as described in the Biodex test manual. The dynamometer was calibrated before each test session, and a gravitational correction

(in grams), fat mass (in grams), total area (square centimeter), and bone mineral content (BMC) (in grams) were calculated from total and regional analysis of the whole-body scan. Areal bone mineral density (BMD, in grams per square centimeter) was calculated using the formula  $BMD = BMC (g) \times area (cm^2)^{-1}$ .

**Vibration Protocol**

The vibration stimulus consisted of uniform vertical oscillations Power PlateNext Generation (Power Plate North America, Northbrook, IL, USA). Subjects stood on the platform

**TABLE 4.** Flying height in SJ and CMJ, and relative to body mass (mean ± SD).\*

	SJ <sub>h</sub> (cm)	CMJ <sub>h</sub> (cm)	SJ <sub>h/bm</sub> (cm·kgf <sup>-1</sup> )	CMJ <sub>h/bm</sub> (cm·kgf <sup>-1</sup> )
G2 Pre	28.7 ± 5.0	31.7 ± 5.3	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Post	27.3 ± 4.7	31.5 ± 5.0	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Δ	-1.4 ± 3.6	-0.2 ± 3.1	0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.0
G3 Pre	29.0 ± 4.9	33.2 ± 3.8	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Post	28.0 ± 3.9	32.2 ± 3.8	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1
Δ	-1.0 ± 3.0	-1.0 ± 2.8	0.0 ± 0.1	-0.1 ± 0.0
CG Pre	27.4 ± 3.9	30.3 ± 4.1	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Post	27.5 ± 6.0	30.1 ± 4.5	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Δ	0.1 ± 2.8	-0.2 ± 2.1	0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.0

\*G2 = 2 days training group; G3 = 3 days training group; CG = control group; SJ = no countermovement jump; CMJ = countermovement jump; h = vertical height; bm = body mass; Δ = difference.

**TABLE 5.** Peak mechanical power in SJ and CMJ, absolute and relative to body mass (mean ± SD).\*

	$SJ_{Pmax}$ (W)	$CMJ_{Pmax}$ (W)	$SJ_{Pmax/bm}$ (W·kgf <sup>-1</sup> )	$CMJ_{Pmax/bm}$ (W·kgf <sup>-1</sup> )
G2 Pre	3,518 ± 868	3,177 ± 736	48.9 ± 6.2	44.4 ± 6.2
Post	3,382 ± 847	3,155 ± 765	48.1 ± 15.4	43.7 ± 5.7
Δ	-136.2 ± 379.9	-21.1 ± 225.7	-0.8 ± 13.0	-0.7 ± 3.3
G3 Pre	3,497 ± 763	3,261 ± 658	48.0 ± 6.5	44.8 ± 5.5
Post	3,409 ± 737	3,281 ± 705	51.1 ± 13.2	44.2 ± 4.7
Δ	-87.8 ± 254.9	20.2 ± 373.1	3.1 ± 12.2	-0.6 ± 5.6
CG Pre	3,207 ± 743	2,928 ± 610	47.8 ± 6.2	43.9 ± 4.4
Post	3,373 ± 743	2,946 ± 609	52.2 ± 11.4	43.8 ± 3.9
Δ	165.9 ± 290.4	18.2 ± 107.9	4.4 ± 9.7	-0.1 ± 2.3

\*G2 = 2 days training group; G3 = 3 days training group; CG = control group; SJ = jump without countermovement; CMJ = countermovement jump; MIP = maximum instantaneous power; bm = body mass; Δ = difference.

**Statistical Analyses**

Data were stored using the spreadsheet Excel 2003 (Microsoft corp., Redmond, WA, USA). Statistical analyses of data were performed with SPSS 15.0 (SPSS 15.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) in the Windows environment. A descriptive analysis was performed to detail and analyze the characteristics of the sample participating in the study.

For the inferential analysis, we performed the Shapiro-Wilks test to establish the normality of the sampling distribution and analysis of runs to observe the independence of observations. To determine the effect of independent variables

holding an isometric quarter squat position with the feet shoulder-width apart (32). After the familiarization week, subjects trained 2 or 3 days per week for 6 weeks (with the exception of the CG) using a vibrating incremental training program that began with 8 sets per session and increasing by 1 set weekly maintaining a series of parameters: vibration frequency (50 Hz), vibration amplitude (4 mm), working time (60 seconds), and recovery time (60 seconds) constant for the 2 groups (G2 = 2 days, G3 = 3 days). The

**AU6** International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions has been taken into consideration for the design of this protocol (38) (Table 2).

on the dependent variable, a repeated measures analysis of variance (ANOVA) was carried out for the entire sample. If there were statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for the time factor, a repeated measures ANOVA test (General Linear Model) was performed to assess repeated measures of each group to differentiate between pretest and posttest sessions. If there were statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for the time × group factor ANOVA, a Tukey's post hoc test was performed.

**RESULTS**

This study was designed to investigate the effects of 6 weeks of training with body vibrations modifying the training days. Below show the results for isokinetic strength, vertical jump, and body composition measurements of the groups over the study period.

**Isokinetic Strength**

Figure 2 presents relative gains in peak torque between the pretest and posttest for each group: G2 ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11.5 \pm 14.0\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 16.5 \pm 14.7\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 22.1 \pm 20.3\%$ ), G3 ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 11.6 \pm 16.5\%$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1} = 19.1 \pm 16.5\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 30.5 \pm 21.5\%$ ), and CG ( $60^\circ \cdot s^{-1} = 4.4 \pm 8.1\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 7.2 \pm 12.7\%$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1} = 6.2 \pm 7.6\%$ ). Statistically significant differences were observed when comparing the effect of time on the experimental groups with CG. Statistically significant differences were found between G3 and CG ( $p = 0.066$ ) at angular velocities of  $180^\circ \cdot s^{-1}$ . In turn, at angular velocities of  $270^\circ \cdot s^{-1}$  were statistically significant differences between G2 ( $p = 0.041$ ) and G3 ( $p = 0.001$ ) compared with CG.

**Body Composition**

Table 3 shows the results of body composition variables for the experimental and CGs in the pretest posttest and

**TABLE 6.** Maximum rate of force development in the SJ and CMJ.\*

	$SJ_{RFDmax}$ (N·s <sup>-1</sup> )	$CMJ_{RFDmax}$ (N·s <sup>-1</sup> )
G2 Pre	1,055 ± 506	1,243 ± 544
Post	1,316 ± 693	1,313 ± 562
Δ	161.1 ± 393.6	70.2 ± 733.0
G3 Pre	861 ± 365	1,083 ± 294
Post	1,074 ± 424	1,279 ± 434
Δ	213.4 ± 402.1	196.5 ± 434.5
CG Pre	936 ± 349	1,197 ± 365
Post	1,116.0 ± 343.0	1,260.0 ± 543.0
Δ	179.8 ± 375.6	62.7 ± 486.8

\*G2 = 2 days training group; G3 = 3 days training group; CG = control group; SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump; RFDmax = ratio of maximum development of strength; Δ = difference.

changes (mean  $\pm$  *SD*). Statistically significant differences were observed ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest on fat-free mass for G2 ( $p = 0.005$ ) and G3 ( $p = 0.001$ ). Inter-groups statistically significant differences were found between G3 and CG in fat-free mass.

#### Vertical Jump Performance

- T4** Table 4 shows the results of the height of SJ and CMJ jumps, and the results of the height of these vertical jumps relative to Bm for the experimental groups and CGs in the pretest and posttest, and the changes (mean  $\pm$  *SD*). After a repeated measures ANOVA, no statistically significant changes were found ( $p \leq 0.05$ ) between pretest and posttest of any of the groups under study.  $SJ_h$  ( $p = 0.112$ ),  $CMJ_h$  ( $p = 0.646$ ),  $SJ_h \cdot Bm^{-1}$  ( $p = 0.473$ ), and  $CMJ_h \cdot Bm^{-1}$  ( $p = 0.254$ ).

The results of absolute and relative peak mechanical power when performing a vertical jump (SJ and CMJ) of each participant can be seen in Table 5. By applying a repeated measures ANOVA, no statistically significant changes were observed ( $p > 0.05$ ) in peak power developed during the SJ ( $p = 0.689$ ) nor during the CMJ ( $p = 0.542$ ) for any of the groups under a study of the pretest and posttest. There were not statistically significant changes ( $p \leq 0.05$ ) in peak power relative to Bm during the SJ ( $p = 0.423$ ) nor during the CMJ ( $p = 0.833$ ) in the experimental groups and the CG between pretest and posttest.

- T6** Table 6 shows the RFD obtained when performing the vertical jumps (SJ and CMJ) with the experimental groups and CG in the pretest and posttest and the difference (mean  $\pm$  *SD*). No statistically significant differences between pretest and posttest in SJ and CMJ were found for any of the groups under study, nor were significant changes observed between groups for any vertical jumps studied.

#### DISCUSSION

The aim of this study was to compare the effect of 6 weeks of WBV varying the weekly frequency of training (2 vs. 3 days) on body composition and lower limb isokinetic strength and power. An important finding from this study was the increased strength of knee extensor muscles for groups that were subjected to vibration. Furthermore, there was significant gain in the total fat-free mass in G2 ( $0.9 \pm 1.0$  kg) and G3 ( $1.5 \pm 0.7$  kg), establishing statistically significant differences between G3 and CG ( $1.04 \pm 1.7\%$ ) ( $p = 0.05$ ). However, no significant changes in vertical jumping performance were found.

In the assessment of body composition, we found no statistically significant difference in the change in fat mass, BMC, and BMD after vibration training. The opposite was true with the fat-free mass increased significantly in G2 and G3 between pretest and posttest. Furthermore, G3 statistically significant increased fat-free mass compared with CG. These results are similar to those reported by Hazell et al. (24), who claimed that the cardiovascular stress produced by exposure to WBV is moderate, and that the

energy requirements could be compared with walking at a moderate intensity (15,43). In addition, the total duration of the longer WBV session to participants who underwent the present work was 13 minutes. This is a too brief to produce changes in body fat. In a review, Rittweger (42), states that a person of 70 kg, while performing WBV, consumes about 20 L of oxygen per hour. Assuming an energy equivalent of  $20.9 \text{ kJ} \cdot \text{L}^{-1}$  of oxygen and caloric equivalent of  $39 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  of fat, this would imply a loss of weight of only 10 g of fat for each hour of such exercise. Thus, WBV does not produce a minimum stimulus to generate loss of body fat with a 6-week training protocol.

There have been several studies suggesting that muscle hypertrophy may be due to a hormonal response induced by training (52). Such hormonal responses have been documented by an increase of testosterone (6), growth hormone (6,29), increased catecholamine (22), decreased cortisol (6,29), and increased protein synthesis (54). The literature shows that there is a greater acute increase in the production of growth hormone with exposure to vibration (6). These endocrine effects could be 1 explanation for the increase in fat-free mass after vibration training. In the Martínez-Pardo et al. (36) study, it was evident that 6 weeks of training using a high-amplitude vertical vibration platform, produced muscle hypertrophy in active subjects.

Regarding fat mass, there were no statistically significant changes in absolute or relative fat mass after 6 weeks of vibration training. There were also no significant differences when comparing the different groups together. This study provides results similar to those published by Roelants et al. (44), who assessed the body composition of 48 women with age and physical activity level similar to this study's participants. After 24 weeks of WBV, 3 sessions per week, with a frequency, amplitude, and time of exposure to vibration similar to this study, there were no changes in body fat. Comparing these results with those of the study by Roelants et al. (44), similar results were obtained. The authors assessed the body composition of 48 young women after 24-week vibration training, obtaining a significant increase of 2.2% fat-free mass between pretest and posttest. In this study, there was an increase of 1.6% in the G2 and 3% in G3. The study by Roelants et al. (44) showed no reduction in body weight, total body fat, or subcutaneous fat after 24-week WBV training in previously untrained females. However, the results clearly showed that WBV training induced a gain in knee-extensor strength attended by small increases in fat-free mass. In this sense, we found a statistically significant increase in fat-free mass in 6 weeks. The participants of Roelants et al. (44) study were young women, however, there was a greater proportion of young men, who produce higher levels of testosterone. As mentioned above, there have been several studies suggesting that muscle hypertrophy may be due to a hormonal response induced by training (52), therefore, this may be the reason for increased fat-free mass.

We report that a 6-week WBV training program performed 2 or 3 days per week has not improved BMC nor BMD. Improvements did not occur when comparing each group being studied. However, Ligouri et al. (33) have found greater changes (2.7% advantage over control) in BMD at the spine in 12 weeks. Furthermore, Gilsanz et al. (21) found improvements in trabecular BMD at the spine and cortical bone area of the femur in female participants after 12 months of WBV. But, there were no improvements in the randomized controlled study of Torvinen et al. (50), showing no significant changes in the BMC of 56 volunteers (21 men and 35 women; age: 19–38 years) after 8 months of WBV training ( $1\text{--}4\text{ min}\cdot\text{d}^{-1}$ ;  $3\text{--}5\text{ d}\cdot\text{wk}^{-1}$ ; 25–45 Hz). The current study used similar values of frequency, amplitude, number of weeks, and daily workload but is not comparable with the duration of the studies mentioned. Similar effects were produced in the study of Milanese et al. (37) after 8 weeks of WBV exercise (2 sessions per week; vibration amplitude 2.0–5.0 mm, vibration frequency 40–60 Hz), where was not able to improve bone mineral parameters in young healthy females (mean age:  $25.3 \pm 5.26$  years) before the peak bone mass. The positive effect on increasing fat-free tissue by this study allows using this program in other populations such as elderly or sedentary postmenopausal women.

The greatest gains in isokinetic strength occurred at high speeds ( $270^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ). The effects of WBV training programs are determined by neural adaptation and possible hormonal and biochemical changes. Whole-body vibration exercises may cause excitation of the primary endings of muscle spindles (whose afferent feed-back stimulates increased discharge of  $\alpha$ -motoneurons) as well as activation of Golgi tendon organs (GTO) that are sensitive to force development and whose activation results in inhibition of muscle action. It can be hypothesized that the cumulative effect of regular systematic WBV training includes (a) enhancement of mono-synaptic stretch-reflexes that are initiated by afferent signals from the muscle spindles to the motoneuron pool and (b) depression of inhibitory impact of GTO due to their accommodation to vibratory-induced excitation (26). The results of this study are consistent with those published by other authors, who indicate that WBV increases the dynamic force of the muscles of the lower extremities (5,17,27,34,44,49,51). Mahieu et al. (34) studied the effect of 6 weeks of WBV in young skiers. The isokinetic strength in the knee extensors improved significantly when compared with baseline. Similar findings were obtained by Delecluse et al. (17) who, after subjecting 74 untrained young women to 12 weeks of WBV, observed that isokinetic strength (at a velocity of  $100^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ) of the lower extremities was statistically significant improved (17).

There is currently not enough scientific evidence to show that when the vibratory stimulus acts directly on the muscle or tendon occurs tonic vibration reflex occurs, no such evidence exists when the vibration is transmitted to the muscles indirectly (WBV) (27). However, recent research

(45) suggests that when an individual is subjected to WBV on a platform, the body works on a gravitational force that provokes muscles tension. This could explain the strength gains observed in our study. In a review of the effects of vibration on muscle strength, Marin et al. (35) described that greater strength gains are produced with high amplitudes. One possible explanation for the greater results found in the groups that trained with high amplitudes in this study is that working with high amplitude and frequency vibration increases acceleration of the body. However, it has been suggested that WBV training specifically activates type II muscle fibers (43), which were responsible for more explosive movements. The type II muscle fibers activation could explain why the largest increases observed in our study might occur when the force is generated at a high speed ( $270^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ). One might suggest, but there is insufficient scientific evidence that high amplitude vibration produces greater hypertrophy of type II muscle fibers. Eckhardt et al. (18) in a recent study found that vibration training increased lactate statistically significant compared with exercises performed without vibration, suggesting that this increment could be due to increased recruitment of type II glycolytic fibers during WBV. Based on evidence from this study, WBV can benefit by improving muscle strength in active subjects. In turn, this type of training can supplement athletes by providing assistance to improve their strength and conditioning.

Squat jump and CMJ have yielded no statistically significant differences in any of the variables for any of the jumps made between pretest and posttest. It is possible that the vibration frequency (50 Hz) coupled with the amplitude (4 mm) was too strong a stimulus for the groups exposed to the vibration stimulus leading to GTO-mediated reductions in alpha motor neuron firing discharge (31). Similar to this research, de Ruiter et al. (16), evaluated the effects of 11 weeks of WBV static semi-squat on jump height, without obtaining significant improvements. In contrast, other studies assessing the long-term effect of WBV on performance in the vertical jump, both SJ (14,19) as the CMJ (17,19,44,46,51) showed improvements in performance. The differences between our results and those obtained by de Ruiter et al. (16) could be due to the different exercise protocols used. In this study, as in the de Ruiter et al. study (16) participants performed a semi-squat statically, unlike other studies that performed different exercises on the platform dynamically. A possible explanation would be that WBV may increase muscle coactivation (47), and therefore, not increase dynamic actions as vertical jumps (19).

Taking into account that 3 days of training showed improvement when the strength was assessed in this study, we propose to train with 3 sessions per week. Previous research has demonstrated that 4–12 weeks (3 sessions per week) of WBV training can enhance lower-body strength (17,39). Similar results were found by Hong et al. (25), in this study, the WBV group trained along 4-week (3 sessions per week) enhanced neuromuscular activation (RFD). These



findings suggest that 3 sessions per week WBV training, during at least 4 weeks, are beneficial to increase isokinetic strength at high angular velocities ( $270^\circ \cdot s^{-1}$ ).

#### PRACTICAL APPLICATIONS

This research shows that using incremental vibratory training, 2 or 3 days per week during 6 weeks of WBV, may increase isokinetic strength and total fat-free mass in recreationally active subjects. However, the improvements are not different between the training groups. G3 produce a significant increase in fat-free-mass when compared with CG. If we use vibrating platforms in an appropriate way, we can have an impact on improving the fitness of this type of subject. Therefore, we consider it a useful complementary tool for personal trainers and coaches when looking for improved fitness. Based on the foregoing information, we propose a number of considerations to take into account in future research. For example, checks to determine whether there are gains of fat-free mass in other segments of the population, using the same protocol as in the current study. Finally, it would be very interesting to compare the static exercise vs. dynamic exercise on the vibration platform to ascertain if the long-term effects involve a loss of coordination in tasks such as jumping, when performing a static-only exercise on the platform. Moreover, further studies are needed to elucidate the exact neurophysiological mechanisms involved in the adaptive responses to vibration exposure in different populations.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The researchers express gratitude to the subjects in this investigation who made this study possible. In addition, the authors acknowledge "UCAM Research Center for High Performance Sport" (Murcia, Spain) for their assistance through-out this project. No funding was received for this article. The results from this study do not constitute endorsement of the products by the authors.

#### REFERENCES

- Alcaraz, PE, Elvira, JL, and Palao, JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports* 24: 279–290, 2014.
- American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
- Annino, G, Padua, E, Castagna, C, Di Salvo, V, Minichella, S, Tsarpela, O, Manzi, V, and D'Ottavio, S. Effect of whole body vibration training on lower limb performance in selected high-level ballet students. *J Strength Cond Res* 21: 1072–1076, 2007.
- Bojsen-Moller, J, Magnusson, SP, Rasmussen, LR, Kjaer, M, and Aagaard, P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* (1985) 99: 986–994, 2005.
- Bosco, C, Colli, R, Introvini, E, Cardinale, M, Tsarpela, O, Madella, A, Tihanyi, J, and Viru, A. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19: 183–187, 1999.
- Bosco, C, Iacovelli, M, Tsarpela, O, Cardinale, M, Bonifazi, M, Tihanyi, J, Viru, M, De Lorenzo, A, and Viru, A. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 81: 449–454, 2000.
- Brown, L. *Isokinetics in Human Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000.
- Candow, DG and Burke, DG. Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *J Strength Cond Res* 21: 204–207, 2007.
- Cardinale, M. *The Effects of Vibration on Human Performance and Hormonal Profile*. Budapest, Hungary: Semmelweis University Doctoral School, 2002.
- Cardinale, M and Wakeling, J. Whole body vibration exercise: Are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 39: 585–589, 2005.
- Cardinale, M, Leiper, J, Erskine, J, Milroy, M, and Bell, S. The acute effects of different whole body vibration amplitudes on the endocrine system of young healthy men: A preliminary study. *Clin Physiol Funct Imaging* 26: 380–384, 2006.
- Caserotti, P, Aagaard, P, and Puggaard, L. Changes in power and force generation during coupled eccentric-concentric versus concentric muscle contraction with training and aging. *Eur J Appl Physiol* 103: 151–161, 2008.
- Caserotti, P, Aagaard, P, Simonsen, EB, and Puggaard, L. Contraction-specific differences in maximal muscle power during stretch-shortening cycle movements in elderly males and females. *Eur J Appl Physiol* 84: 206–212, 2001.
- Colson, SS, Pensini, M, Espinosa, J, Garrandes, F, and Legros, P. Whole-body vibration training effects on the physical performance of basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 999–1006, 2010.
- Da Silva, ME, Fernandez, JM, Castillo, E, Nunez, VM, Vaamonde, DM, Poblador, MS, and Lancho, JL. Influence of vibration training on energy expenditure in active men. *J Strength Cond Res* 21: 470–475, 2007.
- de Ruiter, CJ, Van Raak, SM, Schilperoort, JV, Hollander, AP, and de Haan, A. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* 90: 595–600, 2003.
- Delecluse, C, Roelants, M, and Verschuere, S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1033–1041, 2003.
- Eckhardt, H, Wollny, R, Muller, H, Bartsch, P, and Friedmann-Bette, B. Enhanced myofiber recruitment during exhaustive squatting performed as whole-body vibration exercise. *J Strength Cond Res* 25: 1120–1125, 2011.
- Fernandez-Rio, J, Terrados, N, Fernandez-Garcia, B, and Suman, OE. Effects of vibration training on force production in female basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 1373–1380, 2010.
- Fjeldstad, CPI, Bembem, MG, and Bembem, DA. Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. *Maturitas* 20: 79–83, 2009.
- Gilsanz, V, Wren, TA, Sanchez, M, Dorey, F, Judex, S, and Rubin, C. Low-level, high-frequency mechanical signals enhance musculoskeletal development of young women with low BMD. *J Bone Miner Res* 21: 1464–1474, 2006.
- Goto, K and Takamatsu, K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jpn J Physiol* 55: 279–284, 2005.
- Harrison, AJ and Bourke, G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res* 23: 275–283, 2009.
- Hazell, TJ, Thomas, GW, Deguire, JR, and Lemon, PW. Vertical whole-body vibration does not increase cardiovascular stress to static semi-squat exercise. *Eur J Appl Physiol* 104: 903–908, 2008.
- Hong, JKK, Johnson, ST, and Hoffman, MA. Effects of whole body vibration on electromechanical delay, rate of force development, and presynaptic inhibition. *Int J Phys Rehab* 1: 30–40, 2010.

26. Issurin, VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 45: 324–336, 2005.
27. Jacobs, PL and Burns, P. Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res* 23: 51–57, 2009.
28. Komi, PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev* 12: 81–121, 1984.
29. Kvorning, T, Bagger, M, Caserotti, P, and Madsen, K. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol* 96: 615–625, 2006.
30. Lamont, HS, Cramer, JT, Bembem, DA, Shehab, RL, Anderson, MA, and Bembem, MG. Effects of 6 weeks of periodized squat training with or without whole-body vibration on short-term adaptations in jump performance within recreationally resistance trained men. *J Strength Cond Res* 22: 1882–1893, 2008.
31. Lamont, HS, Cramer, JT, Bembem, DA, Shehab, RL, Anderson, MA, and Bembem, MG. Effects of a 6-week periodized squat training program with or without whole-body vibration on jump height and power output following acute vibration exposure. *J Strength Cond Res* 23: 2317–2325, 2009.
32. Lamont, HS, Cramer, JT, Bembem, DA, Shehab, RL, Anderson, MA, and Bembem, MG. Effects of adding whole body vibration to squat training on isometric force/time characteristics. *J Strength Cond Res* 24: 171–183, 2010.
33. Ligouri, GC, Shoepe, TC, and Almstedt, HC. Whole body vibration training is osteogenic at the spine in college-age men and women. *J Hum Kinet* 31: 55–68, 2012.
34. Mahieu, NN, Witvrouw, E, Van de Voorde, D, Michilsens, D, Arbyn, V, and Van den Broecke, W. Improving strength and postural control in young skiers: Whole-body vibration versus equivalent resistance training. *J Athl Train* 41: 286–293, 2006.
35. Marin, PJ and Rhea, MR. Effects of vibration training on muscle strength: A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24: 548–556, 2010.
36. Martinez-Pardo, E, Romero-Arenas, S, and Alcaraz, PE. Effects of different amplitudes (high vs. low) of whole-body vibration training in active adults. *J Strength Cond Res* 27: 1798–1806, 2013.
37. Milanese, CPF, Simoni, C, and Zancanaro, C. Mild chronic whole body vibration does not affect bone mineral mass or density in young females. *J Hum Sport Exerc* 6: 474–479, 2011.
38. Rauch, F, Sievanen, H, Boonen, S, Cardinale, M, Degens, H, Felsenberg, D, Roth, J, Schoenau, E, Verschueren, S, and Rittweger, J. Reporting whole-body vibration intervention studies: Recommendations of the international society of musculoskeletal and neuronal interactions. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 10: 193–198, 2010.
39. Reyes, GF, Dickin, DC, Crusat, NJ, and Dolny, DG. Whole-body vibration effects on the muscle activity of upper and lower body muscles during the baseball swing in recreational baseball hitters. *Sports Biomech* 10: 280–293, 2011.
40. Rhea, MR, Alvar, BA, Burkett, LN, and Ball, SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35: 456–464, 2003.
41. Rhea, MR, Bunker, D, Marin, PJ, and Lunt, K. Effect of iTonic whole-body vibration on delayed-onset muscle soreness among untrained individuals. *J Strength Cond Res* 23: 1677–1682, 2009.
42. Rittweger, J. Vibration as an exercise modality: How it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol* 108: 877–904, 2010.
43. Rittweger, J, Beller, G, and Felsenberg, D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20: 134–142, 2000.
44. Roelants, M, Delecluse, C, Goris, M, and Verschueren, S. Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med* 25: 1–5, 2004.
45. Roelants, M, Verschueren, SM, Delecluse, C, Levin, O, and Stijnen, V. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res* 20: 124–129, 2006.
46. Ronnestad, BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 18: 839–845, 2004.
47. Rothmuller, C and Cafarelli, E. Effect of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue in humans. *J Physiol* 485(pt 3): 857–864, 1995.
48. Spiliopoulou, SI, Amiridis, IG, Tsigganos, G, Economides, D, and Kellis, E. Vibration effects on static balance and strength. *Int J Sports Med* 31: 610–616, 2010.
49. Torvinen, S, Kannu, P, Sievanen, H, Jarvinen, TA, Pasanen, M, Kontulainen, S, Jarvinen, TL, Jarvinen, M, Oja, P, and Vuori, I. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging* 22: 145–152, 2002.
50. Torvinen, S, Kannus, P, Sievanen, H, Jarvinen, TA, Pasanen, M, Kontulainen, S, Nenonen, A, Jarvinen, TL, Paakkala, T, Jarvinen, M, and Vuori, I. Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: A randomized controlled study. *J Bone Miner Res* 18: 876–884, 2003.
51. Verschueren, SM, Roelants, M, Delecluse, C, Swinnen, S, Vanderschueren, D, and Boonen, S. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: A randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res* 19: 352–359, 2004.
52. Viru, A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med* 13: 201–209, 1992.
53. Vissers, D, Verrijken, A, Mertens, I, Van Gils, C, Van de Sompel, A, Truijten, S, and Van Gaal, L. Effect of long-term whole body vibration training on visceral adipose tissue: A preliminary report. *Obes Facts* 3: 93–100, 2010.
54. Wilcock, IM, Whatman, C, Harris, N, and Keogh, JW. Vibration training: Could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res* 23: 593–603, 2009.

AUTO