



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Educación Física y Salud

Efectos del Entrenamiento Vibratorio y del Multi-
componente sobre la composición corporal y la
fuerza en mujeres postmenopáusicas.

Autora:

Dña. Elena Marín Cascales

Directores:

Dr. D. Jacobo Á. Rubio Arias

Dr. D. Pedro E. Alcaraz Ramón

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Educación Física y Salud

Efectos del Entrenamiento Vibratorio y del Multi-
componente sobre la composición corporal y la
fuerza en mujeres postmenopáusicas.

Autora:

Dña. Elena Marín Cascales

Directores:

Dr. D. Jacobo Á. Rubio Arias

Dr. D. Pedro E. Alcaraz Ramón

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Jacobo Á. Rubio Arias y el Dr. D. Pedro E. Alcaraz Ramón como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Efectos del Entrenamiento Vibratorio y del Multi-componente sobre la composición corporal y la fuerza en mujeres postmenopáusicas” realizada por Dña. Elena Marín Cascales 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 al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 31 de mayo de 2017.

AGRADECIMIENTOS

Suelo encontrar gestos de sorpresa cuando comento que los agradecimientos es uno de los apartados que más me cuesta. Pero es la verdad. Se hace difícil resumir en unas líneas lo agradecida que estoy por el apoyo y esfuerzo compartido. Y es que he tenido la suerte de estar muy arropada durante este proyecto.

Gracias a mis directores de tesis...al Dr. D. Jacobo Á. Rubio Arias, por todo el trabajo y dedicación a lo largo de este proceso. Gracias por la ilusión que pones en todo lo que haces, por ayudarme y guiarme sin importar ni día ni hora, por exigir siempre más, por tu constante atención y confianza. Gracias infinitas por hacer real lo que parecía imposible. Al Dr. D. Pedro E. Alcaraz, por creer en mí desde el principio y darme la oportunidad de seguir creciendo. Gracias por plantarme retos que suponen aventuras, por poner soluciones a lo que a veces llamamos problemas y por seguir contando conmigo abriendo nuevas puertas.

Al Dr. D. Domingo Ramos Campo y al Dr. D. Alejandro Martínez Rodríguez, por su colaboración e implicación en los artículos. Gracias por vuestros consejos.

A la Universidad Católica de Murcia, en la que inicié mis estudios hace ya unos años. Gracias por permitirme desarrollar las investigaciones necesarias para la finalización de este trabajo. Gracias por la subvención y por la beca recibida.

A todas las participantes que de manera desinteresada tuvieron la bondad de colaborar en el proyecto. Gracias por hacer de los meses de entrenamiento una fiesta y por ser dueñas de tantas sonrisas.

A mis compañeros de trabajo...excelentes profesionales, mejores personas. Es verdad eso que dicen que cuando te dedicas a lo que te gusta el tiempo pasa volando, pero si además tienes la suerte de compartir rutina con gente como ellos, las horas son todo un regalo. Gracias Linda por cuidarme tanto. A Cristian y Javi por provocarme tantas carcajadas. A Jorge y Tomás, que solo con una mirada entienden lo que ni siquiera he llegado a decir. Gracias por transmitirme tranquilidad y seguridad en momentos de angustia, por los ratos dentro y fuera del laboratorio, por disfrutar de la sensación de equipo, por aprender juntos, por

instaurar positivismo como nota dominante, por poner magia en cada detalle y sumar alegrías. No me puedo sentir más afortunada de estar codo con codo con vosotros. Sois increíbles.

Gracias a mis amigos y amigas por esos “confío en ti” tan ciegamente llenos de cariño, la paciencia por escuchar mis dudas, por mimarme y hacerme sentir más fuerte. En especial a Estefanía, porque la distancia es más corta si tienes amigas que valen oro. Por los “esta es mi chica”, las llamadas y mensajes inesperados que insuflan energía por doquier, por los miles de momentos entre risas, por crecer conmigo, por enseñarme lo bonito de la vida, por los años pasados y por lo que vendrán.

A mis padres...porque cualquier cosa que pueda decir de ellos se queda pequeña; por estar a mi lado en cada momento, por educarme a perseguir mis metas y ayudarme a conseguirlas. Sin haber podido elegir, me han tocado los mejores. A mi hermano, por no solo hacerme sentir capaz, sino por hacer cada día de mi vida más fácil y feliz. Ejemplo de constancia y superación. A mi abuela, por su amor incondicional. Al resto de familia, cuñada, primos, primas, tíos y tías, que soñáis conmigo y me ayudáis a seguir caminando. Qué bueno teneros cerca.

A todos un enorme GRACIAS, de corazón.

“El aumento del conocimiento depende por completo de la existencia del desacuerdo”

Karl Popper

Esta Tesis es un compendio de trabajos compuesto por 6 artículos. Entre los mismos, 4 artículos están publicados y otros 2 se encuentran en proceso de revisión. A continuación, se citan las referencias de dichos artículos.

Artículo 1

Rubio-Arias JA, Marín-Cascales E, Ramos-Campo DJ, Martínez-Rodríguez A, Chung LH, Alcaraz PE. The effect of whole-body vibration training on lean mass in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Menopause*. 2017 Feb;24(2): 225-31.

ISSN: 1072-3714 Online ISSN: 1530-0374 Factor de Impacto: 3.172
Categoría: Obstetrics & Gynecology Ranking: 10/80

Artículo 2

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ, Martínez-Rodríguez A, Chung LH, Rubio-Arias JA. Does Whole-Body Vibration Training improve BMD in Postmenopausal Women?: A systematic review and meta-analysis. *Age and Ageing*. En revisión.

ISSN: 0002-0729 Factor de Impacto: 4.201
Categoría: Geriatrics & Gerontology Ranking: 7/49

Artículo 3

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ, Rubio-Arias JA. Effects of Multi-component training on Lean and Bone Mass in Postmenopausal and Older Women: A systematic review. *Menopause*. 2017 Aug 14.

ISSN: 1072-3714 Online ISSN: 1530-0374 Factor de Impacto: 3.172
Categoría: Obstetrics & Gynecology Ranking: 10/80

Artículo 4

Marín-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 Weeks of Whole-Body Vibration Versus Multi-Component Training in Post-Menopausal Women. Rejuvenation Res. 2015 Dec;18(6):508-16.

ISSN: 1549-1684 Online ISSN: 1557-8577 Factor de Impacto: 3.664

Categoría: Geriatrics & Gerontology Ranking: 10/49

Artículo 5

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. Rejuvenation Res. 2017 Jan 19.

ISSN: 1549-1684 Online ISSN: 1557-8577 Factor de Impacto: 3.664

Categoría: Geriatrics & Gerontology Ranking: 10/49

Artículo 6

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 weeks of Whole-body Vibration Versus Multi-component training on Regional Bone Mass in Postmenopausal Women: A randomized controlled trial. Experimental Gerontology. En revisión.

ISSN: 0531-5565 Factor de Impacto: 3.350

Categoría: Geriatrics & Gerontology Ranking: 12/49

ÍNDICE

ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	17
ÍNDICE DE FIGURAS	19
ÍNDICE DE TABLAS	21
ÍNDICE DE ANEXOS	23
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	25
CAPÍTULO II. HIPÓTESIS	39
2.1. HIPÓTESIS GENERALES	41
2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	41
CAPÍTULO III. OBJETIVOS.....	45
3.1. OBJETIVOS GENERALES	47
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
CAPÍTULO IV. VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS	51
CAPÍTULO V. ESTUDIO N° 1: EFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO SOBRE LA MASA MAGRA EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META-ANÁLISIS.....	61
5.1. INTRODUCCIÓN	63
5.2. MÉTODO.....	65
5.2.1. Diseño del estudio.....	65
5.2.2. Fuentes de información y proceso de recopilación de datos	65
5.2.3. Criterios de elegibilidad	66
5.2.4. Evaluación de la calidad.....	67
5.2.5. Métodos estadísticos	67
5.3. RESULTADOS	68
5.4. DISCUSIÓN	76
5.5. CONCLUSIONES.....	78
CAPÍTULO VI. ESTUDIO N° 2: ¿EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO MEJORA LA DMO EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS?: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META-ANÁLISIS	81
6.1. INTRODUCCIÓN	83
6.2. MÉTODO.....	85
6.2.1. Diseño del estudio.....	85
6.2.2. Fuentes de información y proceso de recopilación de datos	85

6.2.3. Criterios de elegibilidad	86
6.2.4. Evaluación de la calidad.....	87
6.2.5. Métodos estadísticos	87
6.3. RESULTADOS	88
6.3.1. Características de los estudios incluidos.....	88
6.3.2. Características de las intervenciones	91
6.3.3. Análisis de los efectos principales	93
6.3.4. Análisis de subgrupos	97
6.4. DISCUSIÓN	114
6.5. CONCLUSIONES.....	118
CAPÍTULO VII. ESTUDIO Nº 3: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO MULTI- COMPONENTE SOBRE LA MASA MUSCULAR Y LA MASA ÓSEA EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS Y MAYORES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	119
7.1. INTRODUCCIÓN	121
7.2. MÉTODO.....	123
7.2.1. Fuentes de información y perfil de búsqueda.....	123
7.2.2. Criterios de elegibilidad	123
7.2.3. Proceso de selección.....	124
7.2.4. Evaluación del riesgo de sesgo.....	124
7.3. RESULTADOS	124
7.3.1. Selección de los estudios	124
7.3.2. Características de los estudios incluidos.....	126
7.3.2.1. <i>Mujeres postmenopáusicas</i>	127
7.3.2.2. <i>Mujeres mayores</i>	132
7.4. DISCUSIÓN	137
7.4.1. Resumen de los resultados.....	137
7.4.2. Limitaciones	140
7.5. CONCLUSIONES.....	140
CAPÍTULO VIII. ESTUDIO Nº 4: EFECTOS DE 12 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI- COMPONENTE EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS	143
8.1. INTRODUCCIÓN	145
8.2. MÉTODO.....	148

8.2.1. Diseño experimental	148
8.2.2. Participantes.....	148
8.2.3. Composición corporal	149
8.2.4. Mediciones de fuerza isocinética	149
8.2.5. Entrenamiento	151
8.2.5.1. <i>Entrenamiento vibratorio</i>	151
8.2.5.2. <i>Entrenamiento multi-componente</i>	152
8.2.6. Análisis estadístico.....	152
8.3. RESULTADOS	153
8.3.1. Composición corporal	155
8.3.2. Fuerza isocinética	157
8.3.2.1. <i>Rodilla</i>	157
8.3.2.2. <i>Tobillo</i>	159
8.4. DISCUSIÓN	162
CAPÍTULO IX. ESTUDIO Nº 5: EFECTOS DE 24 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA FUERZA MUSCULAR Y LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIZADO	169
9.1. INTRODUCCIÓN	171
9.2. MÉTODO.....	173
9.2.1. Diseño experimental	173
9.2.2. Participantes.....	174
9.2.3. Composición corporal	174
9.2.4. Mediciones de fuerza isocinética	175
9.2.5. Entrenamiento	175
9.2.5.1. <i>Entrenamiento vibratorio</i>	176
9.2.5.2. <i>Entrenamiento multi-componente</i>	177
9.2.6. Análisis estadístico.....	177
9.3. RESULTADOS	178
9.3.1. Composición corporal	179
9.3.2. Fuerza isocinética	181
9.3.2.1. <i>Rodilla</i>	181
9.3.2.2. <i>Tobillo</i>	181

9.4. DISCUSIÓN	184
CAPÍTULO X. ESTUDIO N° 6: EFECTOS DE 24 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA MASA ÓSEA REGIONAL EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIZADO	189
10.1. INTRODUCCIÓN	191
10.2. MÉTODO.....	194
10.2.1. Diseño experimental	194
10.2.2. Participantes.....	194
10.2.3. Densidad mineral ósea	195
10.2.4. Entrenamiento	195
10.2.4.1. <i>Entrenamiento vibratorio</i>	196
10.2.4.2. <i>Entrenamiento multi-componente</i>	197
10.2.5. Análisis estadístico.....	197
10.3. RESULTADOS	198
10.3.1. Densidad mineral ósea	199
10.4. DISCUSIÓN	202
CAPÍTULO XI. RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	207
CAPÍTULO XII. CONCLUSIONES	221
CAPÍTULO XIII. LIMITACIONES.....	227
CAPÍTULO XIV. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	231
CAPÍTULO XV. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	235
CAPÍTULO XVI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	239
CAPÍTULO XVII. ANEXOS	269

ABREVIATURAS UTILIZADAS

Las abreviaturas de los convenios de unidades no se incluyen en este listado al existir normas internacionalmente aceptadas sobre su uso. Tampoco se han insertado las abreviaturas de uso universal en estadística, ni las del diccionario de la RAE.

CG	Grupo control
CIVM o MVIC	Contracción isométrica voluntaria máxima
CMO o BMC	Contenido mineral óseo
DHEA	Dehidroepiandrosterona
DMO o BMD	Densidad mineral ósea
DXA	Densitómetro, densitometría
ECA	Ensayo controlado aleatorizado
EMG	Actividad eléctrica del músculo
g	Medida intuitiva de aceleración. 1 g = gravedad estándar (9.81 m/s ²)
IMC	Índice de masa corporal
MG o FM	Masa grasa
MLG o FFM	Masa libre de grasa
MM o LM	Masa magra
MT	Entrenamiento multi-componente
MTG	Grupo entrenamiento multi-componente
PC	Peso corporal
WBV	Whole-body vibration, entrenamiento en plataforma vibratoria
WBVG	Grupo entrenamiento vibratorio

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO V.

Figura 1. Diagrama de flujo	66
Figura 2. SMD entre la masa magra (kg) post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV	74
Figura 3. SMD en la masa magra (kg) post-intervención entre mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV y control	75

CAPÍTULO VI.

Figura 1. Diagrama de flujo	86
Figura 2. Efectos de WBV sobre la DMO total	94
Figura 3. Efectos de WBV sobre la DMO del cuello del fémur.....	95
Figura 4. Efectos de WBV sobre la DMO de la columna lumbar	96
Figura 5. Efectos de WBV sobre la DMO del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas < 65 años.....	98
Figura 6. Efectos de WBV sobre la DMO de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas < 65 años.....	99

CAPÍTULO VII.

Figura 1. Diagrama de flujo	125
Figura 2. Evaluación del riesgo de sesgo	126
Figura 3. Resumen del riesgo de sesgo	127

CAPÍTULO VIII.

Figura 1. Diagrama de flujo	154
Figura 2. Cambios en el torque máximo isocinético ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$) en extensión de rodilla a velocidades de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ y $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ para cada grupo	159
Figura 3. Cambios en el torque máximo isocinético ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$) en eversión e inversión de tobillo a velocidades de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ y $120^{\circ} \cdot s^{-1}$ para cada grupo.....	161

CAPÍTULO IX.

Figura 1. Diagrama de flujo	179
--	-----

Figura 2. Cambios en el torque máximo isocinético ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$) en flexión plantar, flexión dorsal, inversión y eversión de tobillo a velocidades de $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ y $120^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ para cada grupo..... 182

CAPÍTULO X.

Figura 1. Diagrama de flujo 199

Figura 2. Porcentaje de cambio en la masa ósea y comparación del tamaño del efecto entre grupos..... 202

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO V.

Tabla 1. Características del entrenamiento vibratorio y de la medición de masa magra o masa muscular	70
Tabla 2. Descripción de los estudios incluidos.....	71
Tabla 3. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la masa magra o masa muscular.....	72

CAPÍTULO VI.

Tabla 1. Características principales de los estudios incluidos en el meta-análisis	90
Tabla 2. Características del entrenamiento vibratorio y de la medición de masa ósea de los estudios incluidos en el meta-análisis.....	92
Tabla 3. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO del cuello del fémur de los estudios incluidos en el meta-análisis	101
Tabla 4. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO de la columna lumbar de los estudios incluidos en el meta-análisis.....	105
Tabla 5. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO del cuello del fémur de los estudios incluidos en el meta-análisis en mujeres postmenopáusicas < 65 años.....	109
Tabla 6. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO de la columna lumbar de los estudios incluidos en el meta-análisis en mujeres postmenopáusicas < 65 años.....	111

CAPÍTULO VII.

Tabla 1. Características de los programas de entrenamiento multi-componente sobre la masa ósea y muscular en mujeres postmenopáusicas	128
Tabla 2. Características de los programas de entrenamiento multi-componente sobre la masa ósea y muscular en mujeres mayores.....	133

CAPÍTULO VIII.

Tabla 1. Datos descriptivos de los participantes	154
Tabla 2. Cambios en los parámetros de composición corporal.....	156

Tabla 3. Cambios en el torque máximo isocinético (N·m) de los extensores de rodilla a velocidades de 60°s^{-1} y 270°s^{-1} , y para la eversión e inversión de tobillo a velocidades de 60°s^{-1} y 120°s^{-1}	158
--	-----

CAPÍTULO IX.

Tabla 1. Características de los programas de entrenamiento	176
Tabla 2. Cambios en los parámetros de la composición corporal.....	180
Tabla 3. Cambios en la fuerza isocinética.....	183

CAPÍTULO X.

Tabla 1. Características de los programas de entrenamiento	196
Tabla 2. Datos descriptivos de los participantes	198
Tabla 3. Cambios en los parámetros óseos.....	201

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Artículo 1: THE EFFECT OF WHOLE-BODY VIBRATION ON LEAN MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS	271
ANEXO 2. Artículo 2: DOES WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING IMPROVE BMD IN POSTMENOPAUSAL WOMEN?: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS	281
ANEXO 3. Artículo 3: EFFECTS OF MULTI-COMPONENT TRAINING ON LEAN AND BONE MASS IN POSTMENOPAUSAL AND OLDER WOMEN: A SYSTEMATIC REVIEW.....	309
ANEXO 4. Artículo 4: EFFECTS OF 12 WEEKS OF WHOLE BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING IN POSTMENOPAUSAL WOMEN	323
ANEXO 5. Artículo 5: EFFECTS OF 24 WEEKS OF WHOLE BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING ON MUSCLE STRENGTH AND BODY COMPOSITION IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL.....	337
ANEXO 6. Artículo 6: EFFECTS OF 24 WEEKS OF WHOLE-BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING ON REGIONAL BONE MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL	349

I - INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Gracias al desarrollo tecnológico y sanitario producido en los últimos años se ha originado un aumento de la esperanza de vida a nivel mundial (1) y, con ello, un incremento sustancial de la proporción de personas mayores (2). Este aumento, que a priori es muy positivo desde un punto de vista social, no lo es tanto desde un punto de vista del gasto sanitario, ya que estas personas necesitan una mayor atención individualizada debido a los problemas asociados con el envejecimiento (3). En 2050, se prevé que el número de personas de 60 años de edad o mayores alcance los 2.100 millones, lo que supone más del doble con respecto a 2015. De esta manera, el porcentaje de habitantes mayores pasará del 12% en 2015 al 22% en 2050 (4).

El envejecimiento se entiende como un fenómeno continuo, universal e irreversible que involucra un conjunto de cambios fisiológicos que afectan a la función de los distintos sistemas corporales e implica un aumento en la prevalencia de enfermedades. Durante el proceso de envejecimiento, y en relación a la composición corporal, se produce un incremento de la masa grasa (MG), así como un descenso de la masa muscular y ósea que conlleva a la aparición de diversas patologías asociadas como la obesidad, sarcopenia, obesidad sarcopénica u osteoporosis, repercutiendo negativamente en la salud y en la calidad de vida de aquellos que las padecen. Aunque los cambios en la masa corporal dependen de múltiples factores como el sexo, la raza y la actividad física, la evolución de dichos cambios sigue un patrón similar en todas las personas (5, 6).

Se ha demostrado científicamente que con el paso de los años se produce un aumento de la masa corporal (7), y que ésta se reduce o estabiliza después de los 60 años de edad. A partir de esta edad, la masa corporal experimenta una disminución correspondiente al 0.3% por año (8). Sin embargo, la preocupación reside en las modificaciones de los diferentes elementos de la composición corporal que pueden llegar a desencadenar diferentes patologías (9). Por ejemplo, la cantidad de tejido graso varía con la edad. En este sentido, Guo et al. (7) examinaron los cambios en la composición corporal, usando datos de un estudio longitudinal, en un grupo de 102 hombres y 108 mujeres con edades

comprendidas entre los 44 y los 66 años. Los autores informaron que la MG aumenta 0.3 y 0.4 kg por año en hombres y mujeres, respectivamente. Además, la distribución de la MG cambia durante el proceso de envejecimiento, acumulándose en mayor proporción en la región abdominal y viéndose reducidos los niveles de grasa subcutánea (5, 10). Datos recientes señalan que alrededor del 67% de la población española mayor de 65 años presenta sobrepeso u obesidad (tomando el porcentaje de grasa corporal como indicador) y que el 56% de la población sufre obesidad central, con valores diferentes entre sexos (34.1% para hombres y 62.5% para mujeres) (11). En personas entre 60 y 79 años de edad, se establece como sobrepeso cuando los valores superan el 25 y 36%, y como obesidad cuando están por encima del 30 y 42%, en hombres y mujeres respectivamente. Un porcentaje de grasa corporal por debajo del 13% en hombres y del 24% en mujeres es considerado como saludable (12). Igualmente, existe un aumento del 0.4% anual de la grasa visceral en hombres adultos y mayores y en mujeres postmenopáusicas, y un incremento de la grasa intramuscular (13). Estos cambios en los depósitos grasos pueden derivar en el desarrollo de obesidad en personas de avanzada edad, vinculada a un aumento de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, hipertensión, colesterol elevado, entre otras (14, 15).

Por otro lado, la masa muscular experimenta un descenso anual del 1 al 2% tras los 50 años, mientras que la fuerza disminuye un 1.5% por año (16), alcanzando una reducción del 3% anual después de los 60 años (17-20). Esta es la principal consecuencia de la sarcopenia y se produce en un mayor grado en mujeres mayores que en hombres, debido a que éstas presentan menos cantidad de masa muscular (18) y a la pérdida acelerada que sufren tras la menopausia. Un estudio transversal investigó los efectos de la edad y el sexo sobre la masa muscular y la fuerza en una muestra compuesta por 200 hombres y mujeres con edades comprendidas entre 48 y 72 años. Los sujetos se dividieron en tres grupos de edad: 45-64, 55-64 y 65-78 años, y la fuerza de los extensores y flexores de rodilla y del codo se evaluó con un dinamómetro isocinético. Los resultados indicaron que los sujetos de más edad presentaron niveles de fuerza significativamente más bajos, independientemente del sexo. A $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ las diferencias de fuerza absoluta entre los grupos de menor y mayor edad oscilaron entre 18.8 y 21% y, a $240^{\circ}\cdot s^{-1}$ variaron entre 18.7 y 23%. Además, las mujeres

presentaron valores de fuerza hasta un 40% menor a los obtenidos por los hombres en el tren inferior, tanto a velocidades lentas como rápidas. Los autores sugieren que la masa muscular es el principal factor que explica las diferencias de fuerza entre grupos de edad y sexo (21).

La disminución de la masa muscular con el envejecimiento se atribuye fundamentalmente a la reducción en el tamaño de las fibras musculares tipo II (22). En este sentido, invertir o prevenir su atrofia debe considerarse el objetivo principal en el diseño de métodos de intervención eficaces para evitar o tratar la sarcopenia (22). Diferentes estudios han indicado pérdidas con la edad en el área de sección transversal del muslo del 25-40% (23, 24). Además, el descenso de la masa muscular y de la fuerza es más prominente en extremidades inferiores después de los 50 años, pudiendo ser parcialmente responsable la reducción de la cantidad e intensidad de actividad física asociada con la edad, en donde los músculos del tren inferior presentan una mayor participación en la mayoría de las actividades (24). La atrofia que soportan los músculos de las personas mayores puede deberse a la atenuación en la producción de hormonas anabólicas como la testosterona o la hormona del crecimiento, presentes en menor medida en mujeres (25).

En cuanto a la masa ósea, se ha observado que experimenta cambios durante el transcurso de la vida, produciéndose los mayores aumentos durante la infancia y la adolescencia, alcanzando su pico máximo a los 30 años, estabilizándose en la etapa adulta y decreciendo durante el proceso de envejecimiento (26). En las personas mayores, se produce una inestabilidad en el ciclo de formación y reabsorción ósea, que conduce a un aumento de la actividad osteoclástica y como consecuencia a una pérdida neta de hueso. Las mujeres presentan menos masa ósea que los hombres en todas las franjas de edad (27) y soportan una tasa de pérdida superior (5% anual) en los primeros años posteriores a la menopausia (28). Por otra parte, el descenso en los niveles de testosterona que se produce de forma más paulatina que los de estrógeno, podría explicar el declive acelerado de masa ósea en mujeres.

Como se ha citado anteriormente las mujeres presentan mayores problemas que los hombres por los importantes cambios que acontecen tras la menopausia (29-31). Además, el hecho de que la expectativa de vida de la mujer haya

aumentado considerablemente en las últimas décadas, implica que las mujeres pueden pasar una tercera parte de su vida en fase postmenopáusica, agravando la presencia de enfermedades crónicas características de la edad (32).

La menopausia se conoce como la interrupción permanente de la menstruación a causa del declive en la secreción de estrógenos por pérdida de la función o depleción folicular del ovario, lo que supone el fin del estado reproductivo de la mujer. Se entiende por menopausia natural cuando se da un periodo de 12 meses consecutivos de amenorrea y como postmenopausia los años posteriores después del año del cese de la menstruación. La edad promedio de una mujer en tener su última menstruación ocurre alrededor de los 51 años (33), si bien previamente experimenta desajustes en su ciclo, cambios hormonales (34), sangrados irregulares, entre otros (35). La reducción de los niveles circulantes de estrógeno ocasiona alteraciones en varios sistemas del organismo, entre los que se incluyen cambios vasomotores (36, 37), trastornos del sueño (38), cefaleas (39), modificaciones cardiovasculares (40), metabólicas (41), del sistema músculo-esquelético (42) y del estado de ánimo (43, 44). Los estrógenos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de los huesos, controlando el equilibrio entre osteoblastos y osteoclastos. Por consiguiente, la deficiencia de estrógenos en la menopausia altera los sistemas de formación y resorción ósea, por lo que la pérdida de hueso supera al renovado (29, 45).

Aunque se observa un incremento en el déficit de masa ósea con el envejecimiento, éste se ve acentuado en la mujer por el descenso de la función de los estrógenos tras la menopausia. La medición de la densidad mineral ósea (DMO), valor que generalmente se obtiene por absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), se considera el principal determinante en el diagnóstico de la osteoporosis y de su severidad (46).

La pérdida excesiva de hueso que aparece en las mujeres durante la postmenopausia intensifica el riesgo de osteoporosis, enfermedad cuya relevancia clínica reside en el incremento del número de fracturas que resultan de ella. Tanto las fracturas como las complicaciones derivadas de ellas se relacionan con una elevada tasa de hospitalización y de mortalidad (47). Alrededor del 50% de las mujeres y el 20% de los hombres mayores de 50 años experimentan una fractura debido a la osteoporosis en algún momento de su vida (48). Aunque todos los

huesos son susceptibles a las fracturas, las de cadera, columna lumbar y muñeca son las más prevalentes (49). En concreto, las fracturas osteoporóticas que se dan con mayor frecuencia son de tipo vertebral, sin embargo tienen el inconveniente que solo es sintomática en el 30% de los casos, y escasamente una tercera parte de ellas requieren atención médica específica, el resto son infravaloradas y quedan diagnosticadas como dorsalgias o lumbalgias por artrosis (50). El mayor impacto sobre la calidad de vida del paciente que ha sufrido una fractura vertebral es que este hecho por sí solo constituye el factor principal de riesgo para sufrir una nueva fractura (49). El principal efecto de las fracturas vertebrales es el consecuente dolor, que ocasiona la inmovilización de la persona y el consumo elevado de analgésicos. Además, el dolor va a provocar complicaciones respiratorias sobre todo en los pacientes con enfermedades pulmonares (51).

Sin embargo, las fracturas del cuello del fémur son las que más se conocen desde un punto de vista cuantitativo puesto que demandan hospitalización y muestran consecuencias más graves (52). Del 12 al 20% de las personas mayores de 50 años con fractura de cadera fallecerá un año después del accidente y alrededor del 50% de los pacientes que sobreviven estarán incapacitados, necesitando ayuda para el desarrollo de las tareas de la vida cotidiana. Únicamente un tercio de los que sobreviven a este tipo de fractura, alcanzan su nivel de vida anterior (49). Un total de 56 millones de personas en todo el mundo sufren fracturas por osteoporosis, y es en Europa y América donde se registran las mayores cifras, representando el 51% de la carga mundial (49). El 61% de las fracturas ocurren en la población femenina. En el año 2000, el número aproximado de nuevas fracturas por osteoporosis fue de 9 millones, de las cuales 1.6 millones correspondían a fracturas de cadera. En cuanto a la repercusión económica de las fracturas de cadera en España, los costes anuales calculados se estiman en unos 90.000 euros por caso, cubriendo solamente los gastos de intervención y hospitalización (53).

Es importante mencionar que además de la edad y del sexo, existen otros factores de riesgo que influyen en el aumento de fracturas en mujeres postmenopáusicas. Como factores asociados en el desarrollo de osteoporosis se encuentran la raza blanca u oriental, el historial familiar, el tiempo transcurrido desde la menopausia, los antecedentes personales de fractura, el consumo

excesivo de alcohol y tabaco, el déficit en la ingesta de calcio y vitamina D, el bajo índice de masa corporal y el sedentarismo (54-59). La identificación de algunos de estos factores, así como de las personas que los presenten permitirá optimizar y orientar los métodos de prevención.

Por otro lado, se hace necesario destacar que una de las principales causas por las que se producen fracturas, sobre todo de cadera, son las caídas (60). Los colectivos que contemplan un alto riesgo de sufrir fracturas asociadas con las caídas son los que presentan bajos niveles de masa ósea. La pérdida de DMO aumenta el riesgo de fractura hasta 2.5 veces, sin embargo las caídas incrementan el riesgo de fractura de cadera entre 3-5 veces (61). A pesar de que las caídas deben ser consideradas como un episodio de un complejo sistema de factores, el déficit de fuerza máxima y explosiva del tren inferior se considera el factor de mayor relevancia en personas mayores, siendo las mujeres postmenopáusicas la población más afectada (62).

En la Unión Europea, el 50% de las muertes en adultos mayores se deben a lesiones resultantes de una caída (63). Además, las mujeres de edad avanzada con osteoporosis pueden tener una mayor probabilidad de caída debido a un déficit del equilibrio y de la fuerza muscular en comparación con aquellas mujeres de la misma edad que no padecen esta enfermedad (64). Por lo tanto, toda intervención que tenga como objetivo la prevención de fracturas no deberá estar únicamente encaminada a la mejora de la fortaleza ósea, sino que también será determinante la disminución de la tendencia a caer con un aumento de la fuerza y la potencia de los miembros inferiores.

Son múltiples las estrategias que tienen como finalidad alcanzar mayores picos de masa ósea, de forma que la DMO permanezca dentro de los rangos considerados como normales y prevenir así la posibilidad de sufrir fracturas en mujeres postmenopáusicas. Existe una diversa gama de tratamientos de naturaleza farmacológica, entre los que se encuentran la terapia de reemplazo hormonal, la calcitonina, la teripatida, el flúor, los bifosfonatos, la hormona paratiroidea y la suplementación con calcio y vitamina D (65). Sin embargo, algunos trabajos han encontrado contraindicaciones en el uso de algunos de estos fármacos por los efectos secundarios que pueden llegar a desarrollar a largo

plazo, por la escasa absorción en el hueso y por el coste económico que suponen (66).

Como herramienta alternativa a las terapias con medicamentos, se señalan una adecuada alimentación y la práctica de ejercicio físico como instrumentos con capacidad efectiva para paliar la pérdida de DMO en la etapa postmenopáusica, así como conseguir mejoras en la masa grasa, masa muscular y fuerza. Un estilo de vida activo se relaciona de manera positiva con una mejora de la condición física y con modificaciones de la composición corporal (67, 68). No obstante, el ejercicio físico se plantea de múltiples formas, obteniéndose resultados dispares y creando la necesidad de seguir investigando para forjar las bases óptimas que combatan los cambios que se producen con la menopausia. Entre los métodos de entrenamiento más destacados y que han mostrado mejoras en la composición corporal y la fuerza, se encuentran el entrenamiento con sobrecargas, el vibratorio y el multi-componente (69-71).

Uno de los métodos de ejercicio que ha despertado interés en la comunidad científica desde hace unos años, es el entrenamiento vibratorio. Son numerosas las investigaciones que se están llevando a cabo sobre los efectos que este tipo de trabajo tiene sobre el cuerpo humano (72-78). Esta práctica de ejercicio genera un estímulo mecánico por la transmisión de movimientos oscilatorios sinusoidales. Se distinguen dos modos de empleo de las vibraciones. El primero de ellos, ocurre cuando la vibración se aplica directamente sobre el músculo o tendón a entrenar (79). En el segundo caso, el estímulo se transmite de forma indirecta a los músculos a través de plataformas vibratorias. En esta última modalidad, el sujeto permanece sobre la base de la plataforma manteniendo la posición de sentadilla y las vibraciones son transmitidas a todo el cuerpo (el término en inglés Whole-Body Vibration, WBV).

Las vibraciones forman parte de muchas actividades presentes en la vida diaria. Las podemos encontrar en medios de transporte, trabajo, deporte, etc. Inicialmente, el estudio de las vibraciones las trató como nocivas para el organismo de los trabajadores, los cuales estaban sometidos a ellas durante largos periodos de tiempo a magnitudes muy elevadas. Es por ello que en el plano de la medicina del trabajo, se efectuaron normativas con el fin de regularizar su exposición. Sin embargo, con el paso del tiempo, los diferentes parámetros de

vibración (frecuencia, amplitud, tiempo de exposición y ejercicios) se han ido adaptando, pues el resultado difiere según se manipulen estas variables (80).

Numerosos trabajos científicos han examinado los efectos tanto agudos como crónicos del entrenamiento sobre plataformas vibratorias. Los datos ofrecen mejoras en el control postural y en el equilibrio (81-83), en la fuerza isométrica e isocinética concéntrica de los extensores de rodilla (84, 85), en la potencia muscular (86), cambios en la respuesta hormonal (87, 88), beneficios sobre la DMO (89-93), disminución en el número de caídas (94), composición corporal (76, 95), entre otros. Por este motivo, nos hace pensar que el entrenamiento sobre plataforma vibratoria, promovido como una herramienta potencialmente segura y como alternativa a programas de entrenamiento tradicionales, podría ser un buen tratamiento a emplear con el fin de prevenir e incluso revertir los cambios propios de la menopausia.

Existe una dilatada bibliografía que se ha centrado en explicar los efectos del entrenamiento vibratorio sobre la mejora de la fuerza y la potencia muscular. Los estudios señalan que las ganancias se producen como resultado de un estado de mayor eficiencia neuromuscular (74, 96, 97). El entrenamiento mediante WBV genera una carga mecánica a partir de la cual la actividad refleja del músculo (EMG) se ve alterada de forma significativa. Los receptores musculares (husos musculares y órganos tendinosos de Golgi) se activan con las vibraciones, desencadenando lo que se conoce como “reflejo tónico vibratorio”. Son las terminaciones primarias de los husos musculares, por su alta sensibilidad a los cambios de longitud, las que inician la contracción refleja. Posteriormente, el impulso viaja desde las fibras aferentes hacia la médula espinal y se produce la sinapsis con las α -motoneuronas. La señal se transmite de vuelta a las fibras musculares provocando su contracción (98).

En cuanto a la respuesta del entrenamiento vibratorio en la composición corporal, se han encontrado mejoras en la pérdida del contenido graso y aumento de la masa muscular (70, 86, 99). Aunque se han detectado adaptaciones sustanciales en la composición corporal con el ejercicio vibratorio (fundamentalmente por el incremento de músculo que puede conllevar a la reducción de la grasa debido al aumento en el gasto energético) no todos los estudios hallan las mismas conclusiones en mujeres postmenopáusicas (92). Con

respecto a la masa ósea, parece que las mejoras se deben principalmente a consecuencia de las fuerzas de impacto que se producen en el hueso tras la aplicación de estímulos vibratorios, colaborando así en el proceso de osteogénesis (100-102). Sin embargo, la carga influye en los resultados y dado que en mujeres postmenopáusicas los efectos encontrados son contradictorios, es de interés su estudio en mayor profundidad con la finalidad de encontrar el protocolo más beneficioso para esta población que sufre en mayor escala cambios en la composición corporal y pérdidas sobre la estructura ósea.

Existe bastante controversia entre los autores acerca de la frecuencia, la amplitud, el tiempo de exposición a la vibración, el tiempo de descanso y postura empleada en los ejercicios, ya que dependiendo de la combinación de estas variables se lograrán diversas adaptaciones. Entre los parámetros considerados como ideales en el trabajo sobre plataformas vibratorias, se encuentran frecuencias superiores a 20 Hz e inferiores a 45 Hz (103), y aceleraciones hasta 15 g (104). Son mayores las respuestas a largo plazo con el uso de amplitudes entre 8 y 10 mm (103), sin embargo se establecen como límites de seguridad amplitudes entre 1 y 10 mm. En relación a la duración del entrenamiento, se recomiendan volúmenes de entre 30 s a 1060 s, si bien se alcanzan mejores resultados cuando la exposición a la vibración se prolonga. La mayoría de los estudios emplean 60 s como tiempo de descanso, puesto que se ha observado que con más de 1 min de recuperación los efectos agudos se ven disminuidos (105). El ejercicio estático en posición de sentadilla (angulación de la rodilla y de la cadera de 120°) es el más utilizado (97), pero recientemente se ha demostrado que es el ejercicio dinámico el que ofrece mayores adaptaciones (103, 106).

Por otro lado, y a pesar de que el entrenamiento WBV parece ser efectivo en el desarrollo de una óptima composición corporal y fuerza, gran cantidad de investigaciones están encontrando que aquellos programas que combinan diversos tipos de ejercicio físico [es decir, entrenamiento multi-componente (el término en inglés: multi-component training, MT) son un método eficaz para la disminución de los niveles de grasa (70, 71), mejora de la fuerza y la masa muscular, así como contra la pérdida de hueso (107). Estudios previos han demostrado que el entrenamiento de fuerza induce hipertrofia muscular, incrementa la fuerza y ofrece mejoras tanto en grasa como en hueso (108) a causa

de la carga mecánica que provoca en el esqueleto colaborando en el proceso de formación ósea (109). La literatura también ha sugerido que los métodos de entrenamiento que incluyen actividades de alto impacto generan resultados positivos en la mejora de la masa ósea (110), pero los efectos no están claros en mujeres postmenopáusicas. Los protocolos de ejercicio multi-componente basados en entrenamiento de fuerza de alta intensidad, aeróbico y de alto impacto están ganando una mayor aceptación y parecen ser los más beneficiosos en el aumento de estas variables (69). En esta línea, Chien et al. (111) demostraron que tras la aplicación durante 24 semanas de un protocolo de MT en el que incluyeron ejercicios aeróbicos y de impacto, se produjo un aumento en la DMO del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas, mientras que la masa muscular no experimentó ningún cambio significativo después de la intervención. Sin embargo, Kwon et al. (112) señalaron que un programa de la misma duración de MT, compuesto por ejercicios aeróbicos de bajo impacto, entrenamiento con sobrecargas y equilibrio, fue capaz de mejorar la masa muscular en mujeres mayores, pero no encontraron adaptaciones en la masa ósea de la columna vertebral ni del cuello fémur. El efecto sobre la fuerza y la composición corporal siguiendo programas de MT difiere entre grupos de edad y sexo, existiendo bastante controversia en mujeres postmenopáusicas (111, 113). La explicación parece estar en la gran variedad metodológica de las intervenciones de MT, la intensidad y duración, diferencias con respecto a las características de los participantes (datos basales) y las regiones anatómicas estudiadas (69). Por lo tanto, se requieren más investigaciones con programas de MT específicos que aporten cargas óptimas de entrenamiento y permitan esclarecer los efectos sobre la fuerza y la composición corporal en mujeres postmenopáusicas.

Debido a la falta de acuerdo en relación a los efectos que produce el entrenamiento vibratorio y el multi-componente para un mejor desarrollo de la composición corporal y de la fuerza, surge la necesidad de revisar la bibliografía existente en mujeres postmenopáusicas. Además, dada la alta heterogeneidad entre los protocolos de entrenamiento vibratorio y entre los de multi-componente, con el uso de variables diferentes (frecuencia, duración, intensidad, tiempos de trabajo y de descanso), es importante identificar cuáles de ellas pueden ser determinantes en las posibles adaptaciones producidas tras la aplicación de ambas intervenciones en mujeres postmenopáusicas. A su vez, son escasos los

trabajos científicos enfocados a analizar los efectos de estos entrenamientos sobre la composición corporal y la fuerza en esta población, y dado que los resultados presentan cierta controversia acerca de su eficacia, son precisos ensayos adicionales que permitan continuar estudiando sus efectos, optimizar protocolos y determinar el tipo de programa ideal que genere mayores beneficios en mujeres postmenopáusicas.

II - HIPÓTESIS

II. HIPÓTESIS

2.1. HIPÓTESIS GENERALES

- Un análisis adecuado de la literatura científica en relación al entrenamiento vibratorio y el multi-componente nos puede aportar indicios sobre si estos tipos de entrenamiento producen un aumento de la masa muscular y de la masa ósea en mujeres postmenopáusicas.

- El entrenamiento vibratorio y el multi-componente genera adaptaciones sobre la composición corporal y la fuerza del tren inferior en mujeres postmenopáusicas.

- El entrenamiento multi-componente produce mayores adaptaciones en la composición corporal y la fuerza del tren inferior en mujeres postmenopáusicas.

2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Estudio nº 1:

- El entrenamiento vibratorio produce un aumento de la masa magra en mujeres postmenopáusicas.

Estudio nº 2:

- El entrenamiento vibratorio produce un aumento de la densidad mineral ósea total, del cuello del fémur y de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas y mayores.

- La frecuencia de vibración y la duración de la sesión de entrenamiento son variables modificadoras del efecto del entrenamiento vibratorio sobre la masa ósea.

Estudio nº 3:

- El entrenamiento multi-componente produce un aumento de la masa muscular y de la masa ósea analizada en diferentes regiones anatómicas en mujeres postmenopáusicas y mayores.

Estudio nº 4:

- El entrenamiento vibratorio y el multi-componente durante 12 semanas producen adaptaciones a nivel de composición corporal y mejoran los valores de fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

- El entrenamiento multi-componente durante 12 semanas genera mayores adaptaciones que el entrenamiento vibratorio sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

Estudio nº 5:

- El entrenamiento vibratorio y el multi-componente durante 24 semanas producen adaptaciones a nivel de composición corporal y mejoran los valores de fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

- El entrenamiento multi-componente durante 24 semanas genera mayores adaptaciones que el entrenamiento vibratorio sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de la rodilla y de los músculos estabilizadores de la articulación del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

Estudio nº 6:

- El entrenamiento vibratorio y el multi-componente durante 24 semanas produce un aumento de la masa ósea de la columna lumbar y del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas.

- El entrenamiento multi-componente durante 24 semanas genera mayores adaptaciones que el entrenamiento vibratorio en la masa ósea de la columna lumbar y del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas.

III - OBJETIVOS

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GENERALES

- Realizar una actualización de la bibliografía sobre el entrenamiento vibratorio y el multi-componente y sus efectos sobre la masa muscular y la masa ósea en mujeres postmenopáusicas.

- Analizar los efectos de dos protocolos de entrenamiento, vibratorio y multi-componente, sobre la composición corporal y la fuerza del tren inferior en mujeres postmenopáusicas.

- Determinar qué entrenamiento produce mayores adaptaciones en la composición corporal y la fuerza del tren inferior en mujeres postmenopáusicas.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudio nº 1:

- Revisar el estado actual del tema relacionado con el entrenamiento vibratorio y su efecto sobre la masa magra en mujeres postmenopáusicas.

Estudio nº 2:

- Revisar el estado actual del tema relacionado con el entrenamiento vibratorio y su efecto sobre la densidad mineral ósea total, del cuello del fémur y de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas y mayores.

- Identificar posibles factores moderadores potenciales que expliquen qué variables son las que inciden más en las adaptaciones al entrenamiento vibratorio.

Estudio nº 3:

- Revisar el estado actual del tema relacionado con el entrenamiento multi-componente y su efecto sobre la masa muscular y la masa ósea en diferentes regiones anatómicas en mujeres postmenopáusicas y mayores.

Estudio nº 4:

- Analizar los efectos durante 12 semanas de dos protocolos de entrenamiento, vibratorio y multi-componente, sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

- Determinar qué tipo de entrenamiento, vibratorio o multi-componente, durante 12 semanas genera mayores adaptaciones sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

Estudio nº 5:

- Analizar los efectos de 24 semanas de dos protocolos de entrenamiento, vibratorio y multi-componente, sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de la rodilla y de los músculos estabilizadores de la articulación del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

- Determinar qué tipo de entrenamiento, vibratorio o multi-componente, durante 24 semanas produce mayores adaptaciones en la composición corporal, y en la fuerza isocinética de los extensores de la rodilla y de los músculos estabilizadores de la articulación del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

Estudio nº 6:

- Analizar los efectos de 24 semanas de dos protocolos de entrenamiento, vibratorio y multi-componente, sobre la masa ósea de la columna lumbar y del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas.

- Determinar qué tipo de entrenamiento, vibratorio o multi-componente, durante 24 semanas produce mayores adaptaciones en la masa ósea de la columna lumbar y del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas.

IV – VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS

IV. VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS

ESTUDIO N° 1:

THE EFFECT OF WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING ON LEAN MASS IN
POSTMENOPAUSAL WOMEN: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-
ANALYSIS

EFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO SOBRE LA MASA MAGRA EN
MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON
META-ANÁLISIS

Abstract

The purpose of the present systematic review and meta-analysis was to evaluate published, randomized controlled trials that investigated the effects of whole-body vibration training (WBVT) on lean mass in postmenopausal women. The following electronic databases were searched from September to October 2015: PubMed, Web of Science, and Cochrane. Two different authors tabulated, independently, the selected indices in identical predetermined forms. The methodological quality of all randomized trial studies was evaluated according to the modified PEDro scale. In each trial, the effect size of the intervention was calculated by the difference between pre- and post-intervention lean mass in WBVT postmenopausal women. For controlled trials, the effect size of the WBVT was also calculated by the difference in lean mass after the WBVT and in control participants. Of the 189 articles found from the database search and all duplicates removed, 5 articles were analyzed. The lean mass of 112 postmenopausal women who performed either WBVT or a control protocol was evaluated. The methodological quality of the trials was high, where the mean score was 8 out of a possible 10 points. No significant improvements in lean mass with WBVT were found in postmenopausal women. In addition, there was no significant difference

in lean mass between WBVT and control postmenopausal women. This meta-analysis demonstrated that WBVT alone may not be a sufficient stimulus to increase lean mass in postmenopausal women. Thus, additional complimentary training methods with WBVT are needed to increase muscle size in women with lower hormonal responses.

ESTUDIO N° 2:

DOES WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING IMPROVE BMD IN
POSTMENOPAUSAL WOMEN?: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-
ANALYSIS¿EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO MEJORA LA DMO EN MUJERES
POSTMENOPÁUSICAS?: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META-
ANÁLISIS

Abstract

The aims of the present systematic review and meta-analysis were to evaluate published, randomized controlled trials that investigate the effects on Whole-Body Vibration Training (WBVT) on total, femoral neck and lumbar spine bone mineral density (BMD) in postmenopausal women, and identify the potential moderating factors explaining the adaptations to such training. From a search of electronic databases (PubMed, Web of Science and Cochrane) up until May 2017, a total 10 studies with 14 WBVT groups met the inclusion criteria. Three different authors tabulated, independently, the selected indices in identical predetermined forms. The methodological quality of all studies was evaluated according to the modified PEDro scale. In each trial, the effect size of the intervention was calculated by the difference between pre- and post-intervention bone mass in WBVT postmenopausal women. For controlled trials, the effect size of the WBVT was also calculated by the difference in bone mass after the WBVT and in control participants. The BMD of 462 postmenopausal women who performed WBVT or control protocol was evaluated. Significant pre-post improvements in BMD of the lumbar spine were identified following WBVT protocols ($p \leq 0.05$). Significant differences in femoral neck BMD were also found between intervention and control groups when analyzing studies that included postmenopausal women under 65 years. WBVT is an effective method to improve lumbar spine BMD in postmenopausal women. Further research is warranted to define the optimal protocol to increase bone mass in women.

ESTUDIO Nº 3:

EFFECTS OF MULTI-COMPONENT TRAINING ON LEAN AND BONE MASS
IN POSTMENOPAUSAL AND OLDER WOMEN: A SYSTEMATIC REVIEW

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA MASA
MUSCULAR Y LA MASA ÓSEA EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS Y
MAYORES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Abstract

The purpose of this systematic review was to update and examine to what extent multi-component training (MT) interventions could improve lean and bone mass at different anatomical regions of the body in postmenopausal and older women. A computerized literature search was performed in the following online databases: PubMed MEDLINE, Cochrane, and Web of Knowledge (WoS). The search was performed to include articles up until February 2017. The methodological quality of selected studies was evaluated using the Cochrane risk of bias tool. Fifteen studies met the inclusion criteria. Studies examining the effects of combined training methods in postmenopausal and older women showed contrasting results, possibly due to the wide range of the participants' age, the evaluation of different regions, and the varying characteristics of the training methods between studies. Overall, it appears that exercise modes that combine resistance, weight-bearing training, and impact-aerobic activities can increase or prevent muscle and skeletal mass loss during the ageing process in women. Further studies are needed to identify the optimal MT protocols, specifically the training loads that will improve lean and bone mass at different anatomical locations, in postmenopausal and older women.

ESTUDIO N° 4:

EFFECT OF 12 WEEKS OF WHOLE-BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

EFECTO DE 12 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS

Abstract

The aims of this study were to analyze the effects of two different training protocols, vibratory platform and multi-component training, and to determine what kind of training creates greater adaptations on bone density and isokinetic strength of the knee extensors and the stabilizer muscles of the ankle joint in postmenopausal women. Thirty-eight women (59.8–6.2 years) were randomly assigned to whole-body vibration group (WBVG), multi-component training group (MTG), or a control group (CG). The experimental groups performed incremental training for 12 weeks, 3 sessions/week. Significant differences were found in total fat mass and total lean mass in the training groups. In addition, both WBVG and MTG showed significant increases in isokinetic strength for knee extensors at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ and at $270^{\circ}\cdot s^{-1}$. With respect to the ankle joint, a significant increase for eversion at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ and inversion at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ was found in both training groups, and eversion at $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ only in WBVG ($p = 0.012$). There were no significant differences between WBVG and MTG in knee and ankle strength tests. Therefore, we found significant adaptations to whole-body vibration and multi-component training in the present study. However, the improvements were similar for both groups and we cannot claim that WBVG is better than MTG, or vice versa.

ESTUDIO N° 5:

EFFECTS OF 24 WEEKS OF WHOLE-BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING ON MUSCLE STRENGTH AND BODY COMPOSITION IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

EFFECTOS DE 24 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA FUERZA MUSCULAR Y LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIZADO

Abstract

The purposes of this study were to analyze the impact of 24 weeks of vibratory and multi-component training (MT) and to determine what type of training creates greater adaptations on body composition and isokinetic strength of the knee and ankle joints in postmenopausal women. Thirty-eight women (60.0–63 years) were randomly assigned to whole body vibration group (WBVG), multi-component training group (MTG), or a control group. A significant decrease in total fat mass was observed in experimental groups. There were no changes in total lean mass and total bone mineral density in both groups. WBVG and MTG showed significant increases in isokinetic strength for knee extensors at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ and at $270^{\circ}\cdot s^{-1}$. Regarding the ankle joint, there were significant increments in strength for plantar flexion at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ in WBVG and at $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ in the two trainings groups. MTG showed a significant increase in strength for dorsiflexion at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. With respect to eversion and inversion, WBVG and MTG improved strength at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. Also, the WBVG showed increased strength in the ankle evertors at $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ and both groups showed increased strength in the ankle invertors at $120^{\circ}\cdot s^{-1}$. Twenty-four weeks of whole body vibration or MT result in positive modifications in total fat mass. These trainings are effective in improving knee extension and stabilizer muscles of the ankle joint strength.

ESTUDIO N° 6:

EFFECTS OF 24 WEEKS OF WHOLE-BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING ON REGIONAL BONE MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

EFFECTOS DE 24 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA MASA ÓSEA REGIONAL EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIZADO

Abstract

The aims of this study were to investigate the effect of 24 weeks of whole body vibration and multi-component training on lumbar spine and femoral neck bone mass, and to define what type of training produces greater adaptations in postmenopausal women. A total of 38 women volunteered to participate in the study. Participants were randomly assigned to one of the study groups: whole body vibration group (WBVG), multi-component training group (MTG) or control group (CG). The experimental groups performed a progressive training for 24-weeks, 3 sessions/week. Bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC) at the lumbar spine and femoral neck were assessed by Dual-energy X-ray absorptiometry. After 24 weeks, the lumbar spine BMD of WBVG had significantly increased by 5% ($p = 0.042$). Also, there was a trend towards significant pre-post improvements in lumbar BMD in MTG ($p = 0.059$). At the femoral neck, the training groups resulted in no statistical significance on bone mass. The trainings led to no changes in any of the BMC parameters. This study showed that 24 weeks of supervised whole body vibration training can effectively improve lumbar spine BMD in postmenopausal women, thus, demonstrating that this type of training can counteract the rapid loss of bone mass after the cessation of menstruation. As there were no differences between groups, it is not possible to determine which training protocol is better.

V – ESTUDIO Nº 1

V. ESTUDIO N° 1:

THE EFFECT OF WHOLE-BODY VIBRATION ON LEAN MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A SYSTEMATIC REVIEW AND META- ANALYSIS

EFFECTO DEL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO SOBRE LA MASA MAGRA EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META-ANÁLISIS

5.1. INTRODUCCIÓN

Dado que la esperanza de vida ha aumentado a lo largo de los años tanto en los países desarrollados como en los menos desarrollados (1), también hay un aumento concurrente en los problemas relacionados con la salud, como la sarcopenia y la salud ósea. La sarcopenia es una condición multifactorial asociada con el descenso de la masa muscular, la inactividad física, la pérdida de la función neuromuscular, la alteración de la función endocrina, y los factores genéticos, entre otros. Estudios transversales han observado que se produce una pérdida acelerada de la fuerza muscular (114) durante la menopausia (115). La disminución de la fuerza y la masa muscular es particularmente evidente en mujeres mayores y en postmenopáusicas (116), y se ha demostrado que la disminución de la potencia (fuerza x velocidad) se asocia con un descenso en el rendimiento físico (117, 118). Además, la sarcopenia relacionada con la edad puede ser un factor de riesgo de osteoporosis y, por consiguiente, puede aumentar el riesgo de fracturas óseas (119, 120). La osteoporosis se caracteriza por una disminución de la masa ósea debido a una tasa mayor de reabsorción frente a una menor de formación de hueso (121). Con el incremento de la edad, hay una mayor prevalencia de osteoporosis y de aumento del número de fracturas osteoporóticas (122), sobre todo en mujeres postmenopáusicas (123). Una masa

ósea baja se correlaciona con el nivel de osteoporosis, el riesgo de fractura y la composición corporal (124).

Al igual que la masa muscular está positivamente correlacionada con un menor riesgo en osteoporosis en mujeres (119, 120), los estudios con entrenamiento de fuerza han demostrado una mejora en la masa muscular, la fuerza y la función física en adultos mayores (125). De manera interesante, el entrenamiento sobre plataformas vibratorias (el término en inglés Whole-body vibration, WBV) se presenta como un método alternativo para aumentar la fuerza y la potencia (72), así como para incrementar la función neuromuscular (126) y las propiedades músculo-esqueléticas (adaptaciones similares observadas con el entrenamiento tradicional) (108, 127, 128). Se piensa que el entrenamiento vibratorio utiliza reflejos espinales propioceptivos para aumentar la función muscular, mejorando la señalización excitatoria del huso muscular y disminuyendo la respuesta inhibitoria del órgano tendinoso de Golgi sobre las motoneuronas (129). Se ha observado que con el entrenamiento WBV se produce un aumento de la activación de las vías propioespinales y de la fuerza de los miembros inferiores en mujeres no entrenadas (72). Los cambios en las propiedades músculo-esqueléticas y la densidad mineral ósea (104) pueden ser parcialmente explicados por la acción oscilatoria de la vibración, ya que requiere más demanda de los tejidos biológicos (es decir, el músculo y el hueso) para absorber y amortiguar la energía que se está transfiriendo desde la fuente vibratoria. Así, el entrenamiento WBV puede ralentizar los cambios relacionados con la edad, mejorar la función muscular y la salud ósea.

En mujeres postmenopáusicas (70) y mujeres mayores (130), se ha demostrado que el entrenamiento WBV tiene efectos beneficiosos sobre la fuerza y la masa muscular. Roelants et al. (99) mostraron que, después de 24 semanas de entrenamiento WBV en mujeres desentrenadas, se produjo un aumento de la masa libre de grasa (MLG), pero no hubo ningún cambio en el peso corporal, en la grasa corporal total o en la grasa subcutánea. Además, Verschueren et al. (92) no observaron un incremento en la masa muscular después de 6 meses de entrenamiento WBV en mujeres postmenopáusicas (60-70 años). Por tanto, estos hallazgos indican que el entrenamiento WBV es un método efectivo para la mejora de la masa muscular y la reducción de los factores de riesgo asociados con

la sarcopenia en mujeres postmenopáusicas. No obstante, no queda claro si el entrenamiento WBV tiene un impacto positivo sobre la masa magra (MM) en mujeres postmenopáusicas. En consecuencia, el objetivo de esta revisión sistemática y meta-análisis fue evaluar estudios controlados aleatorizados publicados que investigaron los efectos del entrenamiento WBV sobre la MM en mujeres postmenopáusicas.

5.2. MÉTODO

5.2.1. Diseño del estudio

Para el desarrollo de la metodología de la presente investigación se siguieron las recomendaciones de la declaración PRISMA (131). Los autores predeterminaron los criterios de elección. En la revisión solo se consideraron para su inclusión los ensayos controlados aleatorizados (ECAs). Dos autores diferentes (J.A.R.A. y E.M.C.) tabularon independientemente los índices seleccionados en formas idénticas predeterminadas. Cualquier discrepancia en la metodología, selección de artículos y análisis estadístico se resolvió por consenso entre los investigadores.

5.2.2. Fuentes de información y proceso de recopilación de datos

La búsqueda bibliográfica informatizada se llevó a cabo entre los meses de septiembre a octubre de 2015 en las siguientes bases de datos: PubMed MEDLINE, Web of Knowledge (WoS) y Cochrane. Se emplearon los siguientes descriptores, así como su combinación: "postmenopausal women" OR "women" OR "older women" OR "elderly" AND "whole body vibration" OR "WBV" AND "muscle mass" OR "lean mass". La Figura 1 muestra un diagrama de flujo de los resultados del proceso de selección.

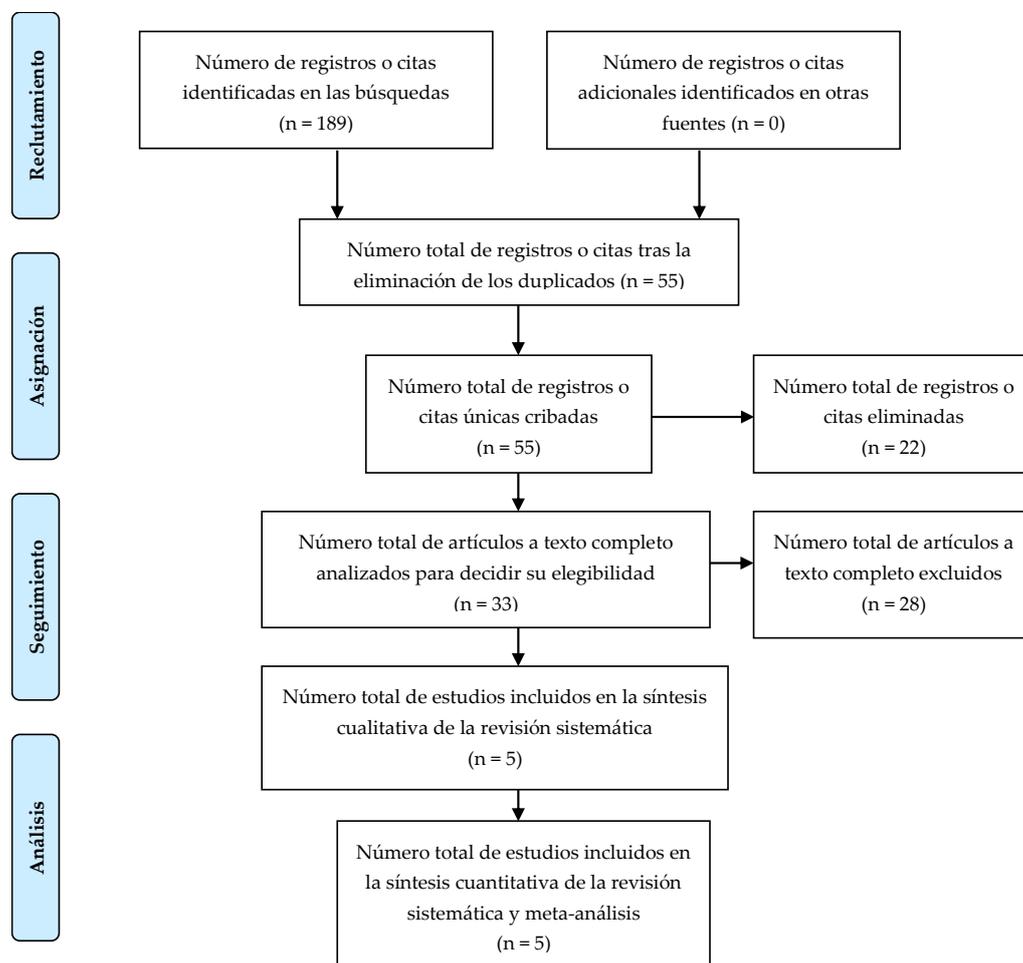


Figura 1. Diagrama de flujo.

5.2.3. Criterios de elegibilidad

Se incluyeron solo estudios experimentales en forma de ensayos clínicos controlados aleatorizados, formando parte de esta revisión aquellos estudios publicados en inglés. Los artículos de revisión e informes de casos no fueron incluidos y considerados para el análisis. Para este meta-análisis, los estudios fueron seleccionados si: 1) el objetivo del estudio fue examinar los efectos del entrenamiento WBV en la masa muscular o MM; 2) la edad de la población objeto fue entre 55 y 75 años; 3) la intervención usada fue el entrenamiento WBV; 4) las

variables de resultado fueron masa muscular, MM o MLG; y 5) la duración del entrenamiento fue varias semanas y estuvo compuesto de varias sesiones de entrenamiento. Los estudios fueron excluidos si: 1) la intervención de entrenamiento fue diferente a WBV; y 2) no hubo un grupo control.

5.2.4. Evaluación de la calidad

La calidad metodológica de todos los ECAs seleccionados se evaluó mediante la escala PEDro, utilizando los siguientes criterios: 1) los criterios de elección fueron especificados; 2) los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos); 3) la asignación fue oculta; 4) los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes; 5) todos los sujetos fueron cegados; 6) todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados; 7) todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados; 8) las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos; 9) se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”; 10) los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave; y 11) el estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

5.2.5. Métodos estadísticos

El meta-análisis y el análisis estadístico se realizó con el Software Review Manager (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, UK) y el Software Comprehensive Meta-analysis (Version 2; Biostat, Englewood, NJ, USA). Para cada ensayo, el tamaño del efecto de la intervención se calculó por la diferencia de la masa muscular entre pre y post WBV en mujeres postmenopáusicas. Para los ensayos controlados, el tamaño del efecto del entrenamiento WBV también se calculó mediante la diferencia en la masa muscular después del entrenamiento WBV y con los participantes control, y por la diferencia en la composición

corporal (masa muscular específicamente) después de la intervención entre mujeres postmenopáusicas con entrenamiento WBV y control.

Debido a que había muchos protocolos de entrenamiento WBV diferentes entre los estudios (Tabla 1), se utilizó el método inverso de la varianza (132) para estandarizar las diferencias medias dividiendo los valores con su correspondiente desviación estándar (SD). La diferencia de medias estandarizada (SMD) en cada ensayo se combinó utilizando el modelo de efectos aleatorios (133). De acuerdo con las pautas de Cohen (134), la SMD de 0.2, 0.5 y 0.8 representa tamaños de efecto pequeño, medio y grande, respectivamente.

La heterogeneidad entre los estudios se evaluó mediante el estadístico I^2 . Los factores moderadores potenciales se evaluaron mediante análisis de subgrupos, comparando ensayos agrupados por variables dicotómicas o continuas que podrían influir en la masa muscular en las mediciones de la composición corporal. Los valores medianos de variables continuas se utilizaron como valores de corte para agrupar los ensayos. Los cambios en los factores moderadores potenciales se expresaron y analizaron como la diferencia entre los valores post y previos a la intervención. El sesgo de las publicaciones se evaluó usando el test de asimetría de gráficos en embudo. Un valor de $p \leq 0.05$ se consideró estadísticamente significativo.

5.3. RESULTADOS

Mediante la estrategia de búsqueda inicial se encontraron 189 artículos, y después de la eliminación de todos los duplicados, solo 5 artículos cumplieron con los criterios de inclusión y fueron analizados para el meta-análisis. Se evaluó la masa muscular de un total de 112 mujeres postmenopáusicas que fueron sometidas a un protocolo de entrenamiento WBV o de control. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios.

La calidad metodológica de los ensayos, de acuerdo con la escala PEDro (135-137) fue alta. La puntuación media fue de 8 con respecto a un máximo de 10 puntos. En base al gráfico en embudo para la SMD de la masa muscular entre post y pre-intervención de WBV en mujeres postmenopáusicas, la distribución de las participantes fue simétrica, sugiriendo la ausencia de sesgo significativa de los estudios. Igualmente, no se observó sesgo significativo en la SMD de la masa

muscular post-intervención entre las mujeres postmenopáusicas de WBV y control.

Las características de las intervenciones de WBV y el tipo de medición de la masa muscular o MM usado en cada estudio se presentan en la Tabla 1. La Tabla 2 proporciona una descripción general de los 5 estudios incluidos en esta revisión (70, 92, 138-140). Algunos de estos estudios incluyeron más de un grupo de intervención o grupo control, es decir, diseños de grupos paralelos. No hubo diferencias significativas en el análisis de subgrupos (Tabla 3). Los resultados para la SMD de la masa muscular entre post y pre-intervención (Figura 2) y entre grupos experimentales y controles (Figura 3) no mostraron diferencias significativas.

Tabla 1. Características del entrenamiento vibratorio y de la medición de masa magra o masa muscular.

Estudio, año de publicación	Entrenamiento Vibratorio						Medición masa magra o masa muscular			
	Tipo	Frecuencia semanal	Duración sesión (s)	Duración (sem)	Número sesiones	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm)	g	Instrumento de medida	Unidad
Beck and Norling (138), 2010	A	2	600	32	64	30	0-14	0.3	DXA	kg
	B					12.5		1		
Liphardt et al. (139), 2015	A			16	44					
	B	2-3	600	32	88	20	3-4	2.41-3.22	DXA	kg
	C			48	132					
Marín-Cascales et al. (70), 2015		3	5-8 sets (60s)	12	36	35	4	9.86	DXA	kg
Song et al. (140), 2011		2	600	8	16	22	2	1.98	Análisis de Impedancia Corporal	kg
Verschueren et al. (92), 2004		3	1800	24	72	35-40	1.7-2.5	2.8-5	DXA	kg

Los datos se presentan como media (media \pm SD) o rango; g = aceleración (donde 1 g es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s²).

Tabla 2. Descripción de los estudios incluidos.

Estudio, año de publicación	n		Edad (años)	Peso	Altura	Patología	Tratamiento
	CG	WBVG (%)					
Beck and Norling (138), 2010	A	14	68.9 ± 7.0	61.4 ± 8.9	157.1 ± 0.1		
	B	13	68.5 ± 8.6	68.4 ± 10.3	160.2 ± 0.1	No	No
Liphardt et al. (139), 2015	A	17	59.1 ± 4.6	70.5 ± 12.9	159.7 ± 6.2	Osteopenia	No
	B	14					
	C	10					
Marin-Cascales et al. (70), 2015		10	60.1 ± 5.8	78.1 ± 13.5	156.7 ± 5.2	No	No
Song et al. (140), 2011	-	15	56.4 ± 4.4	64.4 ± 5.4	154.7 ± 4.9	No	No
Verschueren et al. (92), 2004	23	25	64.6 ± 3.3	66.5 ± 8.9	159.0 ± 0.5	No	No

Los datos se presentan como desviación estándar (media ± SD) o n. CG = grupo control; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

Tabla 3. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la masa magra o masa muscular.

Grupo	Estudios		Masa Magra o Masa Muscular			
	Número ^a	Referencias	SMD (95% IC)	I ²	P	P _{Dif}
<i>Características de la población</i>						
<i>N</i>						
> 15	4	Liphardt et al. (139), 2015 ABC; Verschueren et al. (92), 2004	0.07 (-0.31, 0.46)	0	.71	
≤ 15	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Marín- Cascales et al. (70), 2015; Song et al. (140), 2011	0.05 (-0.26, 0.35)	0	.63	.92
<i>Edad</i>						
≥ 60 años	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Marín- Cascales et al. (70), 2015; Verschueren et al. (92), 2004	0.12 (-0.22, 0.65)	0	.50	.62
< 60 años	4	Liphardt et al. (139), 2015 ABC; Song et al. (140), 2011	-0.00 (-0.35, 0.34)	0	.98	
<i>IMC</i>						
≥ 27 kg/m ²	4	Liphardt et al. (139), 2015 ABC; Marín- Cascales et al. (70), 2015	0.16 (-0.18, 0.51)	0	.36	.41
< 27 kg/m ²	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Song et al. (140), 2011; Verschueren et al. (92), 2004	-0.04 (-0.38, 0.29)	0	.81	
<i>Características entrenamiento</i>						
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 44 sesiones	6	Beck and Norling (138), 2010 AB; Liphardt et al. (139), 2015 ABC; Verschueren et al. (92), 2004	-0.02 (-0.31, 0.27)	0	.91	.37
< 44 sesiones	2	Marín-Cascales et al. (70), 2015; Song et al. (140), 2011	0.22 (-0.21, 0.65)	0	.32	

Duración				
≥ 32 sem	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Liphardt et al. (139), 2015 BC	0.16 (-0.16, 0.48)	0 .32
			<hr/>	
< 32 sem	4	Liphardt et al. (139), 2015 A; Marín-Cascales et al. (70), 2015; Song et al. (140), 2011; Verschuieren et al. (92), 2004	-0.08 (-0.45, 0.29)	0 .67
<hr/>				
Frecuencia WBV				
> 20 Hz	4	Beck and Norling (138), 2010 A; Marín-Cascales et al. (70), 2015; Song et al. (140), 2011; Verschuieren et al. (92), 2004	0.01 (-0.33, 0.34)	0 .97
			<hr/>	
≤ 20 Hz	4	Beck and Norling (138), 2010 B; Liphardt et al. (139), 2015 ABC	0.11 (-0.24, 0.46)	0 .53
<hr/>				
Amplitud WBV				
> 2 g	5	Liphardt et al. (139), 2015 ABC; Marín- Cascales et al. (70), 2015; Verschuieren et al. (92), 2004	0.10 (-0.19, 0.40)	0 .50
			<hr/>	
≤ 2 g	3	Beck and Norling (138), 2010 AB; Song et al. (140), 2011	-0.04 (-0.46, 0.39)	0 .87
<hr/>				
<i>Calidad</i>				
<i>Metodológica</i>				
Escala PEDro				
≥ 8 puntos	3	Beck and Norling (138), 2010 AB; Verschuieren et al. (92), 2004	0.02 (-0.36, 0.40)	0 .91
			<hr/>	
< 8 puntos	5	Liphardt et al. (139), 2015 ABC; Marín- Cascales et al. (70), 2015; Song et al. (140), 2011	0.08 (-0.23, 0.39)	0 .55

^aNúmero total de grupos de mujeres postmenopáusicas que realizan entrenamiento vibratorio; g = aceleración (donde 1g es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s²); I² = heterogeneidad; IMC = índice de masa corporal; P = prueba para el efecto total; P_{Dif} = prueba de diferencias de subgrupos; SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

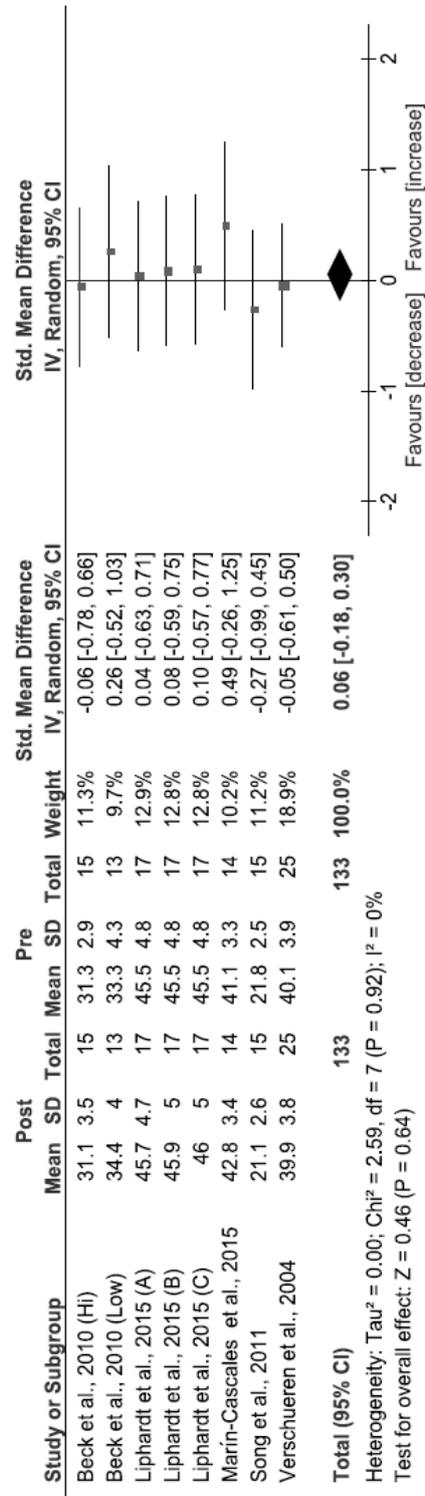


Figura 2. SMD entre la masa magra (kg) post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

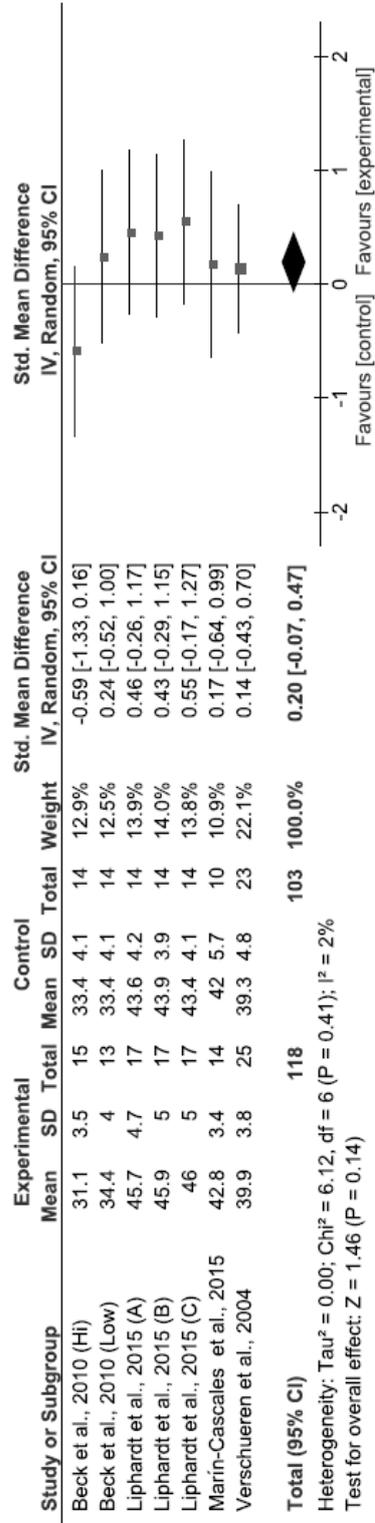


Figura 3. SMD en la masa magra (kg) post-intervención entre mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV y control. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

5.4. DISCUSIÓN

El objetivo de este meta-análisis fue evaluar la literatura existente en relación a los efectos del entrenamiento WBV sobre la MM en mujeres postmenopáusicas. El meta-análisis mostró que, en ECAs, el entrenamiento vibratorio no tuvo ningún efecto significativo sobre la MM en mujeres postmenopáusicas, lo que sugiere que este tipo de entrenamiento no produjo el estímulo suficiente para la hipertrofia del músculo esquelético.

Haciendo una comparación de los estudios incluidos, se observa que los protocolos de entrenamiento WBV para producir cambios en la masa muscular fueron diferentes. Con respecto al nivel de intensidad, se emplearon diferentes frecuencias de vibración (12.5 a 40 Hz), amplitudes de vibración (0 a 14 mm) y de aceleración (g : 0.3 a 9.86 $m \cdot s^{-2}$) entre los estudios. La duración de los distintos protocolos varió de 8 (140) a 48 semanas (139) de entrenamiento con una frecuencia semanal de 2 a 3 sesiones. El número total de sesiones varió de 16 (140) a 132 (139), y la duración de cada sesión de 300 s (por ejemplo, 5 series de 60 s) (70) a 1800 s (70). Cuatro de los 5 estudios incluidos en el meta-análisis usó absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), mientras que un estudio (140) utilizó análisis de impedancia bioeléctrica para medir la MM.

Después del entrenamiento mediante WBV, los cambios observados en la masa muscular en algunos de los estudios incluidos no parecen explicarse por diferencias en las características de la población de la muestra, es decir, número de participantes, edad e índice de masa corporal (IMC). Por ejemplo, no hubo cambios en la masa muscular entre los estudios (92, 139) cuya muestra era superior a 15 participantes y en aquellos (70, 138, 140) que presentaban un número menor. Además, no hubo diferencias significativas entre los estudios con diferentes grupos de edad (≥ 60 años (70, 92, 138) o < 60 (139, 140) años), lo que sugiere que la edad puede no ser un factor que determine cambios de la masa muscular con entrenamiento WBV en mujeres postmenopáusicas. A su vez, el IMC tampoco parece ser componente relevante en los cambios de la masa muscular, lo que indica que el entrenamiento WBV produce los mismos efectos en mujeres con más de 27 kg/m^2 (70, 139) o con menos de 27 kg/m^2 (92, 138, 140).

Además, la falta de cambio en la masa muscular observada en este meta-análisis parece ser independiente de las características del programa de entrenamiento WBV. Los estudios con un número total de sesiones diferente (≥ 44 sesiones (92, 138, 139) o menos (70, 140)) o duraciones diferentes de entrenamiento WBV (≥ 32 semanas de duración (138, 139) o menos (70, 92, 139, 140)) obtuvieron resultados similares. Por otra parte, el uso de frecuencias de entrenamiento diferentes (> 20 Hz (70, 92, 138, 140) o menos (138, 139)) o amplitudes diferentes (> 2 g (70, 92, 139) o menos (138, 140)) encontraron efectos parecidos en la masa muscular. Por último, los estudios con una puntuación mayor a 8 (92, 138) o menor (70, 139, 140) según la escala PEDro no mostraron diferencias significativas en los valores de masa muscular, por lo tanto, las diferencias en la calidad metodológica no afectaron a los resultados.

A pesar de que los estudios presentados en este meta-análisis no mostraron aumentos de la masa muscular después del entrenamiento WBV en las mujeres postmenopáusicas, otros estudios han encontrado beneficios mediante WBV en sujetos más jóvenes. Se demostró que tras 6 semanas de entrenamiento WBV a alta intensidad se produce hipertrofia muscular en participantes jóvenes y físicamente activos (141). Además, se observaron incrementos significativos en la MLG después de 24 semanas de entrenamiento en mujeres sedentarias en comparación con otros grupos de intervención (99). Sin embargo, nuestros resultados muestran que los incrementos en la masa muscular no pueden explicarse únicamente por la edad de las mujeres.

Varios autores han sugerido que el entrenamiento WBV podría aumentar la fuerza muscular (72, 118, 121, 123-125), específicamente mediante la activación de las fibras musculares de contracción rápidas (72, 77). Sin embargo, con el envejecimiento hay una disminución de la masa muscular, que se atribuye principalmente a la disminución en el tamaño de las fibras tipo II y no a la pérdida sustancial de fibra muscular (22). Por tanto, se puede creer que los incrementos de la fuerza muscular observados con el entrenamiento WBV pueden deberse a adaptaciones neuromusculares, y WBV puede ayudar a mantener la masa muscular (es decir, tamaño de la fibra muscular) en mujeres postmenopáusicas.

También se ha propuesto que las reacciones endocrinas pueden mediar el efecto del entrenamiento (142), ya que se han observado aumentos con WBV en la concentración de testosterona (75), hormona del crecimiento (75, 78, 88) catecolaminas (143), aumento en la síntesis proteica (144) y disminución de cortisol (75, 88). Por lo tanto, los estudios que utilizan este tipo de entrenamiento aportan alguna evidencia de los beneficios de su aplicación en mujeres postmenopáusicas. La ausencia de mejora de la masa muscular observada en este meta-análisis después del entrenamiento WBV, se puede explicar por la baja producción de hormonas que se desarrolla en las mujeres durante la menopausia. Los cambios hormonales durante la menopausia (por ejemplo, aumentos en interleucina-6 y en el factor de necrosis tumoral- α , y descensos en estrógeno, estrona, dehidroepiandrosterona (DHEA), tiroxina, progesterona y lipoproteína lipasa) han demostrado aumentar la grasa intramuscular, mientras que las fibras musculares tipo II y el número de receptores de estrógenos se ven reducidos (116). Además, cabe la posibilidad de que las mujeres postmenopáusicas tengan una mayor resistencia anabólica (145), lo que conlleva a una incapacidad del músculo esquelético para mantener una adecuada síntesis proteica debido a un menor anabolismo y a una mayor rotura de las proteínas musculares (146). Por lo tanto, el entrenamiento vibratorio por sí solo no parece ser un sistema eficaz para aumentar la masa muscular en mujeres postmenopáusicas.

Existen algunas limitaciones del presente meta-análisis que deberían ser consideradas: 1) el escaso número de estudios incluidos, debido a las pocas publicaciones existentes en la literatura enfocadas al efecto del entrenamiento WBV en la MM en mujeres postmenopáusicas; 2) los estudios utilizaron principalmente DXA para obtener la MM a través del cual no se mide directamente la masa muscular esquelética; y 3) los autores de los estudios utilizaron un amplio rango de edad en la definición de las mujeres postmenopáusicas, incluyendo mujeres mayores.

5.5. CONCLUSIONES

Este meta-análisis demostró que el entrenamiento vibratorio no incrementa la MM en mujeres postmenopáusicas, independientemente de la dosis vibratoria (frecuencia, amplitud, tiempo de trabajo y de descanso) y de las características de

la intervención (duración, frecuencia semanal, volumen e intensidad de entrenamiento). Por tanto, se deberían de considerar otros protocolos de entrenamiento con una carga externa mayor (por ejemplo, entrenamiento con sobrecargas de alta intensidad) para esta población. Si se utiliza el entrenamiento WBV, se deben aplicar métodos complementarios de entrenamiento para aumentar el tamaño del músculo en mujeres con menores respuestas hormonales. Además, se recomiendan estímulos de entrenamiento vibratorio individualizados para conseguir mayores respuestas musculares.

VI – ESTUDIO N° 2

VI. ESTUDIO N° 2:

DOES WHOLE-BODY VIBRATION TRAINING IMPROVE BMD IN POSTMENOPAUSAL WOMEN?: A SYSTEMATIC REVIEW AND META- ANALYSIS

¿EL ENTRENAMIENTO VIBRATORIO MEJORA LA DMO EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS?: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META- ANÁLISIS

6.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales factores de riesgo asociado con las fracturas por fragilidad es la baja densidad mineral ósea (DMO) (147) que puede resultar en una mayor predisposición a sufrir osteoporosis (124). Se ha generado mayor interés en la investigación en aquellas poblaciones en las que se produce una pérdida acelerada de la masa ósea, en particular en adultos mayores (hombres y mujeres ≥ 65 años (32)) y en mujeres postmenopáusicas. Durante la menopausia se producen cambios hormonales, que incluyen una disminución de los niveles de estrógeno, los cuales desempeñan un papel importante en el ciclo de remodelación ósea en las mujeres (66).

Aunque los tratamientos farmacéuticos se utilizan para aumentar la masa ósea (148), se ha demostrado que el ejercicio físico es una herramienta eficaz (149). Se sabe que los estímulos mecánicos son necesarios para mantener la salud ósea (150). Se han conseguido mejoras en la DMO del cuello del fémur y de la columna lumbar a través de diferentes programas de entrenamiento, como el de fuerza tradicional o el multi-componente, en postmenopáusicas (109) así como en mujeres mayores (151). Por otro lado, el entrenamiento sobre plataformas vibratorias (el término en inglés Whole-body vibration, WBV) se ha utilizado como una intervención alternativa de ejercicio y ha demostrado también aumentar la densidad ósea mediante la carga mecánica que produce (152).

Durante el entrenamiento WBV el individuo permanece de pie sobre una placa oscilante que genera aceleración vertical, la cual transmite estímulos mecánicos de alta frecuencia a receptores sensoriales de todo el cuerpo (153). El entrenamiento de la vibración requiere una mayor respuesta de los tejidos musculares y óseos para absorber y amortiguar la energía causada por las acciones oscilatorias. Se ha demostrado que el entrenamiento WBV puede producir efectos osteogénicos contrarrestando así las alteraciones relacionadas con la edad en la masa ósea (91, 154). Además, el trabajo sobre plataforma vibratoria tiene beneficios agregados con una duración acortada del entrenamiento y menor esfuerzo percibido (69).

Numerosos estudios han examinado el efecto del entrenamiento WBV sobre la DMO en mujeres postmenopáusicas (70, 71, 89, 90, 92, 138, 139, 155-161), pero los hallazgos son en cierto modo contradictorios. Iwamoto et al. (161) observaron que un programa de 12 meses de entrenamiento WBV (intensidad de 20 Hz, frecuencia una vez por semana y duración del ejercicio de 4 min) más alendronato tuvo una mejora significativa en la DMO de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas y osteoporóticas. También, Gusi et al. (89) mostraron que un protocolo de entrenamiento WBV (3 veces por semana, frecuencia de 12.6 Hz y amplitud de 3 mm) aumentó la DMO del cuello femoral después de 8 meses, pero no se produjeron cambios en la columna lumbar. En contrapartida, Slatkovska et al. (162) no determinaron incrementos en la DMO del calcáneo después de 12 meses de entrenamiento WBV (frecuencia de 90 Hz o 30 Hz; aceleración de 0.3 g). También, Rubin et al. (90) no encontraron cambios en el contenido mineral óseo (CMO) de la columna lumbar, de la cadera y del radio distal en mujeres postmenopáusicas tras WBV (frecuencia de 30 Hz y amplitud de 0.2 g).

Sigue habiendo ambigüedad en cuanto a si el entrenamiento WBV tiene un efecto positivo en la masa ósea en mujeres. Por lo tanto, los objetivos de esta revisión sistemática y meta-análisis fueron evaluar ensayos controlados aleatorios (ECAs) publicados que investigaron los efectos del entrenamiento WBV en la DMO total, el cuello del fémur y la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas, e identificar posibles factores moderadores potenciales que expliquen qué variables son las que inciden más en las adaptaciones a dicho entrenamiento.

6.2. MÉTODO

6.2.1. Diseño del estudio

Para el desarrollo de la metodología de la presente investigación se siguieron las recomendaciones de la declaración PRISMA (131). Los autores predeterminaron los criterios de elección. Solo se consideraron para su inclusión los ECAs. Tres autores diferentes (E.M.C., J.A.R.A. y D.J.R.C.) tabularon independientemente los índices seleccionados en formas idénticas predeterminadas. Cualquier discrepancia en la metodología, selección de artículos y análisis estadístico se resolvió por consenso entre los investigadores.

6.2.2. Fuentes de información y proceso de recopilación de datos

La búsqueda bibliográfica informatizada se llevó a cabo hasta mayo de 2017 en las siguientes bases de datos: PubMed MEDLINE, Web of Knowledge (WoS) y Cochrane. Se emplearon los siguientes descriptores, así como la combinación de estos: "women" OR "older adults" OR "elderly" AND "whole body vibration" OR "WBV" AND "bone mineral density" OR "bone mass" OR "BMD" OR "bone mineral content" OR "BMC". La Figura 1 muestra un diagrama de flujo de los resultados del proceso de selección.

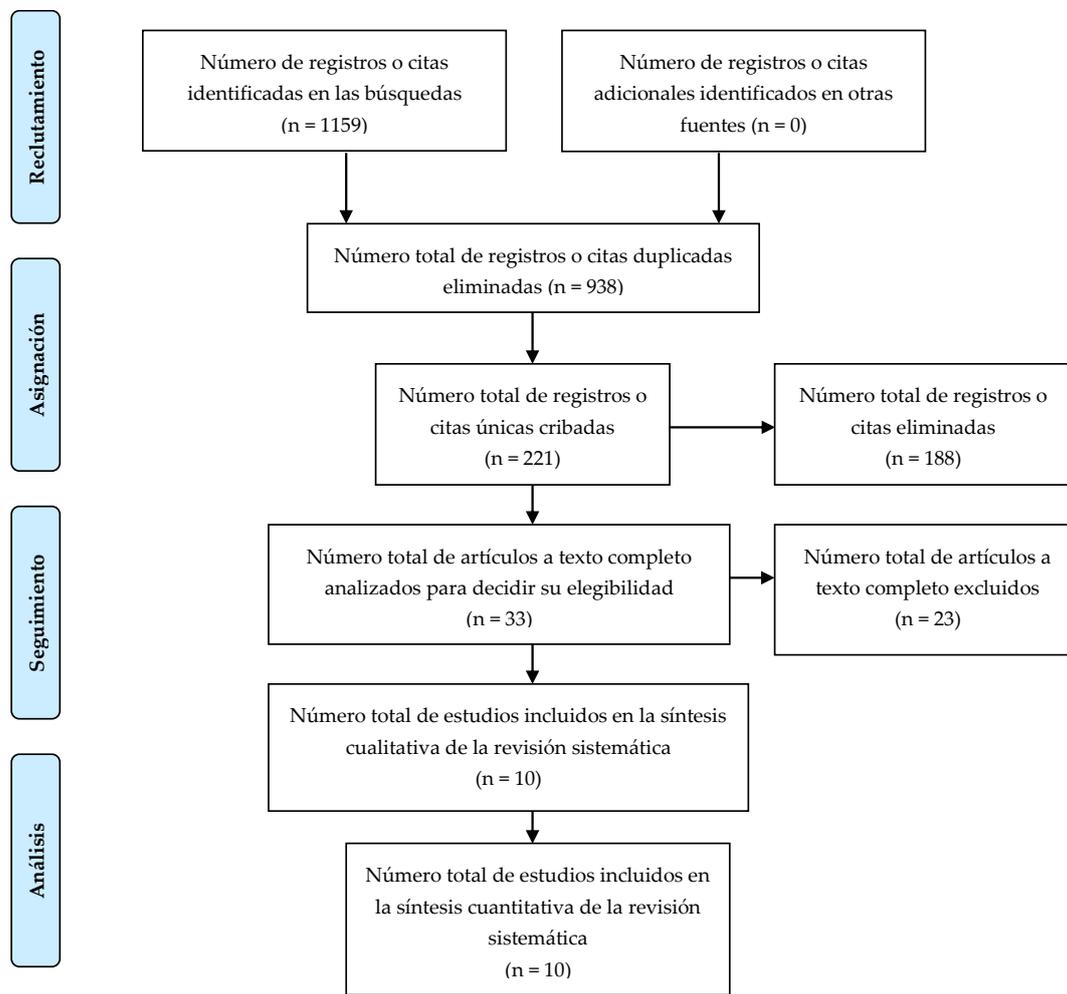


Figura 1. Diagrama de flujo.

6.2.3. Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios experimentales en forma de ECAs, formando parte de esta revisión aquellos estudios publicados en inglés que emplearon el entrenamiento WBV como intervención. Los estudios se seleccionaron si cumplían los siguientes criterios: 1) las participantes eran mujeres postmenopáusicas (periodo postmenopáusico definido como los años posteriores después del año del cese de la menstruación) y/o mayores; 2) al menos un grupo de estudio realizaba únicamente entrenamiento WBV; 3) una de las variables de

resultado medidas era la DMO total, del cuello del fémur o de la columna lumbar; y 4) se utilizaba la absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) para medir las diferentes variables. Los estudios fueron excluidos si: 1) las participantes tenían una edad media ≥ 75 años; 2) el entrenamiento WBV no se realizaba sobre una plataforma de vibración sinusoidal; 3) no había un grupo control; 4) las participantes no estaban de pie en la plataforma (es decir, en posición de sentado o acostado; y 5) las participantes tomaban tratamientos médicos que pudieran haber influido en la masa ósea.

6.2.4. Evaluación de la calidad

La calidad metodológica de todos los estudios seleccionados se evaluó mediante la escala PEDro, utilizando los siguientes criterios: 1) los criterios de elección fueron especificados; 2) los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos); 3) la asignación fue oculta; 4) los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes; 5) todos los sujetos fueron cegados; 6) todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados; 7) todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados; 8) las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos; 9) se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"; 10) los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave; y 11) el estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

6.2.5. Métodos estadísticos

El meta-análisis y el análisis estadístico se realizó con el Software Review Manager (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, UK) y el Software Comprehensive Meta-analysis (Version 2; Biostat, Englewood, NJ, USA). Para cada ensayo, el tamaño del efecto de la intervención se calculó por la diferencia de

la masa ósea entre pre y post WBV en mujeres postmenopáusicas, así como en un subgrupo de mujeres postmenopáusicas menores de 65 años de edad. Para los ensayos controlados, el tamaño del efecto del entrenamiento WBV también se calculó mediante la diferencia en la masa ósea después de WBV y con los participantes control, y por la diferencia después de la intervención entre mujeres postmenopáusicas con WBV y control.

Debido a que había muchos protocolos de entrenamiento WBV diferentes entre los estudios (Tabla 2), se utilizó el método inverso de la varianza (132) para estandarizar las diferencias medias dividiendo los valores con su correspondiente desviación estándar (SD). La diferencia de medias estandarizada (SMD) en cada ensayo se combinaron utilizando el modelo de efectos aleatorios (133). De acuerdo con las pautas de Cohen (134), la SMD de 0.2, 0.5 y 0.8 representa tamaños de efecto pequeño, medio y grande, respectivamente.

La heterogeneidad entre los estudios se evaluó mediante el estadístico I^2 . Los factores moderadores potenciales se evaluaron mediante análisis de subgrupos, comparando ensayos agrupados por variables dicotómicas o continuas que podrían influir en la masa ósea en las mediciones de la composición corporal. Los valores medianos de variables continuas se utilizaron como valores de corte para agrupar los ensayos. Los cambios en los factores moderadores potenciales se expresaron y analizaron como la diferencia entre los valores post y previos a la intervención. El sesgo de las publicaciones se evaluó usando el test de asimetría de gráficos en embudo. Un valor de $p \leq 0.05$ se consideró estadísticamente significativo.

6.3. RESULTADOS

6.3.1. Características de los estudios incluidos

Mediante la estrategia de búsqueda inicial, se encontraron 1159 títulos y resúmenes relevantes. Entre ellos, se descartaron 938 estudios duplicados, permaneciendo 221 artículos. Tras la revisión de título y resumen, se excluyeron 188 artículos. Se examinaron a texto completo los 33 artículos restantes, de los cuales solo se seleccionaron 10 estudios para la síntesis cualitativa basada en los criterios de inclusión (es decir, hubo solo 10 artículos que aportaron resultados de

DMO en los que se podía establecer una comparación con al menos otro estudio). La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios.

La Tabla 1 resume las características principales de los 10 estudios de esta revisión (70, 71, 90, 92, 138, 155-158, 160). Los ECAs incluidos en esta revisión sistemática se publicaron entre los años 2004 y 2017, y el número total de mujeres postmenopáusicas fue de 462 (desde 22 (155) a 96 (160) participantes). La edad media de las participantes fue mínimo de 53.4 (155) hasta un máximo de 68.9 (138) años. Con respecto a la muestra, los estudios incluidos en esta revisión sistemática mostraron mujeres postmenopáusicas en tres condiciones diferentes (sin enfermedad, con osteopenia u osteoporosis); un estudio incluyó mujeres con osteopenia y osteoporosis (156) y otro presentó solo voluntarias osteoporóticas (158).

Tabla 1. Características principales^a de los estudios incluidos en el meta-análisis.

Estudio, año de publicación	n			Edad (años)	IMC	Patología	Tratamiento	Escala PEDro
	CG	WBVG	♀ (%)					
Beck and Norling (138), 2010	A	15	100	68.9 ± 7.0	24.8 ± 2.9	No	No	7
	B	13	100	68.5 ± 8.6	26.7 ± 4.4			
Karakirou et al. (155), 2012		9	100	53.4 ± 1.1	27.6 ± 1.4	No	No	7
Lai et al. (156), 2013		14	100	60.1 ± 7.1	22.7 ± 1.9	Osteopenia y Osteoporosis	No	6
		14	100	60.1 ± 5.8	31.9 ± 5.6			
Marin-Cascales et al. (70), 2015		10	100	60.1 ± 5.8	31.9 ± 5.6	No	No	6
Marin-Cascales et al. (71), 2017		10	100	59.6 ± 5.9	31.4 ± 5.7	No	No	6
Davis et al. (157), 2014	A	13	100	62.2 ± 6.0	N/A	No	No	5
	B	5						
Ruan et al. (158), 2008	A	43	100	61.2 ± 8.2	24.4 ± 3.3	Osteoporosis	No	4
	B	28	100	57.3	24.4			
Rubin et al. (90), 2004		23	100	64.6 ± 3.3	26.3 ± 3.6	No	No	7
Verschuere et al. (92), 2004		23	100	64.6 ± 3.3	26.3 ± 3.6	No	No	7
Von Stengel et al. (160), 2011	A	34	100	68.1 ± 4.0	26.9	No	Vitamina D y Calcio	9
	B	29	100	67.9 ± 3.8	27.2			

Los datos se presentan como media (media ± SD) o rango. ^aTodas las características se refieren al grupo de entrenamiento vibratorio. CG = grupo control. N/A = no aplica; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

6.3.2. Características de las intervenciones

Las características de las diferentes intervenciones de WBV se presentan en la Tabla 2. La intensidad de los protocolos varió desde 12.5 (138) a 50 Hz (157) y la amplitud desde 1.5 (155) a 12 mm (160). La duración de los diferentes programas fue desde 12 (70, 158) a 52 semanas de entrenamiento (90) con una frecuencia semanal de 2 (138) a 7 sesiones (90). La duración total de las sesiones varió de 90 (157) a 1800 s (92). Con respecto a los valores de aceleración (g) empleados variaron desde 0.2 (90) a 20.12 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (157), por tanto la intensidad del entrenamiento fue diferente entre los estudios. En todos los ensayos incluidos en este meta-análisis, se utilizó la absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) para medir la DMO total, del cuello del fémur y de la columna lumbar.

Tabla 2. Características del entrenamiento vibratorio y de la medición de masa ósea de los estudios incluidos en el meta-análisis.

Estudio, año publicación	Grupo	Tipo de ejercicio	Entrenamiento Vibratorio					Medición DMO			
			Frecuencia semanal	Duración sesión (s)	Duración (sem)	Número sesiones	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm)	g	Instrumento de medida	Unidad
Beck and Norling (138), 2010	A	Estático	2	900	32	64	30	N/A	0.3	DXA	g.cm ⁻²
	B		2	360		12.5	2	1	DXA	g.cm ⁻²	
Karakirou et al. (155), 2012		Estático	3	420 - 720	24	72	35-40	1.5	3.7-4.83	DXA	g.cm ⁻²
Lai et al. (156), 2013		Estático	3	300	24	72	30	N/A	3.2	DXA	g.cm ⁻²
Marín-Cascales et al. (70), 2015		Estático + Dinámico	3	300-480	12	36	35	4	9.86	DXA	g.cm ⁻²
Marín-Cascales et al. (71), 2017		Estático + Dinámico	3	300-660	24	72	35-40	4	9.86-12.88	DXA	g.cm ⁻²
Davis et al. (157), 2014	A	Estático	3	90-300	36	108	30-35	2	3.62-4.93	DXA	g.cm ⁻²
	B		3	40-50	4	20.12					
Ruan et al. (158), 2008	A	Estático	5	600	12	60	30	5	9.06	DXA	g.cm ⁻²
	B		5	24	120						
Rubin et al. (90), 2004		Estático	7	1200	52	364	30	N/A	0.2	DXA	g.cm ⁻²
Verschueten et al. (92), 2004		Estático + Dinámico	3	1800	24	72	35-40	1.7-2.5	2.8-5	DXA	g.cm ⁻²
Von Stengel et al. (160), 2011	A	Estático + Dinámico	3	900	52	156	35	1.7	8	DXA	g.cm ⁻²
	B		3	12.5	12						

Los datos se presentan como media (media \pm SD) o rango; DXA = absorciometría de rayos X de energía dual; g = aceleración (donde 1g es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s²); N/A = no aplica.

6.3.3. Análisis de los efectos principales

Cuando se examinaron todos los estudios y los respectivos grupos de entrenamiento WBV, no hubo ningún efecto pre-post significativo sobre la DMO total ($p = 0.96$; SMD = 0.0; Figura 2) y del cuello femoral ($p = 0.44$; SMD = 0.01; Figura 3). Sin embargo, hubo una mejora pre-post significativa en la DMO de la columna lumbar ($p = 0.03$; SMD = 0.02; Figura 4). Al comparar WBV con los grupos control, no se observaron diferencias significativas en la DMO total ($p = 0.74$; SMD = 0.01; Figura 2), en el cuello femoral ($p = 0.28$; SMD = 0.02; Figura 3) y en la columna lumbar ($p = 0.46$; SMD = 0.02; Figura 4).

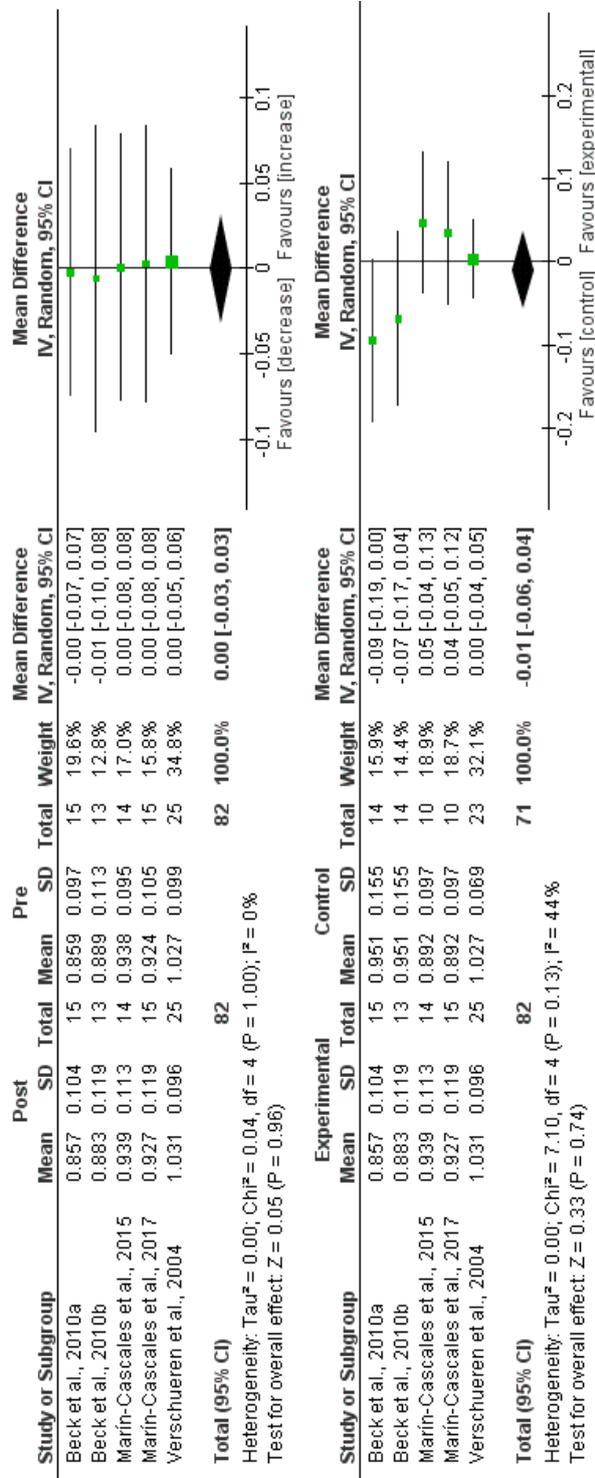


Figura 2. Efectos de WBV sobre la DMO total. SMD en la DMO total post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV, y post-intervención entre mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV y control. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. DMO = densidad mineral ósea. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

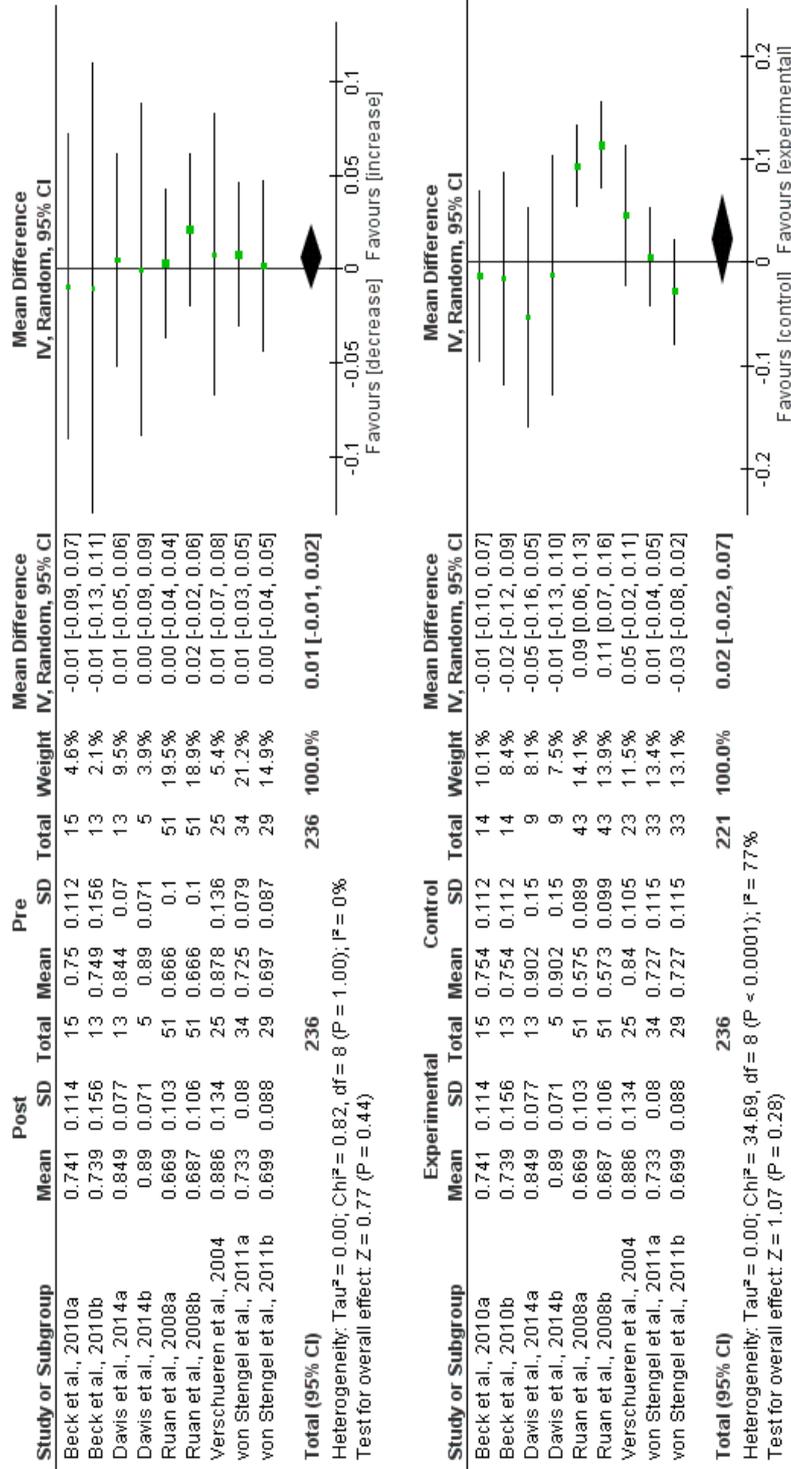


Figura 3. Efectos de WBV sobre la DMO del cuello del fémur. SMD en la DMO del cuello del fémur entre post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV, y post-intervención entre mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV y control. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. DMO = densidad mineral ósea. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

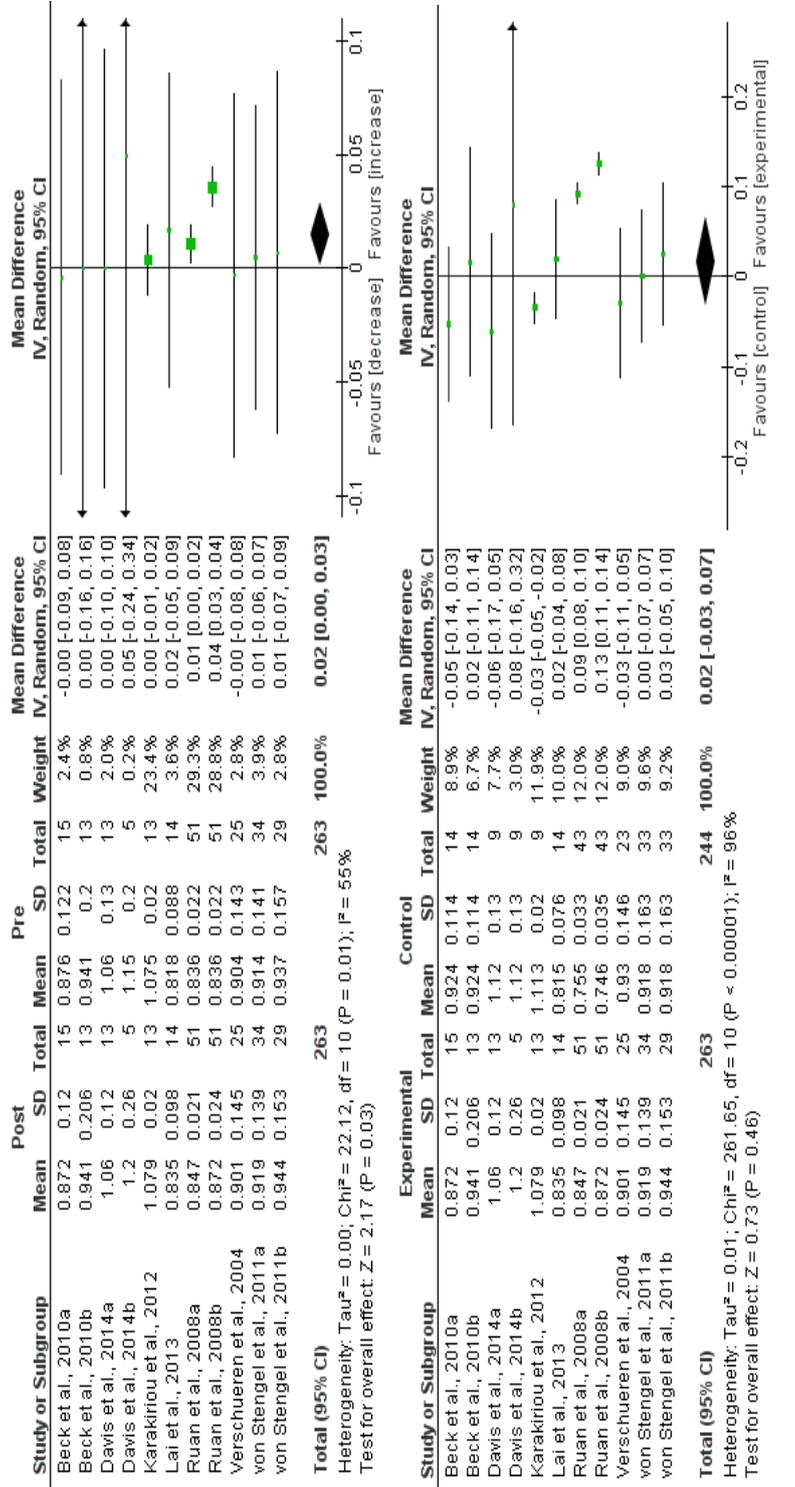


Figura 4. Efectos de WBV sobre la DMO de la columna lumbar. SMD en la DMO de la columna lumbar post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV, y post-intervención entre mujeres postmenopáusicas entrenadas con WBV y control. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. DMO = densidad mineral ósea. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

6.3.4. Análisis de subgrupos

No se encontraron cambios significativos en la DMO del cuello del fémur cuando se analizaron estudios que incluyeron mujeres postmenopáusicas menores de 65 años ($p = 0.42$; SMD = 0.01; Figura 5). Sin embargo, hubo un aumento significativo de la DMO de la columna lumbar ($p = 0.05$; SMD = 0.02; Figura 6) después de WBV entre pre y post-entrenamiento. Además, se observaron diferencias significativas en la DMO del cuello femoral ($p = 0.03$; SMD = 0.01; Figura 5) entre el WBV y los grupos control. Sin embargo, no se observó significación estadística en la DMO de la columna lumbar cuando se comparó WBV con los grupos control ($p = 0.10$; SMD = 0.02; Figura 6).

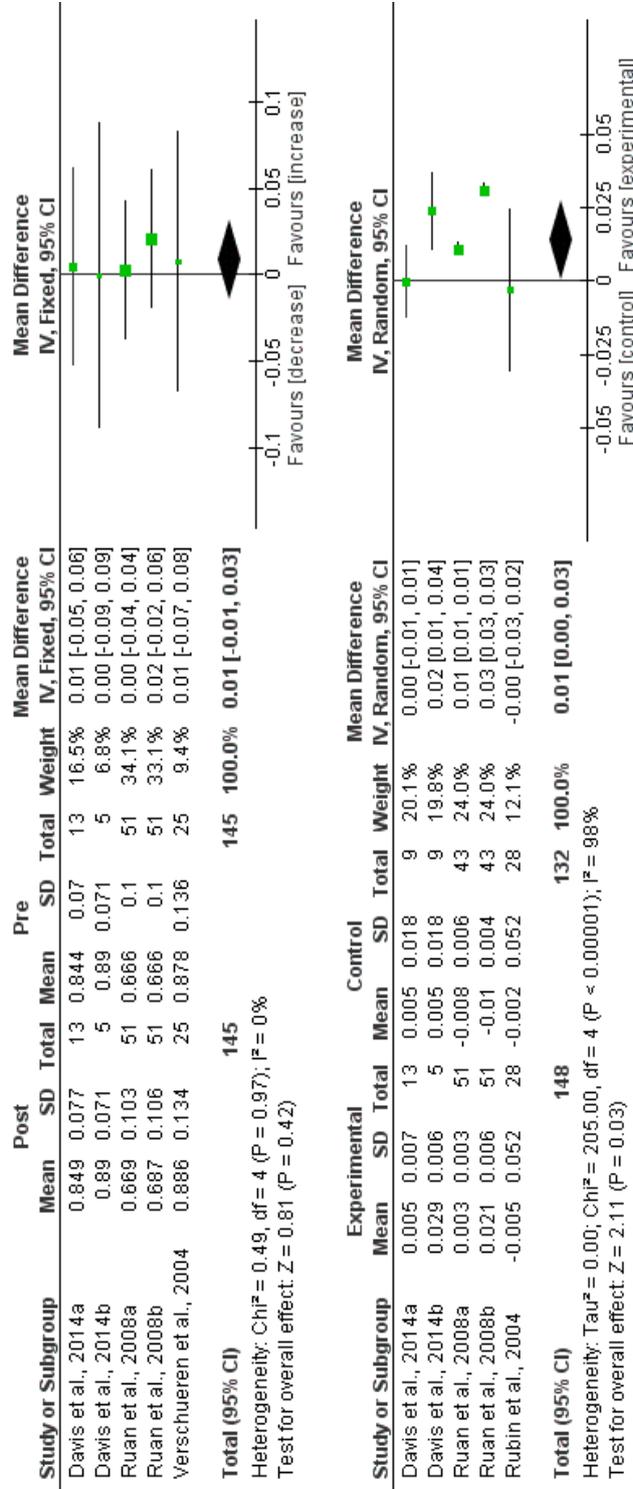


Figura 5. Efectos de WBV sobre la DMO del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas < 65 años. SMD en la DMO del cuello del fémur post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas < 65 años con WBV, y post-intervención entre mujeres postmenopáusicas < 65 años entrenadas con WBV y control. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. DMO = densidad mineral ósea. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento

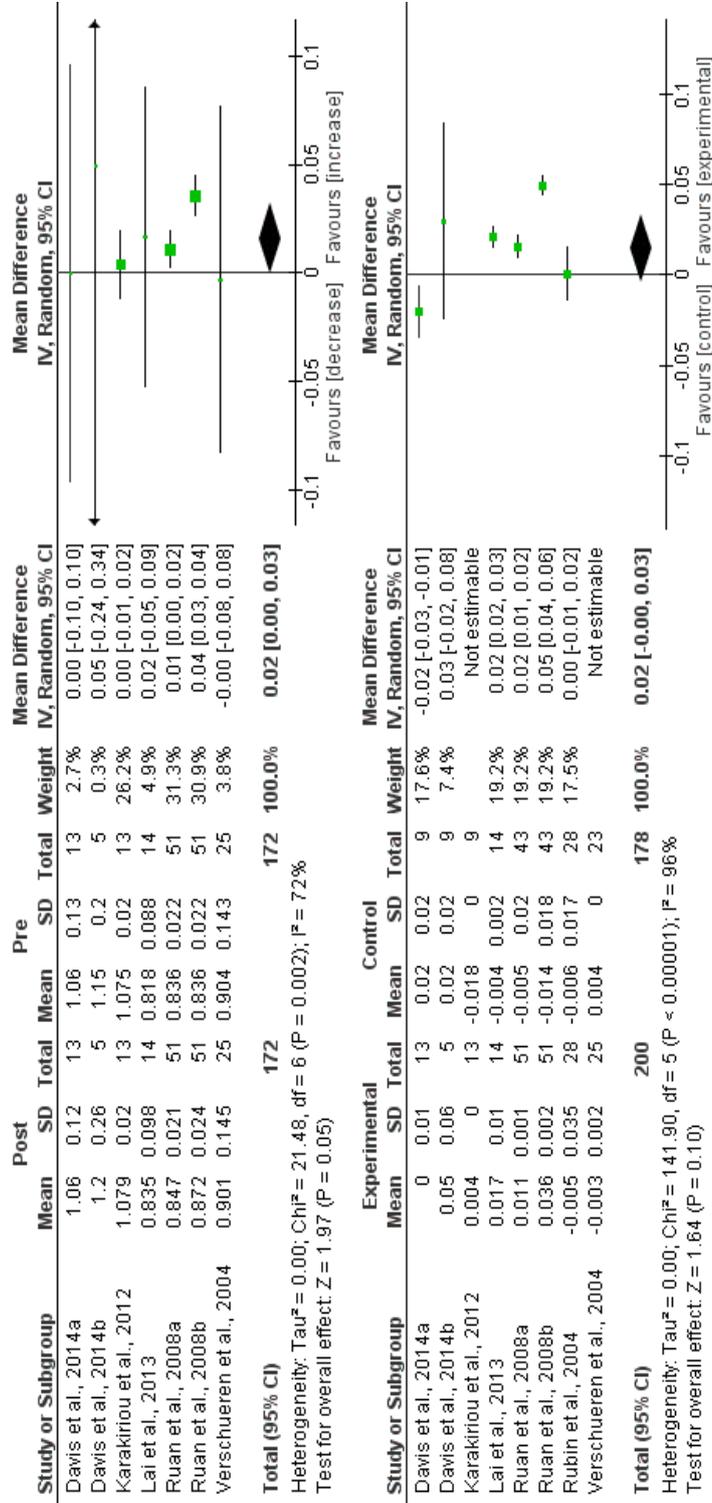


Figure 6. Efectos de WBV sobre la DMO de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas < 65 años. SMD en la DMO de la columna lumbar post y pre-intervención en mujeres postmenopáusicas entrenadas < 65 años con WBV, y post-intervención entre mujeres postmenopáusicas < 65 años entrenadas con WBV y control. Los cuadrados representan la SMD para cada ensayo. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. DMO = densidad mineral ósea. SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV =

El análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para la DMO del cuello femoral y de la columna lumbar se presenta en las Tablas 3 y 4, respectivamente. El análisis de subgrupos de la DMO del cuello del fémur y de la columna lumbar, que incluyó mujeres postmenopáusicas menores de 65 años, se muestra en las Tablas 5 y 6.

Tabla 3. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO del cuello del fémur de los estudios incluidos en el meta-análisis.

Grupo	Estudios		DMO Cuello del fémur			
	Número ^a	Referencias	SMD (95% IC)	I ²	P	P _{Dif}
<i>Características de la población</i>						
<i>N</i>						
> 25	4	Ruan et al. (158), 2008 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.95	.71
≤ 25	5	Beck and Norling (138), 2010 AB; Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.03, 0.04]	0	.39	
<i>Edad</i>						
≥ 65 años	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.01, 0.02]	0	.81	.72
< 65 años	5	Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.42	
<i>IMC</i>						
≥ 25 kg/m ²	4	Beck and Norling (138), 2010 B; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.71	.81
< 25 kg/m ²	3	Beck and Norling (138), 2010 A; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.48	

<i>Características entrenamiento</i>					
Número de sesiones					
≥ 108 sesiones	5	Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 B; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.38
					.67
< 108 sesiones	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Ruan et al. (158), 2008 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.03, 0.03]	0	.94
Duración					
> 32 sem	4	Davis et al. (157), 2014 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.00 [-0.02, 0.03]	0	.69
					.84
≤ 32 sem	5	Beck and Norling (138), 2010 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.49
Frecuencia WBV					
≥ 20 Hz	7	Beck and Norling (138), 2010 A; Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 A	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.40
					.75
< 20 Hz	2	Beck and Norling (138), 2010 B; Von Stengel et al. (160), 2011 B	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.98

Amplitud WBV	Beck and Norling (138), 2010 A N/A					
≥ 5 mm	3	Ruan et al. (158), 2008 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 B	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.45	
<hr/>						.85
< 5 mm	5	Beck and Norling (138), 2010 B; Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 A	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.68	
<hr/>						
Amplitud WBV						
≥ 8 g	5	Davis et al. (157), 2014 B; Ruan et al. (158), 2008 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.40	
<hr/>						.74
< 8 g	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Davis et al. (157), 2014 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.95	
<hr/>						
Tipo de ejercicio						
Estático	6	Beck and Norling (138), 2010 AB; Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.98	
<hr/>						.93
Mixto	3	Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.98	
<hr/>						

Duración de la sesión					
≥ 600 s	6	Beck and Norling (138), 2010 A; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.42
					.80
< 600 s	3	Beck and Norling (138), 2010 B; Davis et al. (157), 2014 AB	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.94

^aNúmero total de grupos de mujeres postmenopáusicas que realizan entrenamiento vibratorio de los estudios referenciados; g = aceleración (donde $1g$ es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s^2); I^2 = heterogeneidad; IMC = índice de masa corporal; N/A = no aplica; P = prueba para el efecto total; P_{Dif} = prueba de diferencias de subgrupos; SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

Tabla 4. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO de la columna lumbar de los estudios incluidos en el meta-análisis.

Grupo	Estudios		DMO Columna Lumbar			
	Número ^a	Referencias	SMD (95% IC)	I ²	P	P _{Dif}
<i>Características de la población</i>						
<i>N</i>						
> 25	4	Ruan et al. (158), 2008 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.02 [-0.00, 0.04]	82	.05	.20
		Beck and Norling (138), 2010 AB;				
≤ 25	7	Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.72	
<i>Edad</i>						
≥ 65 años	4	Beck and Norling (138), 2010 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.89	.56
		Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al.				
< 65 años	7	(157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.02 [0.00, 0.03]	72	.05	
<i>IMC</i>						
		Davis et al. (157), 2014 AB N/A				
≥ 25 kg/m ²	5	Beck and Norling (138), 2010 B; Karakiriou et al. (155), 2012; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.60	.18
		Beck and Norling (138), 2010 A; Lai et al. (156), 2013; Ruan et al. (158), 2008 AB				
< 25 kg/m ²	4		0.02 [0.00, 0.04]	82	.05	

<i>Características entrenamiento</i>						
Número de sesiones						
≥ 108 sesiones	5	Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 B; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.03 [0.03, 0.04]	0	.000001	.00001
< 108 sesiones	6	Beck and Norling (138), 2010 AB; Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Ruan et al. (158), 2008 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [0.00, 0.02]	0	.01	
Duración						
> 32 sem	4	Davis et al. (157), 2014 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.01 [-0.04, 0.05]	0	.80	.67
≤ 32 sem	7	Beck and Norling (138), 2010 AB; Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.02 [-0.00, 0.03]	72	.06	
Frecuencia WBV						
≥ 20 Hz	9	Beck and Norling (138), 2010 A; Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 A	0.02 [0.00, 0.03]	64	.04	.79
< 20 Hz	2	Beck and Norling (138), 2010 B; Von Stengel et al. (160), 2011 B	0.01 [-0.07, 0.08]	0	.88	

Amplitud WBV	Beck and Norling (138), 2010 A; Lai et al. (156), 2013 N/A					
≥ 5 mm	4	Beck and Norling (138), 2010 B; Ruan et al. (158), 2008 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 B	0.02 [0.00, 0.04]	82	.05	.18
< 5 mm	5	Karakiriou et al. (155), 2012; Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 A	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.60	
Amplitud WBV						
≥ 8 g	5	Davis et al. (157), 2014 B; Ruan et al. (158), 2008 AB; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.02 [0.00, 0.04]	76	.04	.18
< 8 g	6	Beck and Norling (138), 2010 AB; Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.58	

Tipo de ejercicio						
Estático	8	Beck and Norling (138), 2010 AB; Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.02 [0.00, 0.03]	67	.04	.57
Mixto	3	Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.88	
Duración de la sesión						
≥ 600 s	7	Beck and Norling (138), 2010 A; Karakiriou et al. (155), 2012; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004; Von Stengel et al. (160), 2011 AB	0.02 [-0.00, 0.03]	73	.06	.89
< 600 s	4	Beck and Norling (138), 2010 B; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB	0.01 [-0.04, 0.06]	0	.67	

^aNúmero total de grupos de mujeres postmenopáusicas que realizan entrenamiento vibratorio de los estudios referenciados; g = aceleración (donde 1g es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s²); I² = heterogeneidad; IMC = índice de masa corporal; N/A = no aplica; P = prueba para el efecto total; P_{Dif} = prueba de diferencias de subgrupos; SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

Tabla 5. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO del cuello del fémur de los estudios incluidos en el meta-análisis en mujeres postmenopáusicas < 65 años.

Grupo	Estudios		DMO Cuello del Fémur			
	Número ^a	Referencias	SMD (95% IC)	I ²	P	P _{Dif}
<i>Características de la población</i>						
<i>N</i>						
> 25	2	Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.41	.78
≤ 25	3	Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.81	
<i>IMC</i>						
≥ 25 kg/m ²	1	Davis et al. (157), 2014 AB N/A Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.07, 0.08]	N/A	.83	.92
< 25 kg/m ²	2	Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.41	
<i>Características entrenamiento</i>						
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 108 sesiones	3	Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 B	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.38	.68
< 108 sesiones	2	Ruan et al. (158), 2008 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.03, 0.04]	0	.82	
<i>Duración</i>						
> 32 sem	2	Davis et al. (157), 2014 AB	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.88	.78
≤ 32 sem	3	Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.01, 0.04]	0	.40	

Amplitud WBV					
≥ 5 mm	2	Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.41
					.78
< 5 mm	3	Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.81
Amplitud WBV					
≥ 8 g	3	Davis et al. (157), 2014 B; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.43
					.86
< 8 g	2	Davis et al. (157), 2014 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.04, 0.05]	0	.79
Tipo de ejercicio					
Estático	4	Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.43
					.97
Mixto	1	Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.07, 0.08]	N/A	.83
Duración de la sesión					
≥ 600 s	3	Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [-0.01, 0.04]	0	.40
					.78
< 600 s	2	Davis et al. (157), 2014 AB	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.88

^aNúmero total de grupos de mujeres postmenopáusicas que realizan entrenamiento vibratorio de los estudios referenciados; g = aceleración (donde 1g es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s²); I² = heterogeneidad; IMC = índice de masa corporal; N/A = no aplica; P = prueba para el efecto total; P_{Dif} = prueba de diferencias de subgrupos; SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

Tabla 6. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales de la DMO de la columna lumbar de los estudios incluidos en el meta-análisis en mujeres postmenopáusicas < 65 años.

Grupo	Estudios		DMO Columna Lumbar			
	Número ^a	Referencias	SMD (95% IC)	I ²	P	P _{Dif}
<i>Características de la población</i>						
<i>N</i>						
> 25	2	Ruan et al. (158), 2008 AB	0.02 [-0.00, 0.05]	94	.06	.19
≤ 25	5	Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.56	
<i>IMC</i>						
Davis et al. (157), 2014 AB N/A						
≥ 25 kg/m ²	2	Karakiriou et al. (155), 2012; Verschueren et al. (92), 2004	0.02 [-0.00, 0.03]	0	.63	.17
< 25 kg/m ²	3	Lai et al. (156), 2013; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.02 [0.00, 0.05]	83	.05	
<i>Características entrenamiento</i>						
<i>Número de sesiones</i>						
≥ 108 sesiones	3	Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 B	0.04 [0.03, 0.04]	0	.00001	.00001
< 108 sesiones	4	Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Ruan et al. (158), 2008 A; Verschueren et al. (92), 2004	0.01 [0.00, 0.02]	0	.01	

Duración						
> 32 sem	2	Davis et al. (157), 2014 AB	0.01 [-0.09, 0.10]	0	.75	.81
≤ 32 sem	5	Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.02 [-0.00, 0.03]	81	.06	
Amplitud WBV						
Lai et al.(156), 2013 N/A						
≥ 5 mm	2	Ruan et al. (158), 2008 AB	0.02 [-0.00, 0.05]	94	.06	.18
< 5 mm	4	Karakiriou et al. (155), 2012; Davis et al. (157), 2014 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.62	
Amplitud WBV						
≥ 8 g	3	Davis et al. (157), 2014 B; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.02 [-0.00, 0.05]	88	.05	
< 8 g	4	Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 A; Verschueren et al.(92), 2004	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.57	.17
Tipo de ejercicio						
Estático	6	Karakiriou et al. (155), 2012; Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB; Ruan et al. (158), 2008 AB	0.02 [0.00, 0.03]	76	.05	.63
Mixto	1	Verschueren et al. (92), 2004	-0.00 [-0.08, 0.08]	N/A	.94	

Duración de la sesión					
≥ 600 s	4	Karakiriou et al. (155), 2012; Ruan et al. (158), 2008 AB; Verschueren et al. (92), 2004	0.02 [-0.00, 0.04]	86	.08
					.89
< 600 s	3	Lai et al. (156), 2013; Davis et al. (157), 2014 AB	0.01 [-0.04, 0.07]	0	.65

^aNúmero total de grupos de mujeres postmenopáusicas que realizan entrenamiento vibratorio de los estudios referenciados; g = aceleración (donde $1g$ es la aceleración debida al campo gravitatorio de la Tierra o 9.81 m/s^2); I^2 = heterogeneidad; IMC = índice de masa corporal; N/A = no aplica; P = prueba para el efecto total; P_{Dif} = prueba de diferencias de subgrupos; SMD = diferencia de medias estandarizada; WBV = entrenamiento vibratorio.

En cuanto a las características de la población y del entrenamiento, no se observaron diferencias significativas entre los subgrupos (Tablas 3 y 5) de los estudios que tuvieron como variable de resultado el cuello femoral en el número de participantes, edad, índice de masa corporal (IMC), número de sesiones, duración total del entrenamiento, frecuencia, amplitud, tipo de ejercicios y duración de la sesión.

En relación al número de participantes (n), los estudios con más de 25 sujetos presentaron un efecto de entrenamiento significativo sobre la DMO de la columna lumbar ($p = 0.05$; SMD = 0.02; Tabla 4). Para los participantes menores de 65 años y con un IMC inferior a 25 kg/m^2 , el entrenamiento WBV fue eficaz para reducir la pérdida ósea en la columna lumbar ($p = 0.05$; SMD = 0.02; Tabla 6). No obstante, no se obtuvieron diferencias significativas entre los subgrupos (Tablas 4 y 6).

Con respecto al número total de sesiones, se observó un efecto significativo pre-post en la DMO de la columna lumbar con más de 108 sesiones (157, 158, 160) o menos (92, 138, 155, 156, 158) ($p = 0.000001$; SMD = 0.03 y $p = 0.01$; SMD = 0.01, respectivamente). Además, se obtuvo un efecto significativo en la DMO de la columna lumbar entre los subgrupos ($p = 0.00001$) presentando una mayor SMD con 108 sesiones o más (Tabla 4). Cuando se incluyeron los estudios con mujeres

postmenopáusicas menores de 65 años los resultados fueron similares (≥ 108 sesiones: $p = 0.00001$; SMD = 0.04; < 108 sesiones: $p = 0.01$; SMD = 0.01; Tabla 6). De nuevo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los subgrupos con mujeres menores de 65 años ($p = 0.00001$) con una SMD mayor con 108 o más sesiones (Tabla 6).

En cuanto a la frecuencia de WBV, el entrenamiento a 20 Hz o superior indujo un efecto significativo en la DMO de la columna lumbar ($p = 0.04$; SMD = 0.02; Tabla 4). Sin embargo, no se encontró significación estadística entre los grupos que entrenaron con frecuencias altas y bajas ($p = 0.79$; Tabla 4).

Cuando las sesiones de entrenamiento emplearon amplitudes mayores a 5 mm ($p = 0.05$; SMD = 0.02) u 8 g ($p = 0.04$; SMD = 0.02), hubo un efecto significativo sobre la masa ósea en la columna lumbar. En cambio, no se observaron diferencias estadísticas entre los grupos que utilizaron amplitudes mayores y menores (Tabla 4).

Por último, en relación al tipo de ejercicios utilizados, no se encontraron diferencias significativas entre los subgrupos. Sin embargo, cuando el programa de entrenamiento WBV se basó en ejercicios estáticos, se observó un efecto significativo en la DMO de la columna lumbar ($p = 0.04$; SMD = 0.02; Tabla 4).

6.4. DISCUSIÓN

Los objetivos de este meta-análisis fueron analizar el contenido de los ECAs más relevantes publicados relacionados con el entrenamiento vibratorio sobre los efectos que éste tiene en la masa ósea en mujeres postmenopáusicas, así como identificar factores moderadores potenciales que expliquen las adaptaciones de este protocolo de entrenamiento. Entre los principales hallazgos, el presente meta-análisis mostró que el entrenamiento WBV (rango de volumen de 3 a 13 meses) no tuvo ningún efecto significativo sobre la DMO total o del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas, pero sí fue eficaz para mejorar la DMO de la columna lumbar. Además, al analizar los estudios que incluyeron mujeres postmenopáusicas menores de 65 años, se encontraron diferencias significativas en la DMO del cuello del fémur entre los grupos de intervención y control.

Las características de los programas de entrenamiento WBV parecen explicar algunos de los resultados contradictorios en la literatura. En relación al número total de sesiones, se observó un efecto significativo pre-post en la DMO de la columna lumbar, independientemente del número total de sesiones. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en la DMO de la columna lumbar entre los subgrupos que realizaban 108 sesiones o más de entrenamiento WBV, en donde hubo una mayor SMD en comparación con los que realizaron un número menor. La dosis acumulada (tiempo total en el que los sujetos están sobre la plataforma vibratoria) se correlaciona positivamente con incrementos en la masa ósea y parece que es más importante que la duración total de la intervención (93, 156). Por tanto, el número de sesiones de entrenamiento por semana es más relevante para conseguir mejoras en la DMO. De manera interesante, los resultados indicaron que los incrementos en la masa ósea después del entrenamiento WBV eran independientes de la frecuencia y la amplitud de vibración, ya que no se encontraron diferencias significativas entre estos subgrupos. Sin embargo, el entrenamiento WBV produjo aumentos en la DMO de la columna lumbar con frecuencias superiores a 20 Hz y amplitudes mayores a 5 mm u 8 g. Estos resultados se encuentran en la misma línea que los publicados por otros autores quienes indicaron que el uso de frecuencias inferiores a 20 Hz no proporcionan un estímulo de entrenamiento suficiente (163, 164). Por otra parte, se sugieren señales mecánicas de alta frecuencia y amplitudes inferiores para transferir eficazmente la energía a la columna vertebral y la cadera, recomendando así el empleo de frecuencias superiores a 20 Hz (165). En relación a la duración del entrenamiento y de las sesiones, no se obtuvieron diferencias significativas en la masa ósea. Sin embargo, se identificó una tendencia a la significación ($p = 0.06$) en las sesiones de mayor duración (≥ 600 s). En este sentido, otros estudios también encontraron mejoras significativas con sesiones de larga duración (92, 158). El análisis de subgrupos sobre el tipo de ejercicio no mostró diferencias significativas entre los grupos. No obstante, los estudios que incluyeron entrenamiento WBV con ejercicios estáticos produjeron efectos positivos en la DMO de la columna lumbar en comparación con los protocolos de entrenamiento dinámico/mixto, que no mostraron cambios. Estos resultados son similares a los encontrados en investigaciones anteriores en las que no se

observaron cambios en la DMO de la columna lumbar después de 24 semanas de entrenamiento WBV utilizando ejercicios estáticos y dinámicos de los extensores de rodilla (92). Por otro lado, von Stengel et al. (160) demostraron un aumento en la DMO de la columna lumbar después de 12 meses de entrenamiento WBV realizando ejercicios dinámicos en sentadilla en mujeres postmenopáusicas. Por lo tanto, no está claro si el tipo de ejercicio (estático o mixto) en WBV afecta a la masa ósea de manera diferente y son necesarias más investigaciones para identificar qué tipo de ejercicio es más eficaz para mejorar la salud ósea en esta población.

La mejora de la masa ósea observada con el entrenamiento WBV puede depender de una variedad de factores que podrían haber interactuado unos con otros, como la frecuencia, la amplitud y los periodos de descanso (100). Las diferencias en la metodología (protocolos de vibración) entre los estudios incluidos pueden explicar la variedad en los resultados. Existen varios factores determinantes que incrementan el riesgo de osteoporosis, tales como la edad avanzada (166), el género, la distrofia muscular (167, 168) y los trastornos neurológicos (169). Se considera que el entrenamiento vibratorio puede causar microtraumas en el tejido óseo, que posteriormente es reparado por la acción osteoblástica (102), produciéndose con este estrés físico un aumento de la densidad ósea. Además, el entrenamiento WBV ha demostrado mejoras en los niveles de hormona del crecimiento y testosterona en regiones lumbares y de cadera en hombres y mujeres (170-172). Varios estudios han encontrado aumentos en la DMO después de WBV (156, 158), aunque otros no han mostrado ninguna mejora (70, 157). Ruan et al. (158) observaron un aumento de la DMO de la columna lumbar y del cuello del fémur (4.3% y 3.2%, respectivamente) tras 6 meses de entrenamiento WBV (10 min de duración, 5 veces por semana, frecuencia de 30 Hz y amplitud de 5 mm). Los autores encontraron una disminución significativa en la DMO en el grupo control del 1.9% en la columna lumbar y del 1.7% en el cuello femoral. Karakiriou et al. (155) no detectaron ningún cambio en la DMO de la columna lumbar en el grupo de tratamiento con vibración, pero sí una disminución en el grupo de control, lo que sugiere que el entrenamiento WBV puede haber ayudado a mantener la DMO. Por el contrario, Davis et al. (157) analizaron la densidad ósea en un grupo de mujeres

postmenopáusicas (62.2 ± 6.0 años), asignadas aleatoriamente a tres grupos: 1) intensidad baja (2 mm; 30-35 Hz); 2) intensidad alta (4 mm; 40-50 Hz); y 3) grupo control. No hubo cambios en la DMO en ninguno de los grupos después de WBV (157).

Existen algunas explicaciones para los resultados contradictorios con respecto a los beneficios del entrenamiento WBV en la DMO. Se ha sugerido que la mecanotransducción varía según las regiones del cuerpo debido a la no linealidad del sistema músculo-esquelético, así como por el uso de diferentes posiciones adoptadas durante el entrenamiento vibratorio (165, 173). Por lo tanto, esto podría explicar las diferencias entre el efecto del entrenamiento en el cuello femoral y en la columna lumbar en base a la cantidad de estímulos que recibe la región. La discrepancia en la literatura también se puede deber a las diferencias en los tamaños de la muestra entre los estudios incluidos (174).

En la misma línea que nuestros hallazgos, un meta-análisis previo llevado a cabo por Oliveira et al. (175), encontró un efecto significativo en la DMO de la columna lumbar con WBV en comparación con un grupo que no fue sometido a intervención. Sin embargo, hasta donde sabemos, la presente revisión meta-analítica es la primera que se centra en las adaptaciones de la DMO en la postmenopausia teniendo en cuenta la edad. El meta-análisis actual incluye un subgrupo de mujeres postmenopáusicas menores de 65 años. La transición de la edad y la menopausia son factores determinantes en la pérdida de DMO. Por lo tanto, es esencial examinar a los pacientes que comienzan con la transición menopáusica mucho antes de los 65 años de edad y cómo la pérdida de hueso evoluciona en estos individuos a través del tiempo.

En este meta-análisis hay algunas limitaciones que deben ser abordadas: 1) el bajo número de ECAs revisados debido a las pocas publicaciones en la literatura centradas en el efecto de la intervención de WBV sobre la masa ósea en mujeres postmenopáusicas; 2) los autores de los estudios utilizaron un rango amplio de edad al definir las mujeres menopáusicas, incluyendo a mujeres mayores; y 3) la alta heterogeneidad entre los estudios con respecto a los protocolos de entrenamiento WBV.

6.5. CONCLUSIONES

Este meta-análisis demostró que el entrenamiento WBV se considera una posible intervención no farmacológica para mejorar la masa ósea en las mujeres postmenopáusicas, particularmente en la columna lumbar, que se muestra como el área más sensible. Además, se encontraron diferencias significativas entre los grupos de intervención y control en la DMO del cuello femoral en mujeres postmenopáusicas menores de 65 años. El entrenamiento mediante WBV es un método seguro y eficaz y puede ser utilizado junto con otros métodos de entrenamiento para minimizar la reducción de la DMO en mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, todavía se necesitan más estudios para definir el protocolo óptimo en esta población. En base a los resultados obtenidos en el presente meta-análisis, el entrenamiento WBV mejora la masa ósea de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas menores de 65 años y con un IMC inferior a 25 kg/m². Cuando se prescriba este tipo de entrenamiento, los profesionales podrían tener en cuenta las siguientes recomendaciones: volumen de trabajo total de 108 sesiones o superior, frecuencia de vibración de 20 Hz o mayor, y amplitud de vibración de 5 mm/ 8 g o superior.

VII – ESTUDIO N° 3

VII. ESTUDIO N° 3:

EFFECTS OF MULTI-COMPONENT TRAINING ON LEAN AND BONE MASS
IN POSTMENOPAUSAL AND OLDER WOMEN: A SYSTEMATIC REVIEW

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA MASA
MUSCULAR Y LA MASA ÓSEA EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS Y
MAYORES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

7.1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho ampliamente reconocido que el proceso de envejecimiento está estrechamente relacionado con una pérdida acelerada de la masa muscular y ósea, lo que podría desencadenar la aparición de enfermedades crónicas, como la sarcopenia y la osteoporosis (114, 115, 176, 177). Estos cambios en la composición corporal que se producen en personas de edad avanzada suponen un problema importante que puede afectar a la calidad de vida (178), ya que provoca un descenso en la condición física y en la pérdida de independencia, conduce a un mayor riesgo de fracturas y caídas, y produce un incremento de la mortalidad (179).

La sarcopenia se define como la disminución de la masa muscular esquelética, la función neuromuscular y la fuerza asociada al envejecimiento (180). Dichos descensos son más acentuados en mujeres, debido a los déficits hormonales que ocurren como consecuencia de la etapa menopáusica (115). Además, con la menopausia, hay una pérdida de masa ósea intensificada como consecuencia de la inestabilidad en el ciclo de formación ósea, que conlleva a una mayor tasa de eliminación de hueso con respecto al que se renueva (27, 66). Así, la disminución de la masa ósea causa una mayor prevalencia de fracturas osteoporóticas en mujeres (181).

Algunos estudios han demostrado que la sobrecarga en el esqueleto es necesaria para prevenir la pérdida de hueso (182, 183). Además, el estado nutricional, la actividad física, el crecimiento hormonal, los factores conductuales

y ambientales influyen en el desarrollo del sistema óseo. Sin embargo, el factor principal para el desarrollo del hueso es la continua adaptación ósea a las cargas externas. Debido a que las contracciones musculares causan la mayor carga fisiológica, existe una estrecha relación entre la fuerza y el tamaño del músculo con la fortaleza ósea (184).

Es sabido que el ejercicio físico tiene un papel importante en conseguir ganancias en la masa muscular (185) y en maximizar el pico de masa ósea (186, 187). Aunque se propone la práctica de actividad física regular para obtener mejoras a nivel muscular y óseo, no todas las intervenciones han encontrado resultados positivos en mujeres. Estudios anteriores sugieren que los métodos de entrenamiento que incluyen actividades de alto impacto generan mayor potencial osteogénico en adultos (110), pero todavía existe cierta controversia respecto a qué tipo de entrenamiento produce mayores incrementos en la masa muscular y ósea en mujeres postmenopáusicas y mayores.

Trabajos previos señalan que el entrenamiento de fuerza parece proporcionar un estímulo intenso para aumentar y mantener estos tejidos corporales en las personas mayores (188-191). Por otra parte, la literatura científica se centra en la combinación de varios tipos de ejercicio [es decir, entrenamiento multi-componente (el término en inglés: multi-component training, MT) como un método eficaz contra la reducción de la fuerza muscular (70, 192) y la pérdida ósea (69, 193). Kwon et al. (112) indicaron que un programa de 24 semanas de MT, compuesto por ejercicios aeróbicos de bajo impacto, entrenamiento con sobrecargas y equilibrio, fue capaz de mejorar la masa muscular en mujeres de edad avanzada, pero no encontraron efectos significativos en la densidad mineral ósea (DMO) de la columna vertebral ni del cuello fémur. Martyn-St James y Carroll (194) expusieron en su meta-análisis que los métodos de MT parecen útiles en la preservación de la DMO en mujeres postmenopáusicas mediante la combinación de trote con otras actividades de bajo impacto o programas de entrenamiento basados en actividades de impacto con ejercicio de alta intensidad (es decir, entrenamiento con sobrecargas). En la misma línea, Gómez-Cabello et al. (69) mostraron que el MT de fuerza, entrenamiento aeróbico, alto impacto y ejercicios con sobrecarga puede aumentar, o al menos

atenuar la disminución de la masa ósea durante el envejecimiento. Por lo tanto, no está claro qué método de MT logra mejores adaptaciones.

Estos resultados controvertidos en el músculo y en la masa ósea siguiendo programas de MT podrían depender de la edad y del sexo. Por lo tanto, los objetivos de esta revisión sistemática fueron actualizar y examinar en qué medida las intervenciones de MT podrían mejorar la masa muscular y ósea en diferentes regiones anatómicas en mujeres postmenopáusicas y mayores.

7.2. MÉTODO

7.2.1. Fuentes de información y perfil de búsqueda

Para el desarrollo de la metodología del presente trabajo se siguieron las recomendaciones de la declaración PRISMA (195). La búsqueda bibliográfica informatizada se realizó en las siguientes bases de datos: PubMed MEDLINE, Cochrane y Web of Knowledge (WoS). La misma se llevó a cabo hasta Febrero de 2017 inclusive. Se emplearon las siguientes palabras clave: “combined training”, “combined exercise”, “high-impact”, “multi-component”, “multicomponent”, “body composition”, “muscle mass”, “fat-free mass”, “lean mass”, “bone mass”, “bone mineral density”, “BMD”, “bone mineral content”, “BMC”, “women”, “older adults”, “elderly” o una combinación de éstas. También se examinaron listas de referencias de los artículos con el fin de encontrar estudios adicionales.

7.2.2. Criterios de elegibilidad

Para la revisión sistemática se consideraron ensayos controlados aleatorios y no aleatorios, publicados en inglés. Los estudios se seleccionaron si cumplían los siguientes criterios: 1) las participantes eran mujeres postmenopáusicas (periodo postmenopáusico definido como los años posteriores después del año del cese de la menstruación) y/o mayores (edad media \geq 65 años); 2) al menos un grupo de estudio realizaba un programa supervisado de MT; y 3) se medían como variables de resultado la DMO o el contenido mineral óseo (CMO) de diferentes zonas, o la masa muscular, masa magra (MM) o masa libre de grasa (MLG). Se excluyeron los estudios: 1) sin grupo control; y 2) en los que las participantes

estaban tomando tratamientos médicos o suplementos que pudieran haber influido en la masa muscular u ósea.

7.2.3. Proceso de selección

Tres investigadores (E.M.C., J.A.R.A. y D.J.R.C.) tabularon independientemente los índices seleccionados en formas idénticas predeterminadas. Después de la eliminación de los estudios duplicados, los autores examinaron títulos y resúmenes. Se obtuvo la versión completa de los artículos restantes y se seleccionaron de acuerdo con los criterios previamente establecidos. Los desacuerdos se resolvieron por consenso entre los investigadores.

7.2.4. Evaluación del riesgo de sesgo

La calidad metodológica de los estudios seleccionados se evaluó de acuerdo con la herramienta del riesgo de sesgo de la Colaboración Cochrane (196). Este método valora los siguientes aspectos: 1) generación de la secuencia de aleatorización (sesgo de selección); 2) ocultación de la asignación; 3) cegamiento de los participantes y del personal (sesgo de realización); 4) cegamiento de los evaluadores y de los del resultado (sesgo de detección); 5) manejo de los datos de resultado incompletos (sesgo de desgaste); 6) notificación selectiva de resultados (sesgo de notificación). Se clasificó cada dominio dentro de una de las 3 categorías: bajo riesgo de sesgo, alto riesgo o riesgo poco claro. El riesgo de sesgo se valoró por 2 autores de forma independiente (E.M.C. y J.A.R.A.), y los desacuerdos se resolvieron mediante la evaluación de un tercer autor (D.J.R.C.), siguiendo las pautas de la Colaboración Cochrane (196).

7.3. RESULTADOS

7.3.1. Selección de los estudios

Mediante la estrategia de búsqueda se obtuvieron un total de 1484 estudios y se identificaron 2 registros adicionales a través de listas de referencias. Entre ellos, hubo 1003 duplicados, dejando 483 artículos. Tras la revisión de título y

resumen, se excluyeron 453 artículos. Como resultado, se evaluaron 30 estudios sobre la base de los criterios de selección. De estos artículos, 15 cumplieron los criterios de inclusión y formaron parte de esta revisión sistemática (Figura 1).

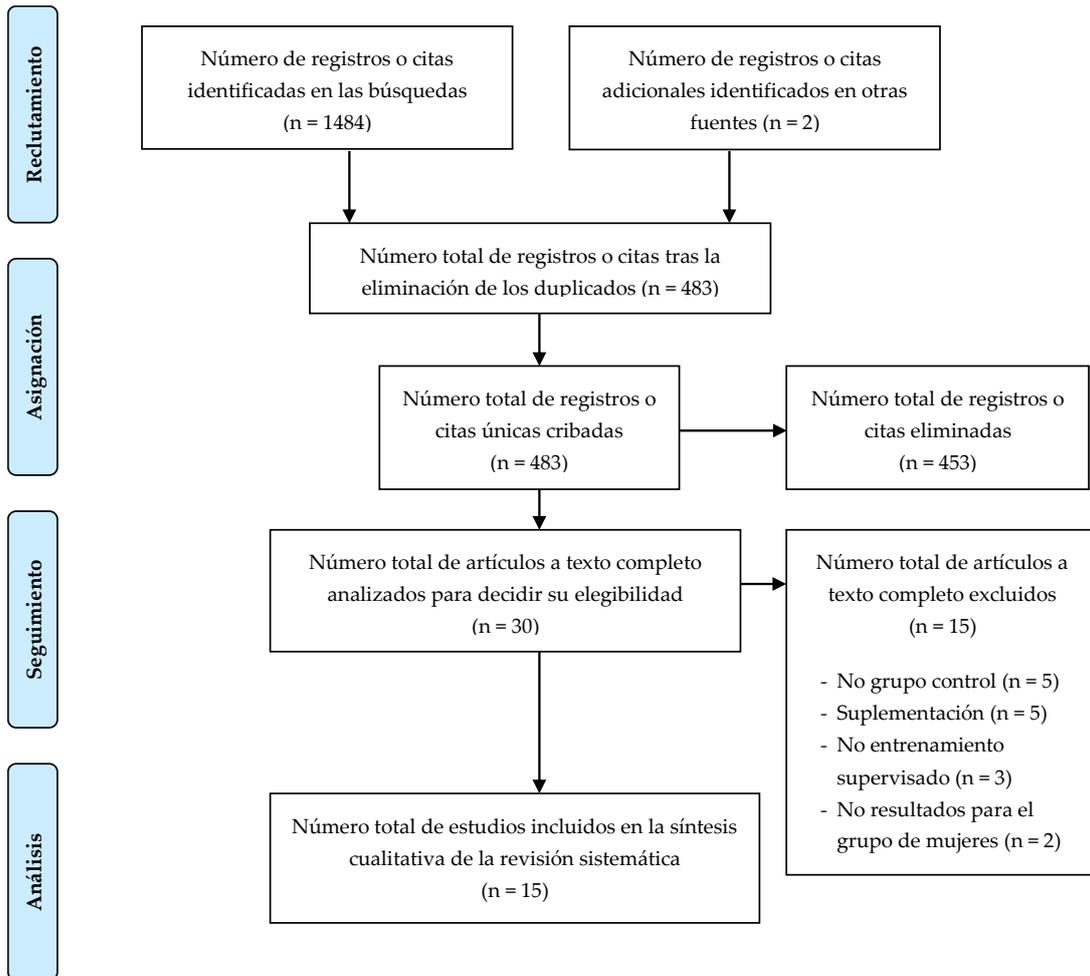


Figura 1. Diagrama de flujo.

7.3.2. Características de los estudios incluidos

Las Tablas 1 y 2 resumen las características principales del MT de los 15 estudios incluidos según el formato PICO: pacientes o participantes (P), intervención (I), grupo de comparación o control (C) y resultados (O). Con el fin de facilitar la comparación entre los estudios, los resultados de los ensayos han sido clasificados por edad: postmenopáusicas (n = 8) y mujeres mayores (n = 7). En las Figuras 2 y 3 se presentan las frecuencias y las proporciones de los diferentes dominios de la herramienta para la evaluación del riesgo de sesgo alcanzadas por los estudios. Debido a la falta de ocultación de la asignación en todos los estudios incluidos, el riesgo de sesgo para este dominio fue alto. En cuanto al cegamiento de los participantes y el personal, y el cegamiento de los evaluadores del resultado el riesgo de sesgo se clasificó como no claro.

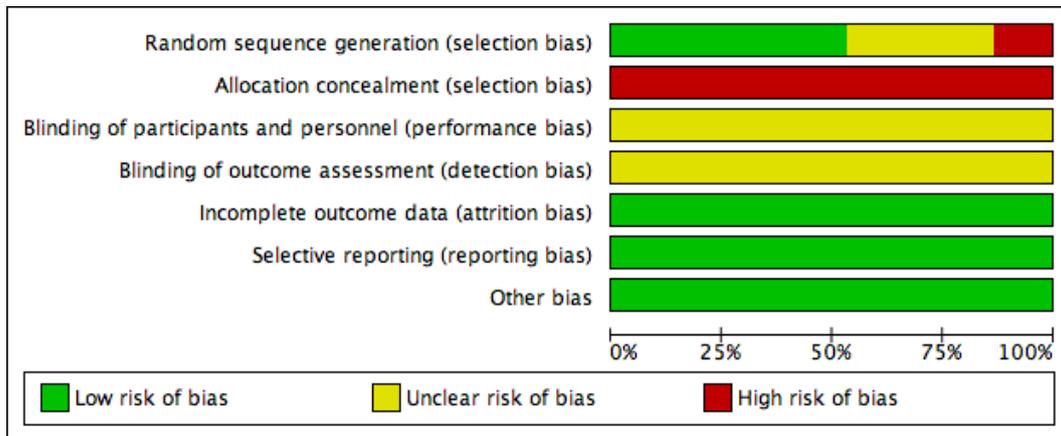


Figura 2. Evaluación del riesgo de sesgo.

	Random sequence generation (selection bias)	Allocation concealment (selection bias)	Blinding of participants and personnel (performance bias)	Blinding of outcome assessment (detection bias)	Incomplete outcome data (attrition bias)	Selective reporting (reporting bias)	Other bias
Bravo et al. (1996)	+	-	?	?	+	+	+
Chien et al. (2000)	-	-	?	?	+	+	+
Chuin et al. (2009)	?	-	?	?	+	+	+
Englung et al. (2005)	?	-	?	?	+	+	+
Karinkanta et al. (2007)	+	-	?	?	+	+	+
Korpelainen et al. (2006)	+	-	?	?	+	+	+
Kwon et al. (2008)	-	-	?	?	+	+	+
Marín-Cascales et al. (2015)	+	-	?	?	+	+	+
Marín Cascales et al. (2017)	+	-	?	?	+	+	+
Marques et al. (2011)	+	-	?	?	+	+	+
Multanen et al. (2014)	+	-	?	?	+	+	+
Park et al. (2008)	+	-	?	?	+	+	+
Park et al. (2015)	?	-	?	?	+	+	+
Rossi et al. (2016)	?	-	?	?	+	+	+
Tolomio et al. (2010)	?	-	?	?	+	+	+

Figura 3. Resumen del riesgo de sesgo.

7.3.2.1. Mujeres Postmenopáusicas

Entre los estudios con mujeres postmenopáusicas (Tabla 1), 5 artículos (70, 71, 111, 113, 197) en total evaluaron variables relacionadas con la masa muscular siguiendo un programa de MT. También, 6 estudios (70, 71, 111, 198-200) proporcionaron datos sobre la masa ósea.

Tabla 1. Características de los programas de entrenamiento multi-componente sobre la masa ósea y muscular en mujeres postmenopáusicas.

Estudio, año	Número de sujetos ¹	Edad (a) y tiempo desde la menopausia ^{1,2}	Protocolo de entrenamiento	Duración y frecuencia semanal	Intensidad de entrenamiento	Patología	Medición	Resultados
Bravo et al. (198), 1996	MT: 61 C: 63	61-73 MT: 65.4 ± 3.5 C: 67.4 ± 3.8	MT: EA (25min, marcha/baile), ESP (15min) y ejercicios isométricos (ES, cintura escapular, abdomen y espalda)	12 mes 3/sem	60-70% FCRes 12-15 RM	Osteopenia	DMO CF y CL	MT: SC DMO CF y CL C: SC DMO CF y ↓ DMO CL (-1.3%)
Chien et al. (111), 2000	MT: 22 C: 21	66-87 MT: 72.8 ± 3.6 C: 73.2 ± 4.9	MT: marcha en cinta ergométrica (30min) y ESP usando un banco de 20cm (10min)	24 sem 3/sem	EA: 70-85% del VO ₂ máx ESP: velocidad de 96ppm	Osteopenia	DMO CF y CL MLG CC	MT: ↑ CF DMO (+6.8%), SC DMO CL y MLG CC C: ↓ CL DMO (-2.3%), SC DMO CF y MLG CC
Marín-Cascales et al. (70), 2015	MT: 14 WBVT: 14 C: 10	MT: 72.8 ± 3.6 C: 73.2 ± 4.9	MT: 4-6x10 drop jumps (altura de 5-10cm) + EA (30-45min marcha) WBVT: 5-8 series de vibración, en posición de media sentadilla y realizando flexión plantar y dorsal de tobillo (60s tiempo de trabajo, 60s Rec).	12 sem 3/sem	EA: 50-60% FCRes WBVT: 35Hz, amplitud 4mm	Sobrepeso	DMO CC MM CC	MT: SC DMO CC y ↑ MM CC WBVT: SC DMO CC y ↑↑ MM CC C: SC DMO y MM CC

Marin Cascales et al. (71), 2017	MT: 13 WBVT: 15 C: 10	70-78 ER: 72.7 ± 2.5 EE: 72.9 ± 2.3 MT: 72.9 ± 2.2 C: 72.0 ± 2.1	MT: 4-6x10 drop jumps (altura de 5-25cm) + EA (30- 60min marcha) WBVT: 5-11 series de vibración, en posición de media sentadilla y realizando flexión plantar y dorsal de tobillo (60s tiempo de trabajo, 60s Rec).	24 sem 3/sem	EA: 50-75% FCRes WBVT: 35-40Hz, amplitud 4mm	Sobrepeso	DMO CC MM CC	MT: SC DMO y MM CC C: SC DMO y MM CC
Multanen et al. (199), 2014	MT: 36 C: 40	70-80 MT: 77.4 ± 2.6 C: 77.0 ± 3.3	MT (55min): EA (altura de 5- 20cm) y ESP (altura de 10- 20cm en ejercicios de salto).	12mes 3/sem	Picos de aceleración bajos (impactos)	Osteoporosis	CMO CF, CL y TR	MT: CMO CF (+0.6%), SC CMO CL y TR C: CMO CF (-1.2%) y + CMO CF (1.6%). SC CMO CL y TR
Park et al. (113), 2015	MT: 10 C: 10	60-95 MT: 70.1 ± 5.4 C: 68.2 ± 5.7 > 10 a	MT: EA (40min, carrera) y ER (40min, 3x8-12rep, ejercicios ES y EI)	12 sem 3/sem	EA: 40-75% FCRes ER: 60-70% 1RM	Obesidad abdominal	MM CC	MT: SC MM CC C: SC MM CC
Rossi et al. (197), 2016	EA: 15 MT: 32 C: 18	65-70 MT: 68.3 ± 3.6 C: 68.4 ± 3.4 > 5 a	EA: 3 distancias (400, 800 y 1200) en el menor tiempo posible. MT (57min): EA (30min) + ER (27min, 3-4x8-15rep de prensa de pierna, ext pierna, curl de pierna, prensa de pecho, remo sentado, curl de brazos, ext tríceps, elevación lateral con mancuernas y ejercicios abdominales)	16 sem	ER: 65-80% 1RM	Obesidad	MLG CC	EA: ↑ MLG CC (+1.7%) MT: ↑ MLG CC (+2.6%) C: SC MLG CC y ↑ MLG CC

Tolomio et al. (200), 2010	MT: 58 C: 67	61-73 MT: 65.4 ± 3.5 C: 67.4 ± 3.8	MT: Cto (20-25min, marcha, estiramientos, pequeños saltos) y 30min de ER, resistencia, EE y movilidad articular (ejercicios con mancuernas, bandas, steps y pelotas)	11 mes 3/sem	-	Osteopenia/ osteoporosis	DMO CF y Cad T-score CF y Cad Ad-Vss, IPUH y T-score (osteosonografía) C-† T-score CF, SC DMO CF y Cad, T-score CF y Cad, ↓↓↓ Ad-Vss, ↓↓↓ IPUH y ↓↓↓ T-Score (osteosonografía)	MT: † T-Score CF, SC DMO CF y Cad, T-score Cad, Ad-Vss, IPUH y T-score (osteosonografía) C-† T-score CF, SC DMO CF y Cad, T-score CF y Cad, ↓↓↓ Ad-Vss, ↓↓↓ IPUH y ↓↓↓ T-Score (osteosonografía)
----------------------------	-----------------	--	--	-----------------	---	-----------------------------	--	---

¹ Los grupos de ejercicios están indicados donde sea aplicable. ² Los datos se presentan como medias, rangos o media ± desviación estándar. Ad-Vss = Amplitud dependiente de la velocidad del sonido; C = sujetos grupo control; Cad = cadera; CC = cuerpo completo; CF = cuello del fémur; CL = columna lumbar; CMO = contenido mineral ósea; Cto = calentamiento; DMO = densidad mineral ósea; EA = sujetos entrenamiento aeróbico; EE = sujetos entrenamiento equilibrio; EI = extremidades inferiores; ER = sujetos entrenamiento con sobrecargas; ES = extremidades superiores; ESP = entrenamiento en step; Ext = extensión; FCRes = frecuencia cardíaca de reserva; Fle = flexión; IPUH = índice del perfil ultrasónico del hueso; MLG = masa libre de grasa; MM = masa magra; MMus = masa muscular; MT = sujetos entrenamiento multi-componente; Rec = recuperación; RM = repetición máxima; SC = sin cambios intra-grupo; TR = trocánter; VO₂máx = consumo máximo de oxígeno; WBVT = sujetos entrenamiento vibratorio; † indica un aumento significativo ($p \leq 0.05$); ↓ indica un descenso significativo ($p \leq 0.05$); †† indica un aumento significativo ($p \leq 0.01$); ↓↓↓ indica un descenso significativo ($p \leq 0.001$); † indica diferencias significativas con MT ($p \leq 0.05$); †† indica diferencias significativas con MT ($p \leq 0.001$); - indica que no se informó / no hay datos.

Son varios los autores que han estudiado las respuestas musculares al MT. En este sentido, Marín-Cascales et al. (20) observaron que un programa de 12 semanas de duración y 3 días por semana de frecuencia, combinando 30-45 min de marcha y 4-6 x 10 de drop jumps, mejoró la MM total, mientras que no se produjeron cambios en el grupo control. Rossi et al. (197) concluyeron que la combinación de entrenamiento aeróbico y de fuerza durante 16 semanas, 3 días por semana, produjo un incremento significativo (+2.6%) en la MLG, mientras que el grupo control experimentó un descenso (-1.4%). Además, se observó que el grupo de intervención aumentó significativamente la MM total en comparación con las mujeres control. Sin embargo, algunos autores no han encontrado incrementos en la masa muscular con MT (71, 111, 113). En este sentido, Chien et al. (111) investigaron la eficacia de un método de entrenamiento combinado de 30 min de marcha y 10 min de ejercicio en step en mujeres postmenopáusicas con osteopenia. No encontraron cambios en la MLG total después de 24 semanas de entrenamiento, 3 días a la semana. Del mismo modo, el programa de MT propuesto por Park et al. (113) (carrera + entrenamiento con sobrecargas, 3 veces por semana) durante 12 semanas no produjo ningún cambio en la MM en mujeres postmenopáusicas.

Bravo et al. (198) analizaron el efecto del MT sobre la masa ósea en mujeres postmenopáusicas osteopénicas. El programa consistió en 25 min de actividad aeróbica (caminando o bailando) combinados con 15 min de ejercicios en step e isométricos. En este estudio, no se observaron cambios en la DMO medida en el cuello del fémur y en la columna lumbar después de un año de entrenamiento, mientras que hubo una disminución significativa del 1.3% en la DMO de la columna lumbar en el grupo control. Resultados similares encontraron Marín-Cascales et al. (71), quienes no mostraron diferencias significativas en la DMO total en mujeres postmenopáusicas después de 24 semanas de MT en el que se combinaban drop jumps con actividad aeróbica.

Sin embargo, se han encontrado efectos positivos del MT sobre la masa ósea en mujeres postmenopáusicas. En el estudio de Chien et al. (111) se produjo un aumento del 6.8% en la DMO del cuello femoral. Además, Tolomio et al. (200) mostraron que un programa específico de ejercicio multi-componente de 11

meses, 3 veces por semana, fue capaz de mejorar el T-score del cuello del fémur en un grupo de mujeres con baja masa ósea. Además, hubo diferencias significativas entre los grupos en el T-score del cuello del fémur, así como en todos los parámetros de calidad ósea evaluados por osteosonografía. El protocolo consistió en 20 min de marcha, estiramientos y salto, y 30 min de entrenamiento con sobrecargas, ejercicios de equilibrio y de movilidad. Multanen et al. (199) evaluaron el efecto del entrenamiento de alto impacto sobre el hueso en mujeres postmenopáusicas con osteoporosis. El grupo de ejercicio completó un programa de entrenamiento aeróbico con ejercicios de salto en step, y la ganancia fue del 0.6% en el CMO del cuello del fémur, mientras que el grupo de control perdió un 1.2%. Después de 12 meses, el CMO en el cuello del fémur fue significativamente mayor (1.6%) en el grupo de MT que en los participantes del control.

7.3.2.2. Mujeres mayores

La combinación de diversos tipos de ejercicio en un programa de entrenamiento ha sido aplicada por varios autores con el fin de analizar los efectos de este entrenamiento en la composición corporal. En esta revisión sistemática, 4 estudios (112, 151, 201, 202) con mujeres mayores midieron el efecto del MT sobre el tejido muscular y 7 estudios (112, 151, 201-205) aportaron resultados de masa ósea (Tabla 2).

Tabla 2. Características de los programas de entrenamiento multi-componente sobre la masa ósea y muscular en mujeres mayores.

Estudio, año	Número de sujetos ¹	Edad (a) y tiempo desde la menopausia ^{1,2}	Protocolo de entrenamiento	Duración y frecuencia semanal	Intensidad de entrenamiento	Patología	Medición	Resultados
Chuinnet al. (2003), 2009	MT: 8 C: 7	61-73 MT: 65.4 ± 3.5 C: 67.4 ± 3.8	MT: marcha en cinta ergométrica o cicloergómetro seguido de estiramientos estáticos (15min) y ER (45min, 3x8rep, abdominales, prensa de pierna, prensa de pecho, ext de la pierna, prensa de hombro, incorporaciones, remo sentado, ext tríceps y curl de bíceps), 90-120s Rec entre series.	6 mes 3/sem	ER: 80% 1RM	Sobrepeso	DMO CF y CL	MT: SC DMO CF y CL C: SC DMO CF y ↑ DMO CL
Englund et al. (2011), 2005	MT: 21 C: 19	66-87 MT: 72.8 ± 3.6 C: 73.2 ± 4.9	MT: ER (Δx8-12rep para cada grupo muscular), EA (marcha y trote), EE (estático y dinámico), ejercicios de coordinación, estiramientos y relajación.	12 mes 2/sem	-	Sobrepeso	DMO Brazos, CF, CL, TR, CC y WT CMO CC MM CC	MT: ↑ DMO Brazos, ↑↑ CL, ↑↑↑ TR, ↑↑↑ CC, ↑↑↑ CMO CC y ↓↓ MM CC. SC DMO CF y WT C: ↑ DMO Brazos, ↑ TR, ↑ CC, ↑↑ CMO CC, ↓↓ MM CC y ↑ DMO WT (8.4%). SC DMO CF, CL y WT

Korpelain en et al. (2004), 2006	MT: 84 C: 76	MT: 72.8 ± 3.6 C: 73.2 ± 4.9	MT (45min): salto y EE (marcha, flex de rodillas, elevación de piernas, saltos desde altura, baile, subir escaleras y ESP). 20min diarios de ejercicios en casa	30 mes 3/sem 6 mes por a	-	Osteopenia/ Osteoporosis	CMO y DMO CF CMO y DMO TR DMO Radio AUBA y VSS Calcáneo	MT: ↓↓ CMO TR (- 2.9%), ↓↓ Radio distal (-3.8%) y ↓ DMO Radio ultradistal (-3.1%), y ↓ AUBA Calcáneo y VSS C: ↓ DMO CF (- 1.1%) y ↓ TR (-1.6%), ↓↓ radio distal (- 3.1%) y ↓ radio ultradistal (-3.4%), ↓↓ CMO TR (-7.7%) y ↓ AUBA Calcáneo y VSS. SC CMO CF
Karinkant a et al. (2005), 2007	ER: 37 EE: 35 MT: 36 C: 36	70-78 ER: 72.7 ± 2.5 EE: 72.9 ± 2.3 MT: 72.9 ± 2.2 C: 72.0 ± 2.1	ER: incorporación desde la silla (usando chaleco lastrado), sentadillas, prensa de pierna, abducción Cad, ext Cad, elevación de talones y remo usando máquinas. EE: equilibrio estático y dinámico, entrenamiento de agilidad, saltos y otros impactos, ejercicios de cambio de dirección. MT: ER+EE	12 mes 3/sem	ER: del 50-60% al 75-80% IRM	Sobrepeso	DMO y CMO CF Radio y tibia	MT: SC DMO y CMO CF, radio y tibia C: SC DMO y CMO CF, radio y t IRO Tibial (2%)
Kwon et al. (112), 2008	MT: 20 C: 20	70-80 MT: 77.4 ± 2.6 C: 77.0 ± 3.3	MT: estiramientos (20min), EA de bajo impacto (30min), ER (3-10rep, peso libre) y EE	24 sem 3/sem	40-75% FCRes	-	DMO CF, CL, TR, CC y WT MMus CC, ES y EI	MT: ↑ DMO TR, ↑↑ CC, ↑↑ ES y ↑ MMus EI. SC DMO CF, CL, CC y WT C: ↑↑ MMus CC, ↑↑ ES, ↑ EI y ↑↑ DMO TR. SC Mmus EI, DMO CF, CL, TR, CC y WT

Marques et al. (151), 2011	MT: 30 C: 30	60-95 MT: 70.1 ± 5.4 C: 68.2 ± 5.7 > 10 a	MT: 10min estiramientos suave y Cto, 15min de ejercicios con sobrecarga (marcha en el sitio, ESP usando un banco de 15cm, y elevación de talones), 10min ejercicios aeróbicos y de fortalecimiento muscular (ES y EI), 10min EE y 10min entrenamiento agilidad	32 sem 2/sem	ESP: velocidad de 120-125 bpm	Sobrepeso	DMO CL, CF y TR MM y MLG CC	MT: †† DMO CF (-2.8%), SC DMO CL y TR, MM y MLG CC C: † DMO CF, SC DMO CF, CL y TR, MM y MLG CC
Park et al. (202), 2008	MT: 25 C: 25	65-70 MT: 68.3 ± 3.6 C: 68.4 ± 3.4 > 5 a	MT: estiramientos (9min), ER (10min), ejercicios con sobrecarga (23min), EE (18min) y entrenamiento de corrección postural.	48 sem 3/sem	Ejercicios con sobrecarga: 65-75% de la FCM	-	DMO CF, CL, TR y WT MM CC	MT: † DMO CF y † TR, SC DMO CL y TR, y MM CC C: † DMO CF y † DMO TR, SC DMO CF, CL, TR y WT, y MM CC

† Los grupos de ejercicios están indicados donde sea aplicable. † Los datos se presentan como medias, rangos o media ± desviación estándar.

AUBA = atenuación ultrasónica de banda ancha; C = sujetos grupo control; Cad = cadera; CC = cuerpo completo; CF = cuello del fémur; CL = columna lumbar; CMO = contenido mineral ósea; Cto = calentamiento; DMO = densidad mineral ósea; EA = sujetos entrenamiento aeróbico; EE = sujetos entrenamiento equilibrio; EI = extremidades inferiores; ER = sujetos entrenamiento con sobrecarga; ES = extremidades superiores; ESP = entrenamiento en step; Ext = extensión; FCM = frecuencia cardíaca máxima; FCRes = frecuencia cardíaca de reserva; IRO = índice de resistencia ósea; MLG = masa libre de grasa; MM = masa magra; MMus = masa muscular; MT = sujetos entrenamiento multi-componente; Rec = recuperación; RM = repetición máxima; SC = sin cambios intra-grupo; TR = trocánter; TW = triángulo de Ward; VSS = velocidad de las señales del sonido; † indica un aumento significativo ($p \leq 0.05$); †† indica un descenso significativo ($p \leq 0.05$); ††† indica un aumento significativo ($p \leq 0.01$); †††† indica un descenso significativo ($p \leq 0.01$); ††††† indica un aumento significativo ($p \leq 0.001$); †††††† indica un descenso significativo con MT ($p \leq 0.05$); ††††††† indica diferencias significativas con MT ($p \leq 0.01$); - indica que no se informó / no hay datos.

Solo una investigación encontró adaptaciones positivas en la masa muscular después de un programa de MT (112). Kwon et al. (112) observaron mejoras en la masa muscular total, de miembros superiores e inferiores después de 24 semanas de MT, en las que completaban un programa de estiramientos, entrenamiento aeróbico de bajo impacto, con sobrecargas y de equilibrio (112). En el grupo control, la masa muscular total y la de miembros superiores disminuyó significativamente, y hubo diferencias significativas entre los grupos en todas las variables de masa muscular. Sin embargo, Englung et al. (201) evaluaron los efectos de un año de MT basado en marcha y trote, entrenamiento resistido, de equilibrio, de coordinación, estiramientos y ejercicios de relajación. Hubo descensos significativos en la MM entre pre y post-test tanto en el grupo de entrenamiento como en el control. Marques et al. (151) analizaron el efecto de un programa de MT basado en estiramientos, actividades con sobrecarga, ejercicios de fuerza, equilibrio y entrenamiento de agilidad. Después de un periodo de 32 semanas (2 días por semana de frecuencia de entrenamiento), no se produjo ningún efecto en el grupo de ejercicio en la MM y en la MLG. Estos resultados están de acuerdo con los de Park et al. (202), quienes indicaron que no hubo adaptaciones en MM en el grupo experimental que realizó MT compuesto de estiramientos, entrenamiento de fuerza, ejercicios con sobrecarga, equilibrio y corrección postural, 3 veces por semana, durante 48 semanas. No se observó ningún cambio entre pre y post-test en ninguno de los parámetros en el grupo control de este estudio.

Algunos estudios mostraron que el MT previene la desmineralización ósea en mujeres mayores (112, 151, 201, 202, 204, 205). En el estudio de Englung et al. encontraron que el MT aumentó el CMO total y la DMO total, de los brazos, de la columna lumbar y del trocánter, que de manera similar también fue incrementada en el grupo control. En cambio, hubo un incremento significativo en la DMO del triángulo de Ward (8.4%, $p < 0.01$) en comparación con las participantes del control. Karinkanta et al. (205) revelaron que un año de MT, 3 días a la semana, basado en entrenamiento con sobrecargas (incorporación desde la silla, sentadilla, prensa de pierna,...) y de equilibrio (estático y dinámico, agilidad, saltos,...), no fue suficiente para aumentar la masa ósea en mujeres mayores. Sin embargo, el índice de resistencia ósea de la tibia se debilitó un 2% menos en el grupo de

entrenamiento que en el grupo control. Del mismo modo, Know et al. (112) observaron un incremento en la DMO del trocánter y Park et al. (202) confirmaron un aumento en la DMO del cuello del fémur y del trocánter en aquellas mujeres que recibieron entrenamiento. Además, Marques et al. (151) mostraron diferencias significativas entre los grupos en la DMO del cuello femoral, donde el grupo de MT aumentó la DMO de esta región (+2.8%), mientras que no hubo efecto en CG. Korpelainen et al. (204) realizaron un estudio con mujeres osteopénicas y osteoporóticas en el que el MT tenía lugar 6 meses por año (ejercicios de salto y equilibrio, 3 veces por semana) durante 30 meses y no mostraron resultados positivos en el grupo de entrenamiento en la DMO en el cuello del fémur o trocánter. Las participantes del grupo experimental y control presentaron una disminución del CMO en el trocánter, pero la pérdida fue mayor en el grupo control. El programa de entrenamiento no produjo un aumento en la masa ósea del calcáneo y hubo un descenso similar en el radio distal y ultradistal en ambos grupos. De la misma manera, otro estudio incluido en la presente revisión mantuvo la masa ósea después de un programa de MT (203). El protocolo de entrenamiento de este estudio consistió en actividad aeróbica, estiramientos y entrenamiento con sobrecargas durante 6 meses, 3 días por semana, en mujeres mayores. Sin embargo, hubo una disminución significativa en la DMO de la columna lumbar en el grupo control, así como una diferencia estadísticamente significativa entre grupos.

7.4. DISCUSIÓN

7.4.1. Resumen de los resultados

El principal objetivo de la presente revisión sistemática fue determinar la efectividad de los programas de MT sobre la masa muscular y ósea en diferentes regiones corporales en mujeres postmenopáusicas y mayores. Los hallazgos encontrados son contradictorios, ya que algunos estudios indicaron que la combinación de diferentes intervenciones de entrenamiento produce incrementos en la masa muscular y ósea, mientras que otras investigaciones informaron que el MT no provocó un aumento significativamente mayor en estas poblaciones.

En relación a la masa muscular, MLG y MM, 5 estudios (70, 71, 111, 113, 197) midieron el efecto de las intervenciones de MT en dichas variables en mujeres postmenopáusicas. Entre ellos, 2 artículos (70, 197) encontraron incrementos significativos en los grupos experimentales después de programas de ejercicio multi-componente. No obstante, 3 estudios (71, 111, 113) no obtuvieron ninguna adaptación en los grupos de MT. Cuando establecemos una comparación entre los estudios incluidos que encuentran cambios positivos, los métodos de MT que combinan ejercicios aeróbicos de impacto y entrenamiento de fuerza parecen ser una herramienta eficiente en la mejora de la masa muscular en mujeres postmenopáusicas. Esto es debido probablemente a que el entrenamiento aeróbico aumenta la síntesis de proteínas (206) y el entrenamiento con sobrecargas (usando cargas elevadas) es esencial para producir hipertrofia en las fibras musculares (207). Con respecto a las mujeres mayores, 4 estudios (112, 151, 201, 202) presentaron la masa muscular como variable de resultado. Entre estos estudios, solo uno (112) encontró incrementos pre-post en la masa muscular total, de miembros superiores e inferiores. Los efectos del MT sobre la masa muscular en mujeres mayores todavía no están claros. La ausencia de mejora en la masa muscular puede estar relacionada con las grandes diferencias metodológicas en MT, sin uniformidad entre los programas. Por lo tanto, serían interesantes ensayos controlados aleatorios adicionales basados en programas específicos que tengan como objetivo lograr mejoras en la masa muscular en postmenopáusicas y mujeres mayores.

En cuanto a la masa ósea en mujeres postmenopáusicas, 3 estudios mostraron mejoras en la DMO del cuello del fémur (111, 200) y en el CMO (199). Una investigación (198) concluyó que el MT mantuvo la DMO del cuello femoral y de la columna lumbar en comparación con las participantes del grupo control, quienes experimentaron una pérdida ósea en la columna. Sin embargo, no ocurrieron cambios en la DMO en 2 artículos (70, 71). La falta de incrementos significativos en estos estudios se podría explicar por el hecho de que se midió la DMO total mientras que se aplicó un programa de ejercicio enfocado a las extremidades inferiores. Como la respuesta osteogénica está limitada a las regiones sobre las que se ejercen las cargas (110), el entrenamiento se debería enfocar para inducir el estrés en áreas específicas, como la columna lumbar, el

cuello del fémur y el trocánter, que son las zonas más predispuestas de fractura en mujeres.

En esta revisión, todos los estudios (112, 151, 201-205) con mujeres mayores analizaron el efecto del MT sobre el tejido óseo. Hubo 5 artículos (112, 151, 201, 202, 205) que indicaron ganancias en la DMO. Por el contrario, un estudio (203) no encontró ningún efecto significativo en el hueso, pero el grupo control tuvo un descenso significativo en la DMO de la columna lumbar. Otro estudio (204) no aportó incrementos significativos en la DMO del cuello femoral y del trocánter en mujeres mayores, pero el grupo control mostró una disminución en estas regiones. Además, se produjeron descensos en el calcáneo, radio distal y ultradistal en ambos grupos. Por tanto, este es el único estudio de esta revisión sistemática que no encuentra adaptaciones tras MT sobre la masa ósea en algunas zonas en mujeres mayores después de 30 meses de intervención. En este estudio, las mujeres del grupo de ejercicio asistieron a las sesiones de entrenamiento por un periodo de 6 meses por año. Durante los 6 meses restantes, las participantes entrenaron en casa solo 20 min. Esta rutina de entrenamiento podría justificar la ausencia de resultados positivos en la masa ósea.

Aunque existen diferentes protocolos de MT con los que obtener cambios en la masa muscular y ósea, la marcha es uno de los tipos más frecuentes de actividad aeróbica que se aplica en programas de MT. Otros métodos de entrenamiento basados en ejercicios isométricos, de fuerza, estiramientos o movimientos de coordinación y relajación han sido incluidos en los diferentes protocolos aplicados por los estudios de esta revisión. A pesar de que aún se debe aclarar cuál es el mejor protocolo de entrenamiento para mejorar los tejidos musculares y óseos, los programas de ejercicio que combinan fuerza, ejercicios con sobrecarga, entrenamiento aeróbico y de alto impacto (correr, saltar y ejercicios en step) parecen ser los más útiles para aumentar o prevenir la pérdida de masa muscular y esquelética durante el envejecimiento en mujeres. Señalar que las mejoras en los parámetros corporales, después de programas de MT que incluyeron entrenamiento con sobrecargas, utilizaron intensidades altas (70-80% de 1RM) con 2-3 series por ejercicio y sesión. La mayoría de las intervenciones de MT que incorporaron el componente aeróbico en sus programas, mostraron

efectos positivos en la masa muscular y ósea, con un volumen aproximadamente de 30 min. La frecuencia de entrenamiento de la mayoría de los protocolos de ejercicio multi-componente fue de 3 veces por semana.

Si bien se pueden conseguir efectos positivos sobre la masa ósea en algunas regiones después de 6 meses, el éxito de las intervenciones de MT es mayor cuando se extiende a un año. Sin embargo, debido a la gran heterogeneidad en los métodos de MT, la intensidad y duración, la variedad en relación a la edad y características de las participantes (valores basales de músculo y masa ósea) o los sitios anatómicos examinados, no todos los programas de MT han mostrado beneficios para músculo y hueso. Puesto que todavía existen resultados contradictorios en la literatura con respecto a los programas de ejercicio multi-componente, se necesitan ensayos adicionales para establecer el MT más eficaz en mujeres postmenopáusicas y de edad avanzada.

7.4.2. Limitaciones

Las principales limitaciones de esta revisión sistemática fueron: 1) el escaso número de estudios incluidos (8 en mujeres postmenopáusicas y 7 con mujeres mayores) debido a las pocas publicaciones existentes con respecto a la intervención de MT en mujeres en las que la variable resultado sea la masa muscular u ósea; y 2) el hecho de que algunos estudios incluyeron participantes con patologías (sobrepeso, obesidad, osteopenia u osteoporosis) que pudieron haber influido en los resultados de masa muscular u ósea.

7.5. CONCLUSIONES

Los estudios que examinaron los efectos combinando métodos de entrenamiento en mujeres postmenopáusicas y mayores obtuvieron resultados dispares, debido quizá a la edad de los sujetos, a las regiones evaluadas y las características diferentes de los métodos de entrenamiento entre los estudios. A pesar de que no está claro si los protocolos de ejercicio multi-componente son capaces de mejorar la masa muscular y ósea en mujeres postmenopáusicas y mayores, los programas de entrenamiento con sobrecargas (utilizando cargas de

alta intensidad) y actividades aeróbicas de impacto se pueden considerar como la estrategia más eficaz para mejorar el músculo y el hueso. Se necesitan estudios adicionales con protocolos específicos de MT en este área de investigación, los cuales proporcionen cargas de entrenamiento enfocadas al aumento de la masa muscular y ósea en diferentes regiones anatómicas.

VIII – ESTUDIO N° 4

VIII. ESTUDIO N° 4:

EFFECTS OF 12 WEEKS OF WHOLE BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

EFFECTOS DE 12 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS

8.1. INTRODUCCIÓN

La proporción de personas mayores de 60 años ha aumentado en los últimos años, principalmente en los países desarrollados. El proceso de envejecimiento se asocia con una disminución de la capacidad funcional y de la pérdida de independencia, pudiendo afectar negativamente a la vida diaria de las personas mayores (208). Además, el envejecimiento de la población representa un serio problema público de salud que supone una repercusión a nivel económico (209). Durante la etapa de envejecimiento, la menopausia marca un periodo de cambios en las mujeres en varios sistemas del cuerpo. Como consecuencia de la reducción natural de los niveles de estrógeno, se producen alteraciones emocionales (depresión, ansiedad) y fisiológicas que pueden influir en la calidad de vida (45, 210).

El déficit de fuerza del tren inferior se considera el factor más relevante en los adultos mayores, siendo las mujeres postmenopáusicas las más afectadas (62). Por ejemplo, la fuerza muscular disminuye en un 15% por década tras los 50 años de edad y un 30% después de los 70. La pérdida de fuerza es uno de los principales síntomas de la sarcopenia (17, 211, 212) que presenta una mayor incidencia en mujeres mayores. Otra patología asociada a la edad y al sexo femenino es la osteoporosis, y uno de sus síntomas es el descenso de la masa ósea, lo que intensifica el riesgo de fracturas (27). La deficiencia de estrógenos que se

experimenta en la menopausia induce una inestabilidad entre la resorción y la formación ósea, de tal manera que la cantidad de hueso eliminado durante el ciclo de remodelación es ligeramente mayor de la que se renueva (213). Las mujeres presentan menos densidad mineral ósea (DMO) que los hombres en todas las franjas de edad y soportan una pérdida acelerada durante los 5 años posteriores a la menopausia como resultado de los cambios hormonales que acontecen durante esta etapa (69, 214).

En este sentido, el peso corporal y la actividad física guardan relación con la masa muscular, pero es cierto que la fuerza que ejerce el músculo genera una mayor carga en el hueso que las fuerzas gravitatorias asociadas con el peso. La formación y el desarrollo del tejido esquelético es un proceso continuo y dinámico (que implica la participación de factores hormonales, nutricionales, conductuales y ambientales). La pieza central de la regulación ósea es el lazo de retroalimentación entre la deformación y la resistencia ósea. Durante el crecimiento, este sistema homeostático está continuamente forzado a adaptarse a los desafíos externos. Los antecedentes teóricos de esta perspectiva se basan en la teoría mecanostato que describe que los huesos adaptan sus propiedades mecánicas para mantener la tensión causada por las cargas fisiológicas cerca de su punto de referencia. Debido a que las cargas fisiológicas son causadas por contracciones musculares, debe haber una estrecha relación entre la fuerza del hueso y la fuerza o el tamaño del músculo (184).

Se ha venido actuando contra la reducción ósea a través de múltiples estrategias, sin embargo, como refleja Schoenau et al. (184), la actividad física (que produce adaptaciones musculares) es la herramienta más efectiva para prevenir los efectos de la edad (149). Con su práctica mejora tanto la condición física como la calidad de vida (215) sin las adversidades de los medicamentos y su falta de efectividad. El trabajo de fuerza en adultos mayores es una de las intervenciones más eficaces para la mejora de la masa ósea, ya que la carga mecánica que produce sobre el esqueleto coadyuva en el proceso de osteogénesis (188-190, 216-219).

Así, entre los diferentes métodos para la mejora de la fuerza, el entrenamiento sobre plataformas vibratorias (el término en inglés Whole-body

vibration, WBV) produce incrementos en la DMO (84, 89-91). Se ha demostrado que la vibración es un estímulo apropiado para generar adaptaciones óseas. Tanaka et al. (220) y Kaspar et al. (221) estudiaron su efecto sobre el hueso y concluyeron que los estímulos vibratorios favorecen la proliferación de osteoblastos, produciendo mejoras en la DMO. Por otro lado, entre los principales mecanismos que explican el efecto de los programas de entrenamiento WBV, se encuentra la regulación neural de la contracción muscular y los posibles cambios hormonales y bioquímicos que se producen. El entrenamiento WBV puede causar la estimulación en las terminaciones primarias de los husos musculares (cuyo estímulo aferente aumenta la descarga de las α -motoneuronas), así como la activación de los órganos tendinosos de Golgi (GTO) que son sensibles a la fuerza desarrollada y cuya activación desencadena una inhibición de la acción muscular (129). Además, los datos ofrecen mejoras en la fuerza de los extensores de rodilla (84, 222). No obstante, ante la falta de acuerdo en la literatura por definir el programa que determine la dosis de vibración óptima, así como su mayor efectividad cuando se compara con protocolos de entrenamiento tradicionales, surge la necesidad de seguir investigando sobre este tipo de entrenamiento y los efectos que genera en los diferentes tipos de población.

A pesar del hecho de que el entrenamiento vibratorio puede ser una estrategia apropiada para la mejora de la DMO con un tiempo de trabajo reducido, en los últimos años, los programas de entrenamiento que combinan diversas modalidades de ejercicio [es decir, entrenamiento multi-componente (el término en inglés: multi-component training, MT) se muestran como un sistema de entrenamiento eficaz para la prevención de la pérdida de DMO (107, 151, 200, 202, 204, 205, 223), disminución de grasa corporal (151) y mejora de los niveles de fuerza (224). En estudios previos que abordan el MT, los autores sugieren que las actividades de alto impacto (como saltos, subir escaleras y trotar) combinadas con entrenamiento de fuerza dinámica máxima, equilibrio, agilidad o entrenamiento aeróbico son una manera efectiva de mantener o aumentar la fuerza muscular y de prevenir la fragilidad ósea en mujeres postmenopáusicas (111, 210).

Los efectos del entrenamiento vibratorio y el multi-componente sobre la fuerza y la composición corporal han sido estudiados por separado entre los

diferentes grupos de edad, incluyendo mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, no se han encontrado estudios que comparen los efectos de la vibración vs. entrenamiento combinado en estas variables. Por tanto, en vista de las grandes diferencias metodológicas en relación al sistema de entrenamiento ideal como terapia natural para prevenir la pérdida de fuerza y DMO, los objetivos de este estudio fueron: 1) analizar los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento (plataforma vibratoria y entrenamiento multi-componente); y 2) determinar qué tipo de entrenamiento genera mayores adaptaciones sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

8.2. MÉTODO

8.2.1. Diseño experimental

Se realizó un diseño cuasi-experimental de 12 semanas de duración, intra e inter-sujeto, con pre y post-test, y con grupo control. La distribución de la muestra fue estratificada en función de la DMO y las participantes fueron asignadas aleatoriamente en uno de los 3 grupos: WBVG (grupo de entrenamiento WBV) (n = 25), MTG (grupo de MT) (n = 25) y CG (grupo control) (n = 15). Se utilizó como método para la asignación al azar el Software Research Randomizer (Versión 4.0, Lancaster, Pennsylvania).

En primer lugar, se realizaron las mediciones de composición corporal. Posteriormente, se valoró la fuerza isocinética de los extensores de la articulación de la rodilla. Por último, se llevaron a cabo las pruebas para el tobillo. Todos los test fueron realizados por el mismo investigador. Todas las participantes fueron instruidas para mantener sus rutinas diarias normales y de ingesta alimentaria.

8.2.2. Participantes

Se reclutaron un total de 65 mujeres postmenopáusicas (considerando postmenopausia el periodo que comprende los años posteriores después del año del cese de la menstruación) a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los criterios de exclusión fueron: padecer un nivel elevado de

osteoporosis ($DMO < 70\text{g/cm}^2$), encontrarse en tratamiento por alguna patología que pudiera afectar a la estructura ósea y al rendimiento neuromuscular, haber sido intervenida para la implantación de prótesis ortopédicas que afectasen a las extremidades inferiores y a la columna vertebral, tener hernias discales, sufrir enfermedades oculares que afectasen a la retina, sufrir enfermedades cardiovasculares severas, sufrir de epilepsia, llevar marcapasos o material de osteosíntesis y/o realizar algún tipo de actividad física de forma habitual. Quedaron excluidas las participantes que faltaron a más del 10% de las sesiones de entrenamiento. Antes del comienzo del estudio, todas las participantes firmaron un consentimiento informado sobre los entrenamientos y las evaluaciones que se desarrollarían. El diseño fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Local.

8.2.3. Composición corporal

Inicialmente se obtuvo la talla y el peso de las participantes. Posteriormente, se colocaron en tendido supino sobre la camilla y se procedió a la evaluación de la composición corporal por absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) (Densitómetro XR-46, Norland Corp., Fort Atkinson, USA). El escáner DXA fue calibrado usando una pieza de calibración de la columna lumbar. Las participantes debían mantener la posición estática durante 8 min (tiempo de duración del test). Se calculó la masa ósea, grasa y magra (masa corporal - [masa grasa + masa ósea]) a partir del análisis total y regional de la exploración de todo el cuerpo. El área de la densidad mineral ósea ($DMO = \text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) se calculó mediante la fórmula $DMO = \text{Contenido mineral óseo (CMO)} \times \text{área}^{-1}$. Además, se obtuvo el índice de masa corporal ($IMC = \text{peso (kg)} / \text{altura (m)}^2$).

8.2.4. Mediciones de fuerza isocinética

Para la medición de la fuerza isocinética se utilizó un Dinamómetro Isocinético Biodex System 3 (Biodex Medical System, Shirley, New York, USA). Se evaluó la fuerza isocinética concéntrica en las articulaciones de rodilla y tobillo derecho. Previo a la evaluación de las distintas valoraciones se realizó la

calibración del aparato siguiendo las recomendaciones del fabricante, y el eje de rotación del brazo de palanca del dinamómetro se alineó con el eje anatómico de la rodilla y del tobillo.

Antes del inicio de los test, se realizó un calentamiento específico (8 min de activación vegetativa sobre un cicloergómetro a intensidad moderada, estiramientos, y movilidad articular de las extremidades inferiores). Previo al comienzo de la medición, se realizó una familiarización donde los sujetos efectuaron una serie de ensayos para cerciorarse del movimiento que se les requería. Se les pidió a las participantes que generaran sus máximos valores de fuerza tan rápido y tan fuerte como fuera posible.

Para la medición de la fuerza isocinética en extensión de rodilla el rango articular fue de 90° , donde 0° correspondía a extensión completa. Las participantes se situaron sobre el asiento y se les sujetó con cintas el tronco y la parte distal del muslo, para así impedir el movimiento del cuerpo. La prueba consistía en 5 repeticiones máximas de flexión y extensión de rodilla a velocidades de $60^\circ \cdot s^{-1}$ y de $270^\circ \cdot s^{-1}$.

Además, se valoró la fuerza isocinética en eversión e inversión de tobillo. Para esta prueba, las participantes permanecían sentadas con un ángulo de 90° para las articulaciones de cadera y rodilla. El muslo y el pie quedaban sujetos y apoyados de forma que el tobillo quedase en un ángulo de 90° con respecto a la pierna (tibia perpendicular al suelo). Una vez marcados los límites de la articulación, el pie se colocaba en posición neutra y realizaban un movimiento de inversión seguido del de eversión. El test constaba de 5 repeticiones a velocidades de $60^\circ \cdot s^{-1}$ y de $120^\circ \cdot s^{-1}$.

Se dejó entre cada velocidad un tiempo de recuperación de 2 min. A lo largo de las pruebas, las participantes recibieron estímulo verbal por parte del instructor. De estas pruebas se obtuvo el torque pico concéntrico en extensión de rodilla y en eversión e inversión de la musculatura de la articulación del tobillo. Los valores de fuerza isocinética se normalizaron con respecto al peso corporal ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$).

8.2.5. Entrenamiento

El tiempo total de la fase de intervención fue de 12 semanas. Los grupos experimentales se expusieron a un estímulo de entrenamiento con una frecuencia de 3 sesiones por semana y un volumen total de 36 sesiones. El tiempo de recuperación entre sesión fue mínimo de 24 h y máximo de 72 h. Antes del inicio de las sesiones de entrenamiento, las participantes efectuaban un calentamiento específico que consistió en 8 min de activación vegetativa sobre un cicloergómetro a una intensidad moderada, seguido de estiramientos, y movilidad articular del tren inferior.

8.2.5.1. Entrenamiento vibratorio (WBV)

El WBVG realizó el entrenamiento sobre una plataforma de vibración sinusoidal que generaba oscilaciones verticales (Power Plate Next Generation; Power Plate North America, Northbrook, IL, USA). Durante las sesiones, las participantes se situaron sobre la plataforma vibratoria, en bipedestación, debiendo mantener una posición estática de semi-sentadilla (con una angulación de 120° tanto para la articulación de la cadera como para la de la rodilla). Los brazos permanecían cruzados uno sobre el otro y paralelos al suelo con una flexión de hombro de 90°, sin hacer uso durante el trabajo vibratorio de las agarraderas de la plataforma. Las participantes ejecutaban flexión plantar y dorsal de tobillo a un ritmo de trabajo de 100 batidos por min cada 6 tiempos: 1 concéntrico - 0 isométrico - 5 excéntrico (225). Los parámetros de amplitud (4 mm), tiempo de trabajo (60 s) y de recuperación entre series (60 s) se mantuvieron constantes durante las 12 semanas de entrenamiento. La carga de entrenamiento fue de 35 Hz (103). Las 2 primeras semanas se consideraron como fase de familiarización, en las que el tiempo de trabajo fue de 45 s. El volumen de trabajo fue incrementando por el aumento del número de series por sesión (iniciándose el entrenamiento con 5 series sobre la plataforma hasta finalizar con un total de 8 series).

8.2.5.2. Entrenamiento multi-componente (MT)

Tras la realización del calentamiento y previamente a la actividad aeróbica, los sujetos del MTG llevaron a cabo un programa progresivo de drop jumps. Durante las 4 primeras semanas, se realizaron pequeños saltos reactivos (sin flexión de rodilla y de cadera). Después, las participantes realizaron drop jumps, cuya altura iba aumentando progresivamente, comenzando por 5 cm y acabando con 10 cm al final del programa (incrementos de 5 cm cada mes). Las series aumentaron de 4 x 10 drop jumps a 6 x 10. Los drop jumps fueron los mismos cada mes, pero la progresión de la carga (impuesta por la altura) fue ondulatoria (la carga se incrementaba durante 3 semanas y disminuía durante una semana).

El ejercicio aeróbico tenía lugar tras la realización de los drop jumps (226). La carga de trabajo fue progresiva a lo largo de las 12 semanas. Los sujetos andaban a una intensidad de 50-60% de la Frecuencia Cardíaca de Reserva (Frecuencia Cardíaca Máxima - Frecuencia Cardíaca de Reposo) y un volumen entre 30-45 min. La intensidad de trabajo se estableció por medio de la velocidad de la marcha, tras la ejecución de un test inicial con pulsómetro previo al comienzo del periodo de entrenamiento.

8.2.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS, versión 15.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE.UU.) en el entorno de Windows. Se realizó un análisis descriptivo 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 y la prueba de rachas para verificar que la muestra era aleatoria, es decir, si las sucesivas observaciones eran independientes. Con el fin de determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas para toda la muestra (Modelo Lineal General). Si existieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para el factor tiempo ANOVA, se realizaron medidas repetidas para cada grupo con el

fin de diferenciar entre el pre y el post-test. Si aparecieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para el tiempo \times grupo, se realizó un ANOVA y el test post hoc de Tukey para ver si había diferencias significativas entre los grupos. Se determinó la potencia ($1-\beta$) para todas las variables y se calcularon los tamaños del efecto utilizando Eta Cuadrado (d).

8.3. RESULTADOS

Un total de 38 mujeres completaron los programas de entrenamiento y asistieron a las últimas evaluaciones. La distribución de la muestra fue homogénea en cuanto al número de participantes. Hubo una muerte experimental de 27 sujetos a causa de motivos personales o de salud (Figura 1). Ninguno de los abandonos se produjo como resultado de lesiones o respuestas adversas a los programas de entrenamiento. Las características de los sujetos antes del comienzo de los entrenamientos se presentan en la Tabla 1.

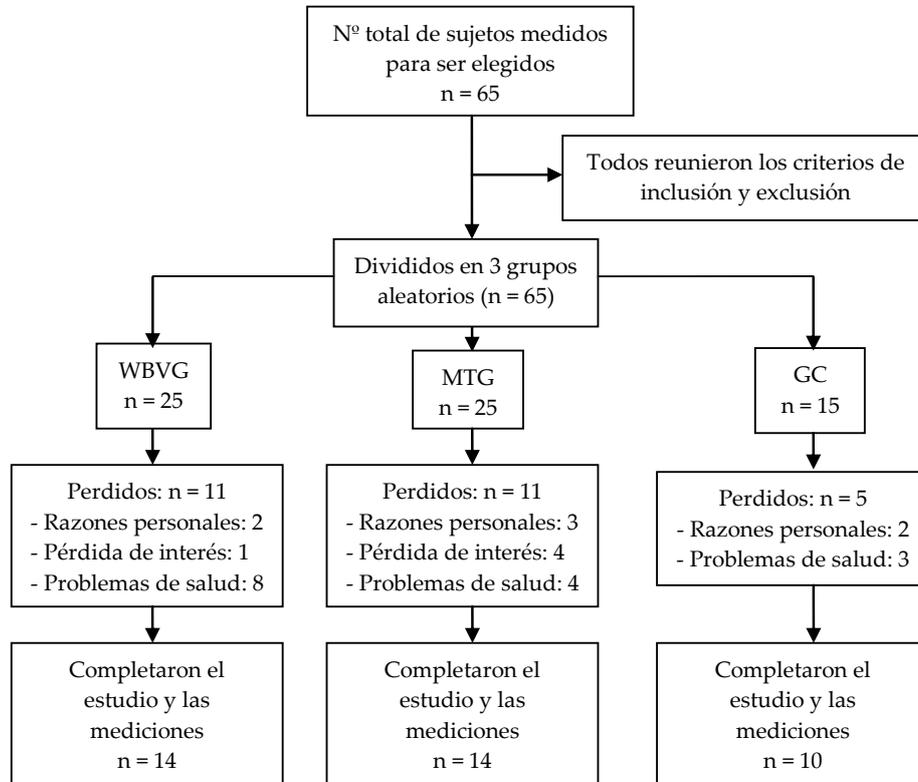


Figura 1. Diagrama de flujo; CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

Tabla 1. Datos descriptivos de los participantes (media \pm SD).

Variable	WBVG (n = 14)	MTG (n = 14)	CG (n = 10)	Total (n = 38)
Edad (años)	60.1 (5.8)	57.7 (7.1)	62.4 (5.1)	59.8 (6.2)
Altura (cm)	156.7 (5.2)	155.0 (4.4)	157.4 (4.2)	156.3 (4.7)
Peso (Kg)	78.1 (13.5)	70.5 (10.1)	72.7 (10.1)	73.9 (11.7)
IMC (kg·m ⁻²)	31.9 (5.6)	29.3 (3.9)	29.4 (4.7)	30.3 (4.9)

CG = grupo control; IMC = índice de masa corporal; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

8.3.1. Composición corporal

No hubo cambios en la DMO total en ninguno de los grupos (Tabla 2). Se encontraron diferencias significativas entre pre y post-test en la masa grasa (MG) total (WBVG: $p = 0.001$; $d = 0.58$; $1-\beta = 0.98$; y MTG: $p = 0.026$; $d = 0.04$; $1-\beta = 0.11$) y en la masa magra (MM) total (WBVG: $p = 0.001$; $d = 0.60$; $1-\beta = 0.98$; y MTG: $p = 0.013$; $d = 0.34$; $1-\beta = 0.67$) en los dos grupos experimentales. Se observó un descenso significativo en % de grasa corporal solo en WBVG ($p = 0.001$; $d = 0.78$; $1-\beta = 1.0$). Se encontraron diferencias significativas entre WBVG y CG en MG total ($p = 0.001$) y en MM ($p = 0.016$).

Tabla 2. Cambios en los parámetros de composición corporal (media \pm SD).

Variable	WBVG (n = 14)			MTG (n = 14)			CG (n = 10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Grasa Corporal (%)	45.8 (6.3)	43.6 (6.3)	-2.2 ^{***}	41.8 (4.4)	41.1 (4.1)	-0.7	40.4 (4.7)	42.1 (4.6)	1.7
Masa Grasa (Kg)	38.2 (1.2)	36.6 (1.2)	-1.6 ^{***}	30.9 (6.7)	30.5 (6.2)	-0.4 [*]	30.5 (7.6)	31.7 (7.4)	1.2 [*]
Masa Magra (Kg)	41.1 (3.3)	42.8 (3.4)	1.7 ^{***}	39.8 (5.1)	40.6 (5.5)	1.1 [*]	42.2 (4.4)	42.0 (5.7)	-0.1 [*]
DMO _{osaa} (g cm ⁻²)	0.938 (0.095)	0.939 (0.113)	0.001	0.918 (0.103)	0.927 (0.090)	0.009	0.886 (0.091)	0.892 (0.097)	0.006

CG = grupo control; DMO = densidad mineral ósea; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; Δ = cambio.

^{*}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.05$).

^{**}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.01$).

^{***}Diferencia estadísticamente significativa con WBVG ($p \leq 0.05$).

8.3.2. Fuerza isocinética

8.3.2.1. Rodilla

La fuerza isocinética concéntrica de extensión de rodilla se presenta en la Tabla 3. Se observó un aumento significativo en los grupos de entrenamiento en extensión a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.021$; $d = 0.25$; $1-\beta = 0.49$; y MTG: $p = 0.011$; $d = 0.34$; $1-\beta = 0.67$) y a $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.002$; $d = 0.46$; $1-\beta = 0.87$; y MTG: $p = 0.001$; $d = 0.62$; $1-\beta = 0.99$). Respecto al torque pico en relación al peso corporal, se encontró un aumento significativo en extensión a $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ en los grupos experimentales (WBVG: $p = 0.006$; $d = 0.41$; $1-\beta = 0.80$; y MTG: $p = 0.001$; $d = 0.64$; $1-\beta = 0.99$).

Tabla 3. Cambios en el torque máximo isocinético (N · m) de los extensores de rodilla a velocidades de 60 °s⁻¹ y 270 °s⁻¹, y para la eversion e inversion de tobillo a velocidades de 60 °s⁻¹ y 120 °s⁻¹ (media ± SD).

Variable	WBVG (n = 14)			MTG (n = 14)			CG (n = 10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Extensión rodilla 60 °s ⁻¹	97.4 (13.2)	105.3 (16.4)	7.9 (14.0) [*]	90.4 (20.4)	99.2 (26.2)	8.8 (12.7) [*]	92.7 (17.8)	93.4 (16.1)	0.7 (7.7)
Extensión rodilla 270 °s ⁻¹	50.9 (8.8)	55.9 (7.2)	4.9 (5.5) ^{**}	45.6 (12.9)	52.9 (13.1)	7.3 (5.9) ^{**}	47.2 (7.1)	48.8 (6.9)	1.9 (5.6)
Eversion de tobillo 60 °s ⁻¹	17.3 (4.9)	22.1 (6.5)	4.8 (3.8) ^{**}	15.7 (4.3)	19.0 (6.0)	3.4 (4.6) ^{**}	15.8 (4.6)	16.9 (2.6)	1.2 (3.0)
Eversion de tobillo 120 °s ⁻¹	14.5 (4.3)	16.5 (4.6)	2.0 (2.5) [*]	13.1 (2.3)	14.4 (3.7)	1.3 (2.4)	12.0 (3.5)	12.9 (2.9)	0.9 (3.5)
Inversion de tobillo 60 °s ⁻¹	16.6 (5.0)	19.0 (5.3)	2.4 (2.9) [*]	14.1 (5.3)	16.0 (5.1)	1.9 (3.9) [*]	15.1 (3.1)	15.7 (2.6)	0.6 (3.1)
Inversion de tobillo 120 °s ⁻¹	12.7 (3.7)	13.8 (4.0)	1.1 (2.3)	12.6 (4.3)	13.3 (3.7)	0.7 (2.9)	12.0 (2.9)	13.3 (3.4)	1.3 (3.1)

CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; Δ = cambio.

^{*}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y post-test ($p \leq 0.05$).

^{**}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y post-test ($p \leq 0.01$).

La Figura 2 presenta las ganancias relativas al torque pico entre el pre y post-test para cada grupo.

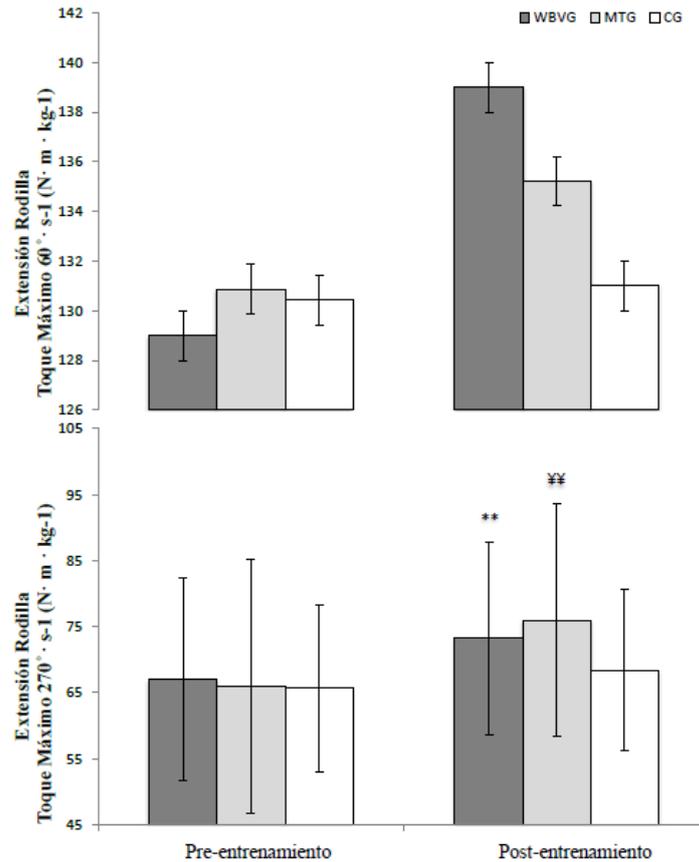


Figura 2. Cambios en el torque máximo isocinético ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$) en extensión de rodilla a velocidades de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ y $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ para cada grupo; CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; **Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test en WBVG ($p \leq 0.01$); ¥ Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test en MTG ($p \leq 0.01$).

8.3.2.2. Tobillo

La Tabla 3 presenta las ganancias del torque pico en eversión-inversión de tobillo entre el pre y post-test. En los grupos de entrenamiento, se observó un

aumento significativo en eversión a $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ (WBVG: $p = 0.001$; $d = 0.64$; $1-\beta = 0.99$; y MTG: $p = 0.003$; $d = 0.36$; $1-\beta = 0.71$), inversión a $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ (WBVG: $p = 0.015$; $d = 0.42$; $1-\beta = 0.78$; y MTG: $p = 0.044$; $d = 0.20$; $1-\beta = 0.39$) y eversión a $120^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ solo en WBVG ($p = 0.012$; $d = 0.42$; $1-\beta = 0.76$). En cuanto al torque pico relativo, se encontraron diferencias entre pre y post-test en los grupos de entrenamiento durante la contracción concéntrica en eversión a $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ (WBVG: $p = 0.001$; $d = 0.18$; $1-\beta = 0.33$; y MTG: $p = 0.003$; $d = 0.50$; $1-\beta = 0.12$), inversión a $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ solo en WBVG ($p = 0.021$; $d = 0.45$; $1-\beta = 0.82$) y eversión a $120^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ solo en WBVG ($p = 0.027$; $d = 0.38$; $1-\beta = 0.70$). La Figura 3 presenta las ganancias relativas al torque pico entre pre y post-test para cada grupo.

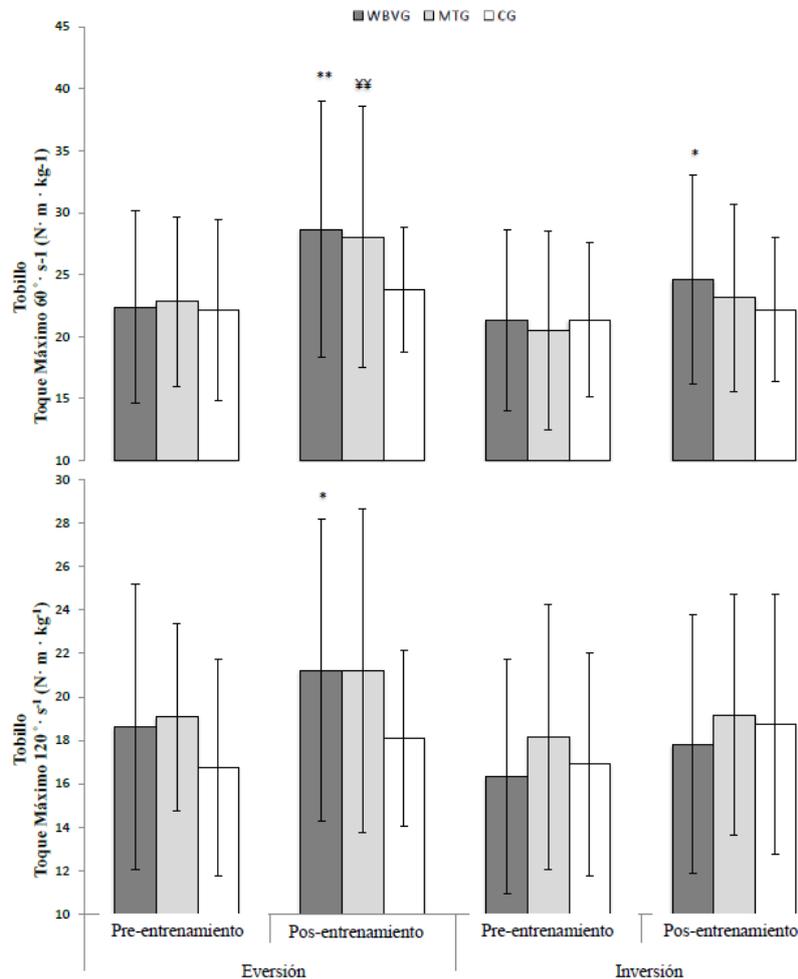


Figura 3. Cambios en el torque máximo isocinético ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$) en eversión e inversión de tobillo a velocidades de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ y $120^{\circ} \cdot s^{-1}$ para cada grupo; CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; *Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test en WBVG ($p \leq 0.05$); **Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test en WBVG ($p \leq 0.01$); ¥ Diferencia estadísticamente significativa entre pre-test y pos-test en MTG ($p \leq 0.01$).

No hubo diferencias significativas entre WBVG y MTG para los test de fuerza en extensión de rodilla y de la musculatura estabilizadora del tobillo. Tampoco se encontraron diferencias significativas en CG entre pre y post-test en ninguna de las mediciones de fuerza.

8.4. DISCUSIÓN

Los objetivos del presente estudio fueron analizar los efectos de dos protocolos de entrenamiento, WBV y MT, durante 12 semanas sobre la composición corporal, y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo, y determinar cuál de los protocolos de entrenamiento utilizado genera mayores adaptaciones sobre dichas variables en mujeres postmenopáusicas.

En lo referente a los cambios en la DMO total, ninguno de los grupos experimentales obtuvo mejoras después del entrenamiento. No hubo diferencias entre grupos. Algunos trabajos han demostrado que la vibración produce adaptaciones sobre el tejido óseo, lo que puede representar un método eficaz para la prevención de la pérdida de DMO. Ruan et al. (158) sometieron a 66 mujeres postmenopáusicas a 6 meses de entrenamiento sobre plataforma vibratoria con una frecuencia de 5 días por semana. Tras finalizar las últimas evaluaciones, se produjo un aumento significativo de la DMO lumbar (4.3%) y del cuello del fémur (3.2%). Por el contrario, Russo et al. (227) no encontraron cambios en las características del hueso tras 6 meses de entrenamiento vibratorio en mujeres postmenopáusicas. Todo ello sugiere que se debe realizar un análisis de la DMO en zonas específicas para intentar determinar de forma más precisa el efecto del entrenamiento sobre la DMO.

Sin embargo, Tanaka et al. (220) evaluaron los efectos de la vibración de frecuencia amplia en osteoblastos en cultivo. Los resultados sugirieron que los osteoblastos son más sensibles a la tensión de baja amplitud y alta frecuencia, y este tipo de tensión podría sensibilizar a los osteoblastos a tensiones de alta amplitud y baja frecuencia. Esto sugiere una posible contribución de la resonancia estocástica a la sensibilidad mecánica de los osteoblastos y a la modulación de las respuestas de adaptación mecánica en el hueso. Kaspar et al. (221) investigaron si la formación ósea por osteoblastos humanos in vitro se estimula a bajos niveles de tensión mecánica. Además, identificaron aquellas células óseas que dependen de la tensión mecánica y son responsables de una mayor formación de hueso en respuesta a la carga mecánica. Los resultados demostraron que la tensión cíclica a una magnitud fisiológica conduce a un aumento de la actividad osteoblástica

relacionada con la producción de la matriz, mientras que se reducen las actividades que son características de los osteoblastos diferenciados y relevantes para su mineralización.

Por otro lado, el MT se presenta como una herramienta útil en la prevención de la osteoporosis, debido a que este tipo de programas provocan un efecto anabólico en la masa ósea. En este sentido, Vainionpaa et al. (228) expusieron que un protocolo de MT de marcha y saltos durante 12 meses mejora la integridad del hueso en mujeres. No obstante, otro estudio realizado por Binder et al. (229) mostró que la combinación de entrenamiento de flexibilidad, coordinación, velocidad y fuerza durante 6 meses de duración no fue suficiente para aumentar la masa ósea. La diferencia de los resultados en relación a los estudios se puede deber a que la frecuencia semanal y el tiempo de exposición al ejercicio en la mayoría de los ensayos presentan una duración superior al planteado en la presente investigación. Igualmente las grandes diferencias metodológicas en relación al MT, no existiendo homogeneidad entre los programas, dificultan una comparación real entre los estudios.

En cuanto a la MM, se produjo un aumento significativo entre pre y post-test en los dos grupos experimentales. Además, se observaron diferencias significativas entre el grupo vibratorio y el control tras las 12 semanas. En este sentido, Roghani et al. (230) obtuvieron datos significativos en la ganancia de MM tras 6 semanas de MT que englobaba marcha y ejercicios con sobrecarga. En contrapartida, Yoo et al. (231), quienes evaluaron la composición corporal de 112 estudiantes después de 12 semanas de entrenamiento vibratorio, 3 sesiones por semana, no encontraron aumentos significativos en la MM en comparación con el CG. Bosco et al. (75) obtuvieron que la exposición a la vibración de forma aguda produce un incremento de las concentraciones en sangre de hormonas como la testosterona y la hormona del crecimiento. Estos cambios endocrinos podrían explicar el aumento de la MM tras el entrenamiento vibratorio. La práctica de ejercicio físico intenso y de larga duración provoca cambios en la respuesta hormonal (142), pero el entrenamiento WBV lograría un resultado similar con menor tiempo de práctica. Con el paso de los años se produce una pérdida de masa muscular que se asocia con la atenuación de dichas hormonas anabólicas,

especialmente disminuidas en mujeres mayores (25). En esta línea, Calendo et al. (232) evaluaron si la activación y el fortalecimiento muscular causados por el entrenamiento WBV tienen un efecto sobre la densidad ósea. El estudio mostró una correlación positiva entre el músculo y la masa ósea. Hubo un aumento significativo en la actividad muscular que dio lugar a una mejora de la densidad ósea en la columna lumbar y en la cadera en mujeres postmenopáusicas.

Después de 12 semanas de entrenamiento, los grupos experimentales disminuyeron significativamente la MG total (WBVG = -2.2%; MTG = -0.7%), mientras que no hubo cambios en el control (1.7%). Además, se observaron diferencias significativas entre WBVG y CG. Estableciendo una comparación con el estudio de Milanese et al. (233), se pueden observar resultados semejantes. Los autores valoraron la composición corporal de 44 mujeres tras 8 semanas de entrenamiento vibratorio, obteniendo un descenso significativo de la MG total entre pre y post-test, y sin modificaciones en el peso corporal (233). Sin embargo, no todos los estudios han obtenido resultados favorables en el descenso de la MG tras el entrenamiento vibratorio, como Roelants et al. (84), quienes no observaron cambios en la grasa corporal con un programa de vibración de 24 semanas, 3 sesiones por semana, en mujeres. A pesar de la existencia de resultados contradictorios, en una reciente revisión acerca de los efectos de la vibración sobre la pérdida de peso corporal, Cristi-Montero et al. (234) sugirieron como posible explicación 3 vías: inhibición de la adipogénesis y reducción de la MG, aumento de gasto energético y aumento de la masa muscular. Un aumento en el volumen muscular produce un incremento del gasto energético en reposo, que podría ayudar en la reducción del peso corporal y en la oxidación de ácidos grasos (234).

Otro hallazgo importante que se encontró fue que los dos grupos de entrenamiento obtuvieron ganancias en la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla a velocidades de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ (WBVG = 7.9%; y MTG = 8.8%) y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ (WBVG = 4.9%; y MTG = 7.3%) pre y post-test tras 12 semanas de entrenamiento. Además, los grupos experimentales mostraron aumentos significativos para los movimientos de eversión e inversión a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, y solo WBVG en eversión a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ en la articulación del tobillo. No obstante, no hubo diferencias entre grupos. Estos resultados se encuentran en la misma línea que los

publicados por otros autores, que afirman que el entrenamiento WBV aumenta la fuerza dinámica de la musculatura de las extremidades inferiores (72, 235). Machado et al. (130) estudiaron el efecto de 10 semanas de entrenamiento WBV sobre la fuerza (medida por la contracción isométrica voluntaria máxima, CIVM) en mujeres mayores (edad = 65-90 años). La fuerza de los extensores de rodilla y cadera mejoraron de forma significativa al compararla con los valores iniciales (130). Similares resultados obtuvieron Roelants et al. (84), quienes propusieron un protocolo de entrenamiento de 24 semanas en mujeres postmenopáusicas (n = 69) en el que se establecieron 3 grupos, uno expuesto a vibración, otro a entrenamiento con sobrecargas, y un tercero de control. El grupo vibratorio realizaba ejercicios de semi-sentadilla, sentadilla profunda y zancada, mientras que el de sobrecargas combinaba 20 min de entrenamiento cardiovascular y 40 min de ejercicio de fuerza para los extensores de rodilla. Se realizaron test intermedios a las 12 semanas. Las mujeres de los dos grupos experimentales vieron mejorada su fuerza isométrica e isocinética, mientras que la potencia obtuvo una mayor ganancia en el grupo de entrenamiento WBV (84). Con respecto a la ganancia de fuerza a través de programas de MT, Cadore et al. (236) estudiaron su efecto con un protocolo de entrenamiento combinado de 12 semanas de duración en nonagenarios (n = 24), 2 sesiones por semana. Cada sesión englobaba ejercicios de tipo resistido con cargas progresivas, de equilibrio y de marcha. Al igual que en nuestro trabajo, las evaluaciones finales mostraron resultados beneficiosos en la fuerza de los extensores de rodilla. Asimismo, en otro estudio comprobaron que un programa de MT de 12 meses, que integraba ejercicios con pesas y de naturaleza aeróbica, incrementaba tanto los niveles de fuerza isométrica máxima de la musculatura extensora de rodilla como el equilibrio en adultos mayores (224).

Hay estudios en la literatura que evalúan los efectos del entrenamiento WBV a largo plazo sobre la actividad refleja de los músculos estabilizadores del tobillo. En una reciente investigación, se realizó un programa de 6 semanas de intervención, 3 sesiones por semana, en 44 voluntarios sanos y físicamente activos. Tras el entrenamiento no se encontraron diferencias significativas en la actividad refleja de los músculos analizados (peroneo lateral largo, peroneo lateral corto y tibial anterior) (237). Igualmente, Melnyk et al. (238) estudiaron el

efecto de 4 semanas de entrenamiento WBV sobre la musculatura estabilizadora de la articulación del tobillo. A pesar de emplear parámetros de amplitud y frecuencia de estímulo similares a los del presente trabajo, no encontraron resultados significativos tras el tratamiento. En el estudio que se plantea en este trabajo, las participantes realizaban un programa de ejercicio vibratorio dinámico en el que se ejecutaba flexión plantar de tobillo, elevando los talones de la plataforma vibratoria para posteriormente adoptar de nuevo la posición de flexión dorsal, manteniendo en ambos casos la musculatura periarticular del tobillo en contracción. En nuestro trabajo, se encontraron mejoras de fuerza isocinética de los músculos implicados en los movimientos de eversión e inversión de tobillo. La situación de desequilibrio que adopta el tobillo al realizar el patrón dinámico sobre la plataforma vibratoria podría justificar esta ganancia de fuerza. La literatura muestra que el estímulo vibratorio genera mayores adaptaciones en los grupos musculares más cercanos a la plataforma vibratoria (74). Los incrementos de la fuerza de los extensores de rodilla se asocian con una mayor movilidad articular (239). La mejora del déficit de fuerza de los músculos inversores puede ser de gran importancia como sistema de prevención a largo plazo de esguinces, caídas y lesiones inducidas por éstas en personas mayores (240).

No se ha encontrado ningún estudio en relación a la mejora de fuerza isocinética de la musculatura eversora e inversora del tobillo a través de programas de ejercicio multi-componente. En nuestro protocolo de entrenamiento, las participantes combinaban ejercicio aeróbico de marcha con drop jumps. Durante el aterrizaje, el tobillo experimenta una posición de flexión dorsal para amortiguar el impacto. Así, se podría justificar la ganancia de fuerza de los eversores e inversores de tobillo, pues la coactivación de esta musculatura se hace necesaria durante el drop jump ante la situación de desequilibrio que se produce (241). En este sentido, Lin et al. (242) sugieren el trabajo de propiocepción y de fuerza de los músculos estabilizadores de tobillo mediante la coactivación de los agonistas-antagonistas como entrenamiento preventivo con el objetivo de proporcionar estabilidad al complejo periarticular.

En resumen, el presente estudio muestra que 12 semanas de entrenamiento WBV y MT mejora de forma significativa la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo. Además, los valores del CG permanecieron constantes a lo largo del estudio. El aumento de fuerza de la musculatura del tren inferior disminuye la probabilidad de sufrir una caída, un esguince o una fractura (243). En este sentido, estos resultados se consideran de gran importancia, ya que las caídas son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad de la sociedad actual, en especial en mujeres postmenopáusicas. Además, se produjeron adaptaciones en la composición corporal (descenso del contenido graso y aumento de la masa muscular). De esta forma, se verían reducidos los riesgos de obesidad y sarcopenia, enfermedades que comúnmente se dan en adultos mayores. A pesar de que uno de los objetivos de este estudio era determinar qué protocolo de entrenamiento produce mayores adaptaciones en la composición corporal y la fuerza, no hubo diferencias significativas entre WBVG y MTG. Las mejoras fueron similares en ambos grupos y no se puede afirmar que un entrenamiento sea mejor que el otro. Teniendo en cuenta que el entrenamiento sobre plataforma vibratoria aporta beneficios con un menor tiempo de sesión y esfuerzo percibido, podría ser una buena alternativa a utilizar en personas mayores. Con el objetivo de hallar diferencias entre los grupos de entrenamiento en las variables de fuerza y composición corporal, se necesitan más investigaciones con un tiempo de tratamiento más prolongado. Las principales limitaciones de este estudio fueron: 1) la elevada muerte experimental durante las 12 semanas; 2) la corta duración del periodo de entrenamiento que puede explicar por qué no se obtuvieron resultados en la DMO; 3) una medición más específica de la DMO (columna lumbar y cuello del fémur); y 4) la falta de evaluaciones relacionadas con actividades de la vida cotidiana.

IX – ESTUDIO N° 5

IX. ESTUDIO N° 5:

EFFECTS OF 24 WEEKS OF WHOLE BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING ON MUSCLE STRENGTH AND BODY COMPOSITION IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

EFFECTOS DE 24 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA FUERZA MUSCULAR Y LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIZADO

9.1. INTRODUCCIÓN

Los déficits hormonales que se producen durante la menopausia tienen un profundo efecto sobre el estado de salud de las mujeres, ya que pasan alrededor de 30 años en etapa postmenopáusica. Diferentes autores han estudiado la relación entre la pérdida de masa muscular y fuerza durante la transición a la menopausia. Rolland et al. (244) mostraron que las mujeres experimentan una disminución en la masa muscular del 0.6% por año después de la menopausia. Sin embargo, los descensos de masa muscular no solo dependen de la edad y del periodo postmenopáusico (245), sino también de otros factores que influyen en esta pérdida, como la baja actividad física (246), factores inflamatorios (247) y la disminución de la fuerza del tren inferior (248).

Tras la menopausia, el ciclo de formación y reabsorción ósea sufre un proceso de "desacoplamiento", que conduce a un aumento de la actividad de resorción osteoclástica y, a su vez, a una pérdida neta de masa ósea. Además, durante la primera fase de la menopausia, se produce una disminución en la absorción de calcio (249). La densidad mineral ósea (DMO) se reduce en un 10% durante el periodo menopáusico (250), lo que explica el efecto de la menopausia

sobre el tejido óseo y por qué hay una mayor incidencia de fracturas en mujeres. Así, la pérdida de músculo y hueso son dos de los factores principales que ocurren después de la menopausia.

Para tratar de combatir los efectos del envejecimiento, especialmente en mujeres postmenopáusicas, se están utilizando diferentes tipos de programas de actividad física o de entrenamiento. Diversos estudios mostraron que la combinación de diferentes modalidades de ejercicio [es decir, entrenamiento multi-componente (el término en inglés: multi-component training, MT), es un método adecuado para prevenir la pérdida de DMO y mejorar la fuerza muscular en mujeres mayores (70, 251). Los resultados demuestran que la tensión mecánica puede mejorar la masa ósea en mujeres premenopáusicas (228), pero no en mujeres postmenopáusicas (252). Sin embargo, sigue habiendo cierta controversia con respecto al potencial osteogénico para mejorar la DMO utilizando MT. Además, hay muchos protocolos diferentes de MT; por lo tanto, se hace necesario continuar estudiando los beneficios que esta modalidad de ejercicio tiene en mujeres postmenopáusicas.

Por otro lado, el entrenamiento sobre plataformas vibratorias (el término en inglés Whole-body vibration, WBV) se ha considerado como una intervención apropiada para producir mejoras en la fuerza muscular y adaptaciones en la composición corporal, por lo que puede ser utilizado para contrarrestar la degeneración ósea y la pérdida de músculo (70, 138). El estímulo mecánico generado por este método de entrenamiento se transmite al cuerpo en el que, a su vez, se estimulan los receptores sensoriales (husos musculares). La activación de los receptores sensoriales conlleva a la activación de las neuronas motoras- α que provocan contracciones musculares, y se ha sugerido que las vibraciones provocan una respuesta denominada "reflejo tónico vibratorio" (253, 254). Diferentes estudios han determinado el impacto del entrenamiento WBV sobre la DMO y la fuerza muscular (72, 92, 156). Tsuji et al. (255) estudiaron el efecto de 8 semanas de entrenamiento WBV en la fuerza muscular de las extremidades inferiores en mujeres (edades = 50-73 años) y mostraron mejoras significativas en comparación con los parámetros basales (255). Marín-Cascales et al. (70) examinaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento vibratorio en un grupo

de 14 mujeres postmenopáusicas, que realizaron ejercicios estáticos y dinámicos de los músculos de las extremidades inferiores. El estudio mostró aumentos en la fuerza isocinética en los extensores de la rodilla y en los músculos estabilizadores de la articulación del tobillo, mientras que no se observaron cambios en la densidad ósea total (70). Lai et al. (156) investigaron el efecto a largo plazo (6 meses) de entrenamiento WBV durante 5 min usando altos valores de frecuencia y de amplitud, 3 veces por semana. Los resultados mostraron incrementos en la DMO de la columna lumbar en un grupo de 28 mujeres postmenopáusicas (156). Además, teniendo en cuenta que el tiempo necesario para completar el ciclo de remodelación ósea (resorción, formación y mineralización ósea) es alrededor de 3 a 4 meses (256), el entrenamiento debe tener al menos una duración de 6 a 8 meses para garantizar que se alcancen los posibles cambios en las propiedades estructurales. A pesar de su eficacia, todavía no se ha definido por completo el programa de vibración más eficiente en mujeres postmenopáusicas (70).

Aunque estudios previos han examinado los efectos del entrenamiento WBV y del MT en la fuerza y la composición corporal en mujeres postmenopáusicas, la eficiencia de los entrenamientos sigue sin estar clara y se desconoce si MT tiene un efecto mayor sobre estas variables que el entrenamiento WBV. Por tanto, los objetivos de este estudio fueron analizar el impacto de 24 semanas de entrenamiento WBV y MT, y determinar qué tipo de entrenamiento crea mayores adaptaciones en la composición corporal y en la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores de la articulación del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

9.2. MÉTODO

9.2.1. Diseño experimental

Se realizó un diseño cuasi-experimental de 24 semanas de duración, intra e inter-sujeto, con pre y post-test, y con grupo control. La distribución de la muestra fue estratificada en función de la DMO y las participantes fueron asignadas aleatoriamente en uno de los 3 grupos: WBVG (grupo de entrenamiento WBV) (n = 25), MTG (grupo de entrenamiento MT) (n = 25) y CG (grupo control) (n = 15).

Se utilizó como método para la asignación al azar el Software Research Randomizer (Versión 4.0, Lancaster, Pennsylvania).

La toma de datos comenzó con las mediciones de composición corporal. Después se valoró la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los extensores, flexores, inversores y eversores de tobillo. Todos los test isocinéticos fueron realizados por el mismo investigador. Las participantes fueron instruidas para mantener sus rutinas diarias normales y de ingesta alimentaria. Los sujetos del CG no entrenaron y realizaron solo pre y post-test a las 24 semanas.

9.2.2. Participantes

Se reclutaron un total de 65 mujeres postmenopáusicas a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los criterios de exclusión fueron si la participante: presentaba un nivel elevado de osteoporosis ($DMO < 70\text{g/cm}^2$), se encontraba en tratamiento por alguna patología que pudiera afectar a la estructura ósea y al rendimiento neuromuscular, había sido intervenida para la implantación de prótesis ortopédicas que afectasen a las extremidades inferiores y a la columna vertebral, tenía hernias discales, sufría enfermedades oculares que afectasen a la retina, sufría enfermedades cardiovasculares severas, sufría de epilepsia, llevaba marcapasos o material de osteosíntesis, realizaba algún tipo de actividad física de forma habitual, y/o tenía una asistencia menor del 90% al programa de entrenamiento estipulado. Antes del comienzo del estudio, todas las participantes firmaron un consentimiento informado sobre los entrenamientos y las evaluaciones que se desarrollarían. El diseño fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Local.

9.2.3. Composición corporal

Las participantes se colocaron en tendido supino sobre la camilla y se procedió a la evaluación de la composición corporal y de la masa ósea por absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) (Densitómetro XR-46, Norland Corp., Fort Atkinson, USA). Se calculó la masa ósea, magra y grasa a partir del análisis total y regional de la exploración de todo el cuerpo. El área de la densidad

mineral ósea ($DMO = g \cdot cm^{-2}$) se calculó mediante la fórmula $DMO = \text{Contenido mineral óseo (CMO)} \times \text{área}^{-1}$.

9.2.4. Mediciones de fuerza isocinética

Para la medición de la fuerza isocinética se utilizó un Dinamómetro Isocinético Biodex System 3 (Biodex Medical System, Shirley, New York, USA). Se evaluó la fuerza isocinética concéntrica en las articulaciones de rodilla y tobillo derecho.

Antes del inicio de los test, se realizó un calentamiento específico. Previo al comienzo de la medición, se realizó una familiarización en la que los sujetos efectuaron una serie de ensayos para cerciorarse del movimiento que se les requería. Se les pidió a las participantes que generaran sus máximos valores de fuerza tan rápido y tan fuerte como fuera posible.

Para la medición de la fuerza isocinética en extensión de rodilla el rango articular fue de 90° , donde 0° correspondía a extensión completa. La prueba consistía en 5 repeticiones máximas de flexión y extensión de rodilla a velocidades de $60^\circ \cdot s^{-1}$ y de $270^\circ \cdot s^{-1}$.

Además, se valoró la fuerza isocinética en flexión dorsal y plantar, y en eversión e inversión. Para esta prueba, las participantes permanecieron sentadas con un ángulo de 90° para las articulaciones de cadera y rodilla. El muslo y pie quedaron sujetos y apoyados de forma que el tobillo quedase en un ángulo de 90° con respecto a la pierna. El test constaba de 5 repeticiones máximas de flexión plantar/dorsal y de eversión/inversión a velocidades de $60^\circ \cdot s^{-1}$ y de $120^\circ \cdot s^{-1}$.

Se dejó entre cada velocidad un tiempo de recuperación de 2 min. De estas pruebas se obtuvo el torque pico concéntrico. Los valores de fuerza isocinética se normalizaron con respecto al peso corporal ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$).

9.2.5. Entrenamiento

El tiempo total de la fase de intervención fue de 24 semanas. Los grupos experimentales se expusieron a un estímulo de entrenamiento con una frecuencia de 3 sesiones por semana y un volumen total de 72 sesiones. El tiempo de

recuperación entre sesión fue mínimo de 24 h y máximo de 72 h. Antes del inicio de las sesiones de entrenamiento, las participantes efectuaban un calentamiento específico que consistía en 8 min de activación vegetativa sobre un cicloergómetro a una intensidad moderada, seguido de estiramientos, y movilidad articular del tren inferior. Las características y la progresión de los programas de entrenamiento se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los programas de entrenamiento.

MES	1	2	3	4	5	6	
WBVG	Series por sesión	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
	Tiempo de trabajo	45''-1'	1'	1'	1'	1'	1'
	Frecuencia (Hz)	35	35	35	40	40	40
	Amplitud (mm)	4	4	4	4	4	4
	Tiempo de descanso (min)	1	1	1	1	1	1
	Sesiones por semana	3	3	3	3	3	3
MTG	Altura del drop jump (cm)	-	5	10	15	20	25
	Tiempo de la marcha (min)	35	40	45	50	55	60
	Frecuencia Cardíaca de Reserva (%)	50	55	60	65	70	75
	Sesiones por semana	3	3	3	3	3	3

MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

9.2.5.1. Entrenamiento vibratorio (WBV)

El WBVG realizó el entrenamiento sobre una plataforma de vibración sinusoidal que generaba oscilaciones verticales (Power Plate Next Generation; Power Plate North America, Northbrook, IL, USA). Durante las sesiones, las participantes se situaron sobre la plataforma vibratoria, en bipedestación, manteniendo una posición estática de semi-sentadilla (angulación de cadera y rodilla de 120°). Los brazos permanecieron cruzados uno sobre el otro y paralelos al suelo con una flexión de hombro de 90°. Las participantes ejecutaron flexión plantar y dorsal de tobillo con una secuencia de trabajo (estableciendo un ritmo de 100 batidos por min cada 6 tiempos: 1 concéntrico - 0 isométrico - 5 para la fase excéntrica). La amplitud (4 mm), tiempo de trabajo (60 s) y de recuperación entre

series (60 s) se mantuvieron constantes durante las 24 semanas de entrenamiento. La carga de entrenamiento se incrementó aumentando la frecuencia (35-40 Hz). Las 2 primeras semanas se consideraron como fase de familiarización, en las que el tiempo de trabajo fue de 45 s. El volumen de entrenamiento se incrementó por el aumento del número de series por sesión (iniciándose el entrenamiento con 5 series sobre la plataforma e incrementando de 1 a 2 series por mes hasta finalizar con un total de 11 series) (225) (Tabla 1).

9.2.5.2. Entrenamiento multi-componente (MT)

El MTG combinó drop jumps y actividad aeróbica durante 24 semanas. Durante el primer mes, se realizaron pequeños saltos reactivos (sin flexión de rodilla y de cadera). Después, las participantes realizaron drop jumps, comenzando por una altura de 5 cm y acabando con una altura de 25 cm al final del programa (incrementos de 5 cm cada mes). Las series aumentaron de 4 x 10 drop jumps a 6 x 10 cada semana. Los drop jumps fueron los mismos cada mes, pero la progresión de la carga (impuesta por la altura) fue ondulatoria (la carga se incrementaba durante 3 semanas y disminuía durante una semana).

Después, tenía lugar el ejercicio aeróbico. La carga de trabajo incrementó progresivamente a lo largo de las 24 semanas. Los sujetos andaban a una intensidad de 50-75% de la Frecuencia Cardíaca de Reserva (Frecuencia Cardíaca Máxima - Frecuencia Cardíaca de Reposo) y un volumen entre 30-60 min (Tabla 1). La intensidad de trabajo se estableció por medio de la velocidad de la marcha, tras la ejecución de un test inicial con pulsómetro previo al comienzo del periodo de entrenamiento.

9.2.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS, versión 19.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE.UU.) en el entorno de Windows. Se realizó un análisis descriptivo al detalle y se analizaron las características de la muestra de estudio. Se realizó el estadístico chi-cuadrado para examinar la homogeneidad de la muestra (número de participantes).

Para el análisis inferencial, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la distribución de la muestra y la prueba de rachas para verificar que la muestra era aleatoria, es decir, si las sucesivas observaciones eran independientes. Con el fin de determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas para toda la muestra (Modelo Lineal General). Si existieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para el factor tiempo ANOVA, se realizaron medidas repetidas para cada grupo con el fin de diferenciar entre el pre y el post-test. Si aparecieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para el tiempo \times grupo, se realizó un ANOVA y el test post hoc de Tukey para ver si había diferencias significativas entre los grupos.

9.3. RESULTADOS

Un total de 38 mujeres completaron los programas de entrenamiento. Por tanto, los datos están basados en la siguiente muestra: WBVG ($n = 15$), MTG ($n = 13$) y CG ($n = 10$). La distribución de la muestra fue homogénea en cuanto al número de participantes. Las características de los sujetos finales al comienzo del estudio fueron: edad (WBVG: 59.6 ± 5.9 ; MTG: 58.4 ± 7.4 ; y CG: 62.4 ± 5.1 años), altura (WBVG: 154.1 ± 4.3 ; MTG: 155.8 ± 7.0 ; y CG: 155.4 ± 3.6 cm) y masa corporal (WBVG: 77.1 ± 13.5 ; MTG: 71.5 ± 9.9 ; y CG: 72.6 ± 10.0 kg). Hubo una muerte experimental de 27 sujetos a causa de motivos personales o de salud (Figura 1). Ninguno de los abandonos se produjo como resultado de lesiones o respuestas adversas a los programas de entrenamiento.

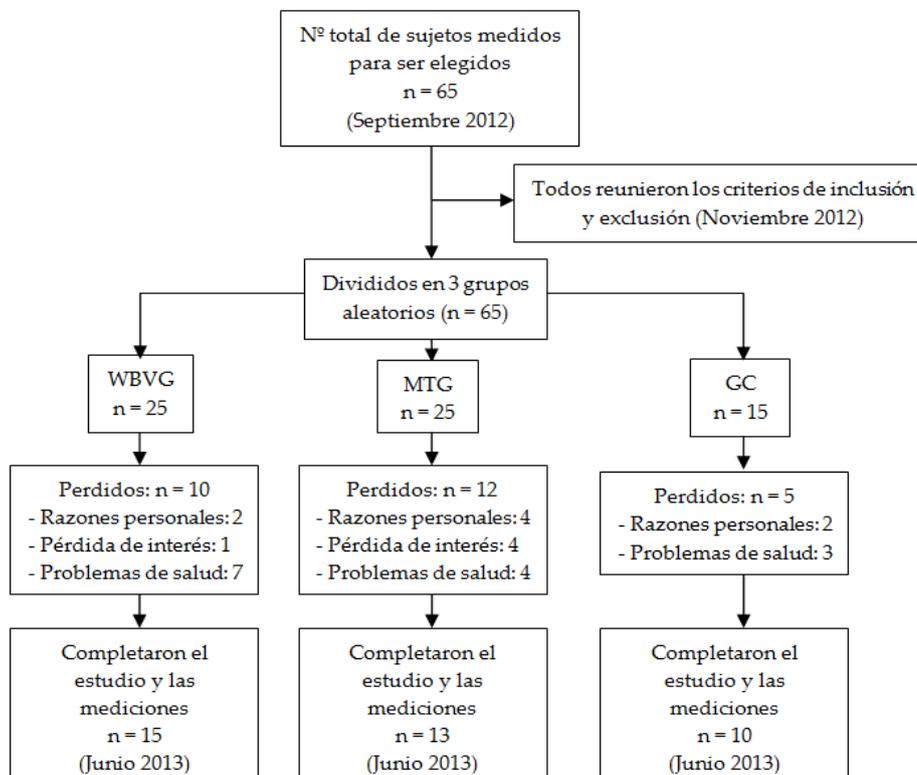


Figura 1. Diagrama de flujo; CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

9.3.1. Composición corporal

Se observó un descenso significativo en el % de grasa corporal en WBVG ($p = 0.044$), en la masa grasa (MG) total (kg) en MTG ($p = 0.009$) y un incremento significativo en la MG total en el CG ($p = 0.041$) entre pre y post-test. No hubo cambios en el índice de masa corporal (IMC), en la masa magra (MM) y en la DMO total entre pre y post-test en ninguno de los grupos (Tabla 2). Además, se encontraron diferencias significativas en el post en MG total entre WBVG y CG ($p = 0.028$), y entre MTG y CG ($p = 0.001$).

Tabla 2. Cambios en los parámetros de la composición corporal.

Variable	WBVG (n = 14)			MTG (n = 14)			CG (n = 10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Grasa Corporal (%)	46.0 (6.1)	44.9 (6.1)	-1.1 (0.5) [*]	42.2 (4.2)	41.2 (3.3)	-1.0 (0.6)	40.4 (4.7)	41.3 (5.1)	0.9 (0.7)
Masa Grasa (Kg)	37.8 (11.7)	36.8 (11.6)	-1.0 (0.0)	31.6 (6.3)	29.9 (5.9)	-1.7 (2.0) ^{**}	30.5 (7.6)	31.7 (7.4)	1.2 (0.0) ^{***}
Masa Magra (Kg)	40.5 (3.9)	41.3 (4.4)	0.8 (0.6)	39.9 (5.2)	39.9 (6.1)	-0.1 (0.6)	42.2 (4.4)	42.0 (5.7)	-0.1 (0.7)
DMO _{total} (g·cm ⁻³)	0.924 (0.105)	0.927 (0.119)	0.002 (0.03)	0.918 (0.103)	0.927 (0.098)	0.000 (0.02)	0.886 (0.091)	0.892 (0.097)	0.006 (0.013)

CG = grupo control; DMO = densidad mineral ósea; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; Δ = cambio. Los datos se presentan como desviación estándar (media \pm SD) para los valores pre y post y como error estándar de la media (media \pm SEM) para el cambio.

^{*}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.05$).

^{**}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.01$).

[†]Diferencia estadísticamente significativa con WBVG ($p \leq 0.05$).

^{***}Diferencia estadísticamente significativa con MTG ($p \leq 0.001$).

9.3.2. Fuerza isocinética

9.3.2.1. Rodilla

Se observó un aumento significativo en el torque pico de los grupos de entrenamiento en extensión a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ y a $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ entre pre y post-test. También, se encontraron diferencias significativas entre MTG y CG en extensión a $270^{\circ}\cdot s^{-1}$.

9.3.2.2. Tobillo

Se observaron aumentos significativos en flexión plantar a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ en WBVG y a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ en los dos grupos de entrenamiento entre pre y post-test. MTG mostró un incremento significativo en dorsiflexión a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. Con respecto a la eversión y la inversión, WBVG y MTG mejoraron la fuerza isocinética a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. En eversión a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ solo WBVG presentó cambios, y hubo un incremento significativo en WBVG y MTG en inversión a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$. La Figura 2 presenta las ganancias relativas al torque pico entre pre y post-test para cada grupo.

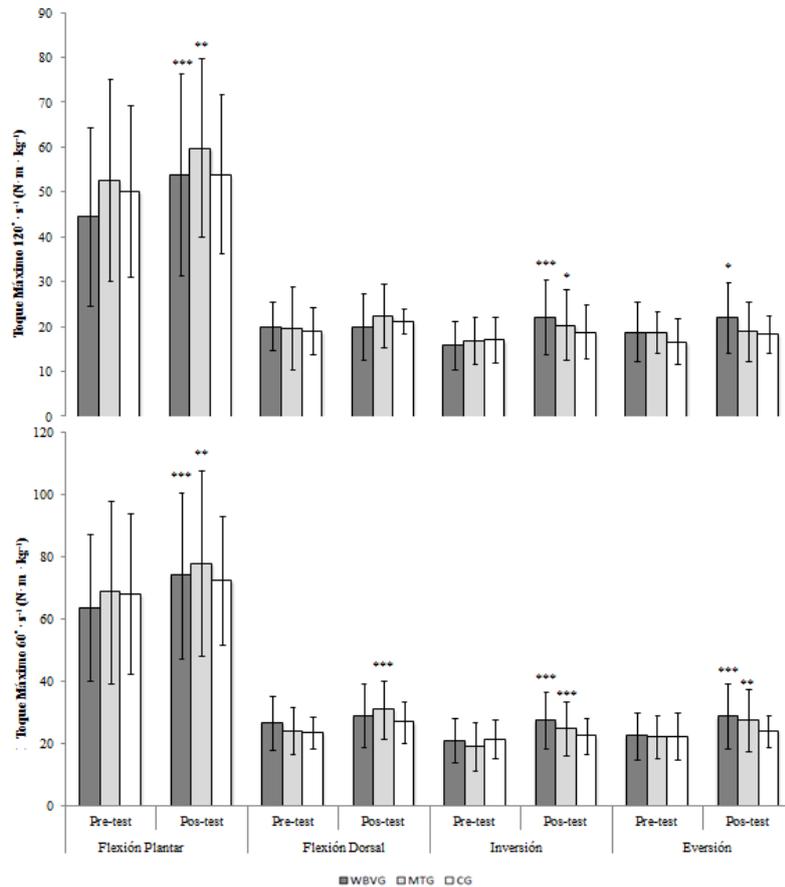


Figura 2. Cambios en el torque máximo isocinético ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$) en flexión plantar, flexión dorsal, inversión y eversión de tobillo a velocidades de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ y $120^{\circ} \cdot s^{-1}$ para cada grupo; CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; *Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.05$); **Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.01$); ***Diferencia estadísticamente significativa entre pre y pos-test ($p \leq 0.001$).

No hubo diferencias significativas entre WBVG y MTG para los test de fuerza de rodilla y tobillo. Tampoco se encontraron diferencias significativas en CG entre pre y post-test en ninguna de las mediciones de fuerza. La Tabla 3 presenta los valores de fuerza isocinética de los extensores de rodilla, así como las ganancias del torque pico en flexión plantar y dorsal, y en eversión e inversión de tobillo entre el pre y post-test.

Tabla 3
Cambios en la fuerza isocinética.

Variable	WBVG (n = 15)			MTG (n = 13)			CG (n = 10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Rodilla									
Extensión a 60°·s ⁻¹ (N·m)	95.8 (14.2)	105.1 (14.2)	9.3 (2.9) ^{***}	94.3 (18.7)	106.8 (22.2)	12.6 (3.2) ^{**}	92.7 (17.8)	93.4 (16.9)	0.7 (3.5)
Extensión a 270°·s ⁻¹ (N·m)	50.0 (9.1)	55.2 (9.1)	5.2 (1.7) ^{**}	47.3 (13.0)	56.2 (11.6)	8.9 (1.9) ^{***}	47.2 (7.1)	48.8 (6.9)	1.6 (2.0) ⁼
Extensión a 60°·s ⁻¹ (N·m·kg ⁻¹)	128.0 (28.7)	139.7 (29.5)	11.7 (3.9) ^{**}	134.1 (35.5)	150.3 (30.4)	16.2 (4.4) ^{***}	130.4 (33.2)	131.0 (30.6)	0.6 (4.8)
Extensión a 270°·s ⁻¹ (N·m·kg ⁻¹)	66.6 (14.8)	72.9 (14.3)	6.3 (2.2) ^{**}	67.3 (20.5)	79.3 (19.2)	12.0 (2.5) ^{***}	65.7 (12.7)	68.4 (12.2)	2.7 (2.7) ⁼
Tobillo (N·m)									
Flexión dorsal a 60°·s ⁻¹	19.4 (4.9)	21.3 (6.2)	1.9 (1.6)	17.1 (6.0)	21.6 (5.3)	4.5 (1.3) ^{***}	16.8 (4.0)	19.1 (4.4)	2.4 (1.4)
Flexión dorsal a 120°·s ⁻¹	14.8 (3.3)	14.6 (4.4)	0.1 (0.9)	13.7 (5.5)	15.6 (3.9)	1.9 (1.0)	13.5 (3.4)	15.2 (2.0)	1.7 (1.1)
Flexión plantar a 60°·s ⁻¹	46.1 (13.0)	53.8 (14.0)	7.7 (1.8) ^{***}	47.8 (16.6)	53.9 (15.3)	6.1 (1.9) ^{**}	48.4 (15.9)	51.5 (11.3)	3.1 (2.1)
Flexión plantar a 120°·s ⁻¹	32.5 (12.3)	39.2 (13.5)	6.7 (1.4) ^{***}	36.8 (13.5)	41.9 (11.2)	5.1 (1.6) ^{**}	35.5 (10.7)	38.3 (9.6)	2.8 (1.7)
Eversión a 60°·s ⁻¹	16.9 (4.8)	21.9 (6.7)	4.9 (1.1) ^{***}	15.5 (4.5)	19.1 (5.6)	3.6 (1.2) ^{**}	15.8 (4.6)	17.0 (2.6)	1.2 (1.3)
Eversión a 120°·s ⁻¹	14.1 (4.3)	16.6 (5.3)	2.5 (0.9) ^{**}	13.2 (2.7)	13.2 (3.4)	0.0 (0.9)	11.9 (3.6)	13.1 (3.0)	1.2 (1.0)
Inversión a 60°·s ⁻¹	15.9 (4.5)	20.7 (5.9)	4.8 (1.0) ^{***}	13.6 (5.5)	17.5 (6.4)	3.9 (1.0) ^{***}	15.3 (3.2)	15.6 (2.6)	0.3 (1.1)
Inversión a 120°·s ⁻¹	12.0 (3.3)	16.5 (5.2)	4.5 (0.9) ^{***}	12.1 (4.2)	14.3 (4.3)	2.3 (0.9) [*]	12.0 (3.1)	13.3 (3.6)	1.3 (1.1)

CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio; Δ = cambio. Los datos se presentan como desviación estándar (media \pm SD) para los valores pre y post y como error estándar de la media (media \pm SEM) para el cambio.

^{*}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y post-test ($p \leq 0.05$).

^{**}Diferencia estadísticamente significativa entre pre y post-test ($p \leq 0.01$).

^{***}Diferencia estadísticamente significativa con MTG ($p \leq 0.001$).

⁼Diferencia estadísticamente significativa con WBVG ($p \leq 0.05$).

9.4. DISCUSIÓN

Los objetivos del presente estudio fueron evaluar el impacto de dos protocolos de entrenamiento, WBV y MT, durante 24 semanas sobre la composición corporal y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo, y determinar cuál de los programas de entrenamiento utilizado genera mayores adaptaciones sobre dichas variables en mujeres postmenopáusicas.

En relación a la DMO total, no hubo cambios estadísticamente significativos en WBVG después del tratamiento. Tampoco se encontraron diferencias entre grupos. Con el fin de determinar el efecto del entrenamiento vibratorio, Leung et al. (257) realizaron un estudio para comprobar los efectos a largo plazo de la vibración de alta frecuencia y de baja amplitud en la tasa de caída y de fractura, en el rendimiento muscular y en la calidad ósea en mujeres postmenopáusicas (mayores de 60 años). Las mujeres fueron asignadas al azar a los grupos de control o de entrenamiento WBV (frecuencia de 5 veces por semana a 35 Hz) durante 18 meses. No se produjeron cambios en la DMO de la cadera y de la columna lumbar en el grupo de vibración, coincidiendo con los hallazgos encontrados en nuestro estudio. Sin embargo, Verschueren et al. (92) mostraron un incremento en la DMO de la cadera y mantuvieron constante la de la columna lumbar, aplicando una frecuencia y una amplitud de entrenamiento similar a las usadas en el presente trabajo. En consecuencia, se necesitan realizar más estudios para examinar la carga de vibración óptima en esta población y realizar mediciones específicas de la DMO.

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la DMO total en MTG. El MT desempeña un rol como estrategia para prevenir la osteoporosis, incrementando la masa ósea tras los programas de ejercicio. Movaseghi et al. (258) analizaron un programa moderado de MT durante 3 años en un grupo de mujeres postmenopáusicas (57 años), quienes realizaron diferentes modalidades de ejercicio que incluían estiramientos estáticos y dinámicos, ejercicios aeróbicos (usando pelota de fitness, steps, pesas, bandas elásticas para extremidades inferiores y superiores), ejercicios con máquinas (marcha en cinta ergométrica y carrera suave sin inclinación), en bicicleta reclinada (con poca o ninguna

resistencia) y entrenamiento en elíptica. Los autores indicaron un incremento en la DMO y el CMO del cuello del fémur y de la columna lumbar. Por el contrario, Karinkanta et al. (205) mostraron que un programa de entrenamiento de 12 meses, que combinaba fuerza y equilibrio con saltos, no produce mejoras en la masa ósea del cuello del fémur en mujeres de edad avanzada. Del mismo modo Stewart et al. (259) demostraron que un protocolo mixto incluyendo ejercicios de fuerza y de naturaleza aeróbica no tuvo efecto sobre la DMO total en hombres y produjo una reducción de ésta en mujeres. El hecho de que sean muchos los diferentes protocolos de entrenamiento empleados en WBV y MT, dificulta la comparación entre las investigaciones y la determinación del protocolo que produce las mejores adaptaciones.

Con respecto al contenido graso, hubo un descenso significativo en el % de grasa corporal en WBVG (-1.1%), en la MG total en MTG y un aumento de ésta en CG tras 24 semanas de entrenamiento. Se encontraron diferencias significativas entre los grupos experimentales comparados con CG en el % de grasa corporal. Estos resultados están de acuerdo con un trabajo previo llevado a cabo por Fjeldstad et al. (73), quienes concluyeron que 8 meses de entrenamiento WBV (frecuencia 15-40 Hz y amplitud 3 mm) redujeron la MG total en mujeres postmenopáusicas. En relación a estos resultados, Garatachea et al. (260) encontraron que el entrenamiento WBV aumentó el consumo de energía en hombres jóvenes. El entrenamiento vibratorio generó cambios significativos en la tasa metabólica de las piernas, lo que puede significar que el consumo de oxígeno mejora en las extremidades inferiores (260). Una revisión reciente presenta, como explicación razonable, que este fenómeno podría estar asociado con la inhibición de la adipogénesis, el aumento en el gasto de energía y de la masa muscular (234). Sería interesante estudiar la grasa intramuscular, ya que aumenta significativamente después de la menopausia (261).

Después de 24 semanas de tratamiento, no se obtuvieron cambios estadísticamente significativos en la MM total en los grupos de entrenamiento. Estos resultados son similares a los encontrados por Beck and Norling (138), quienes evaluaron el efecto de 8 meses de entrenamiento WBV sobre la MM en mujeres postmenopáusicas y no encontraron adaptaciones tras la intervención.

Por el contrario, Kukuljan et al. (107) analizaron la composición corporal después de 12 meses de un programa de MT progresivo de entrenamiento resistido de alta intensidad con ejercicios de impacto con sobrecarga en adultos mayores (50-79 años) y obtuvieron mejoras significativas en MM. A pesar de que algunas investigaciones indican la existencia de receptores de estrógeno en el tejido muscular, que podrían contribuir a la síntesis de la masa muscular (116), su pérdida se asocia con la atenuación en concentraciones en sangre de hormonas anabólicas, como la testosterona o la hormona de crecimiento, especialmente disminuidas en mujeres de edad avanzada (25). En el presente estudio, la ausencia de mejora en la MM podría justificarse por los bajos niveles de estas hormonas en mujeres postmenopáusicas. Además, cabe la posibilidad de que los sujetos de este estudio presentaran una alta resistencia anabólica (145). Esto conduce a una incapacidad del músculo para mantener una adecuada síntesis proteica debido a un menor anabolismo y a una mayor rotura de las proteínas musculares (146). Este fenómeno se ha demostrado que aumenta con el envejecimiento (262), lo que explica la falta de incremento de la masa muscular. Se sabe que hay una correlación positiva entre la masa muscular y la masa ósea (una mejora en el músculo produce cambios en el tejido óseo) (232). Por lo tanto, la ausencia de incrementos de la DMO en este estudio también se podría explicar por la ausencia de diferencias significativas en la ganancia de masa muscular, posiblemente debida a una intensidad insuficiente en los programas de entrenamiento WBV y MT.

Por otra parte, WBVG mostró aumentos significativos en la fuerza isocinética de los músculos extensores de rodilla a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ después de 24 semanas. Además, WBVG mejoró la fuerza en flexión plantar e inversión a ambas velocidades. La eversión de tobillo aumentó en WBVG a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ y a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ entre pre y post-test. Estos resultados están de acuerdo con los de varios investigadores, que confirman que el entrenamiento WBV incrementa la fuerza dinámica de los músculos de las extremidades inferiores (72). Ebid et al. (263) investigaron el efecto de 8 semanas de entrenamiento WBV en la fuerza muscular del tren inferior en adultos. Tras el protocolo vibratorio, hallaron mejoras significativas en la fuerza en extensión de rodilla y en flexión plantar comparado con el CG. De manera interesante, nuestros resultados revelan un incremento en

flexión plantar, eversión e inversión en WBVG después de 24 semanas de entrenamiento. No se ha encontrado ningún estudio en relación a las ganancias de fuerza en dorsiflexión de tobillo a través del entrenamiento WBV. En participantes sanos y físicamente activos, Martínez et al. (237) no encontraron cambios significativos en el mecanismo de respuesta refleja después de 6 semanas de entrenamiento con vibración en ninguno de los músculos del tobillo involucrados (peroneo largo, peroneo corto y tibial anterior). También, Melnyk et al. (238) no observaron cambios en la actividad refleja del peroneo largo y del tibial anterior tras 4 semanas de entrenamiento WBV en 26 participantes jóvenes (edad: 25.6 ± 2.5 años). Sin embargo, en un estudio previo, encontramos incrementos en la fuerza durante la eversión y la inversión en mujeres postmenopáusicas (70). Investigaciones anteriores han informado que las ganancias de fuerza a través de WBV son el resultado del “reflejo tónico vibratorio”, provocando cambios en la longitud del músculo que estimula los husos musculares (264). La literatura muestra que el estímulo vibratorio genera mayores adaptaciones en los grupos musculares más cercanos a la plataforma vibratoria (74). Por otra parte, varios autores han sugerido que el entrenamiento WBV activa las fibras de contracción rápida, que son las responsables de las acciones explosivas y producen mayores valores de fuerza (72). Esto explicaría el aumento de la fuerza observada en el presente estudio, cuando ésta se genera a altas velocidades ($120^\circ \cdot s^{-1}$ y $270^\circ \cdot s^{-1}$).

En cuanto a las ganancias de fuerza, MTG mostró incrementos significativos en los extensores de rodilla a $60^\circ \cdot s^{-1}$ y $270^\circ \cdot s^{-1}$. También, hubo un aumento en flexión plantar e inversión en MTG a ambas velocidades. La fuerza en dorsiflexión y eversión de tobillo mejoró a $60^\circ \cdot s^{-1}$ en MTG. Kang et al. (265) analizaron el impacto de un protocolo que combinaba ejercicios de equilibrio, de fuerza y estiramientos durante 4 semanas en mujeres de edad avanzada. Las participantes del grupo experimental vieron mejorada de forma significativa la fuerza tanto del tren superior como del inferior. Hasta donde sabemos, solo un estudio ha investigado las ganancias de fuerza isocinética de la musculatura del tobillo a través de los programas de MT e informaron que un protocolo de 12 semanas de ejercicio aeróbico y drop jumps fue capaz de mejorar la fuerza isocinética para los movimientos de eversión e inversión en mujeres

postmenopáusicas (70). En el presente trabajo, los valores de fuerza isocinética reflejan resultados positivos en flexión plantar, dorsal, eversión e inversión. El incremento de la fuerza en dorsiflexión se podría justificar por la posición que adopta el tobillo para amortiguar el impacto como consecuencia de los drop jumps. La mejora en el movimiento de flexión plantar puede ser debida a la acción que adopta la articulación del tobillo al caminar.

En conclusión, en mujeres postmenopáusicas sanas, 24 semanas de entrenamiento WBV y MT producen resultados positivos en la MG total. Este descenso podría atenuar el riesgo de obesidad en esta población. Además, se produjeron incrementos significativos en la fuerza muscular de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores de la articulación del tobillo. Esta mejora de la fuerza del tren inferior podría reducir el riesgo de caídas y fracturas en mujeres mayores. Los cambios fueron similares en los dos grupos experimentales, por lo que no se puede concluir que un entrenamiento sea mejor que el otro. Por tanto, se hace necesario más investigaciones que confirmen estos resultados, donde se pueda explorar la carga más favorable y tratar los síntomas de la postmenopausia.

Las principales limitaciones del estudio actual fueron: 1) la elevada muerte experimental durante las 24 semanas, viéndose así reducido el tamaño de la muestra; 2) una medición más específica de la DMO (columna lumbar y cuello del fémur); y 3) la falta de evaluaciones relacionadas con actividades de la vida cotidiana.

X – ESTUDIO N° 6

X. ESTUDIO N° 6:

EFFECTS OF 24 WEEKS OF WHOLE-BODY VIBRATION VERSUS MULTI-COMPONENT TRAINING ON REGIONAL BONE MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

EFFECTOS DE 24 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO VIBRATORIO VERSUS ENTRENAMIENTO MULTI-COMPONENTE SOBRE LA MASA ÓSEA REGIONAL EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIZADO

10.1. INTRODUCCIÓN

Debido a que la esperanza de vida ha aumentado en los últimos años en la población mundial, también se produce un aumento en la prevalencia de patologías crónicas en los ancianos (1). Entre ellas, la osteoporosis y las consecuentes fracturas inducidas conllevan a importantes problemas de salud, como la osteoporosis (181). El número estimado de fracturas osteoporóticas en todo el mundo es de aproximadamente 9.0 millones por año, de las cuales el 61% corresponden a mujeres (49). Aunque todos los huesos son susceptibles, las fracturas del cuello del fémur, columna lumbar y muñeca representan las zonas más comunes (60). Las fracturas de cadera se producen en gran medida debido a una baja densidad mineral ósea (DMO) y son las que muestran consecuencias físicas más graves en comparación con el resto de fracturas óseas (60). Se prevé alrededor de 2.6 millones de fracturas de cadera en 2025 (266). Después de la transición menopáusica, la pérdida del efecto protector del estrógeno sobre la estructura del esqueleto intensifica la disminución de la densidad ósea, que resulta en un desequilibrio repentino entre la reabsorción y la formación de hueso (66).

Se ha actuado contra la baja densidad ósea en las mujeres a través de una diversa gama de tratamientos preventivos de naturaleza farmacológica, como la suplementación de calcio y la vitamina D, bifosfonatos, calcitonina, teripatida y terapia de reemplazo hormonal, entre otros. Sin embargo, los ensayos que examinan su utilidad han encontrado hallazgos contradictorios y posibles efectos secundarios a largo plazo (66). Como alternativa a las intervenciones con fármacos y como una estrategia fácilmente disponible para la población, se ha demostrado que el estilo de vida activo es eficaz para mejorar y mantener las propiedades de los huesos, teniendo así una repercusión positiva en la calidad de vida (69).

Hay una dilatada bibliografía que corrobora que el entrenamiento tradicional de fuerza aumenta los niveles de DMO en la columna vertebral y el cuello femoral a causa de la carga mecánica que provoca sobre el esqueleto durante las sesiones de entrenamiento (109). No obstante, el efecto sobre el hueso en respuesta al entrenamiento difiere entre grupos de edad y sexo. De hecho, Basse et al. (267) compararon los efectos de un protocolo de ejercicio de salto en la DMO en mujeres premenopáusicas y postmenopáusicas. Después de 5 meses de entrenamiento, encontraron aumentos significativos en la masa ósea del cuello del fémur en las mujeres premenopáusicas, mientras que no se observaron cambios en las postmenopáusicas. Otro estudio examinó el impacto de un programa de ejercicio de alta intensidad con peso libre en la masa ósea en hombres y mujeres. Se produjo un aumento en la DMO de la columna vertebral y del trocánter en hombres mayores sanos, sin embargo no hubo incremento en el grupo de mujeres (268). Esto sugiere que las mujeres necesitan un entrenamiento con una duración más extensa para obtener aumentos significativos en la masa ósea (268) y, que después del periodo de la menopausia, las mejoras en la masa ósea están más condicionadas. Es por ello que se requieren más investigaciones sobre cómo se adapta el hueso al entrenamiento de fuerza en mujeres postmenopáusicas.

Recientemente, el entrenamiento multi-componente (el término en inglés: multi-component training, MT) ha surgido como un método de entrenamiento dirigido, en particular, al desarrollo de la masa ósea (107, 269). Este tipo de

entrenamiento consiste en la combinación de diferentes modalidades de ejercicio. Estudios previos con MT han mostrado que el ejercicio aeróbico de alto impacto con entrenamiento de fuerza es efectivo en la mejora de la masa ósea en adultos mayores (69, 193). Sin embargo, no hay acuerdo en la literatura sobre los efectos positivos del MT en mujeres postmenopáusicas (70, 71, 194). En este sentido, Tolomio et al. (200) demostraron un mayor T-score del cuello femoral y un aumento de la capacidad funcional en mujeres postmenopáusicas después de 11 meses de MT, que incluía ejercicios de fuerza, aeróbicos, de equilibrio y movilidad articular. Multanen et al. (199) encontraron incrementos en el contenido mineral óseo (CMO) del cuello del fémur, pero no observaron cambios en la columna lumbar después de 12 meses de entrenamiento aeróbico y ejercicios de salto.

Otro entrenamiento neuromuscular al que se le ha prestado atención en la literatura en los últimos años para la mejora de la masa ósea es el entrenamiento vibratorio (el término en inglés Whole-body vibration, WBV), que se caracteriza por la transmisión de oscilaciones mecánicas sinusoidales (153). En esta modalidad de entrenamiento, el sujeto permanece sobre la plataforma vibratoria manteniendo una posición estática o realizando ejercicios dinámicos de manera que el estímulo vibratorio se transmite a través de la cadena cinemática a todo el cuerpo (173). La respuesta del sistema esquelético al entrenamiento WBV produce un efecto anabólico en el tejido óseo (100), es decir, se produce un aumento de la masa ósea después de este tipo de entrenamiento (101). Se sabe que la vibración genera micro traumatismos en el hueso que posteriormente son restaurados por las células osteoblásticas (102). Algunos estudios han examinado los efectos del entrenamiento WBV en los niveles óseos (70, 93, 270). Zaki et al. (271) realizaron un estudio de 8 meses de entrenamiento WBV (10 series de 1 min de vibración y una frecuencia de 16 Hz, 3 veces por semana) y mostraron mejoras significativas en la masa ósea de la columna lumbar en mujeres postmenopáusicas obesas después del entrenamiento (271). Por el contrario, en un meta-análisis llevado a cabo por Slatkovska et al. (174) se observó un efecto positivo significativo del entrenamiento WBV en la DMO de la cadera, pero no en la columna lumbar.

Teniendo en cuenta la controversia con respecto al potencial osteogénico de estos protocolos de entrenamiento y dado que el cuello femoral y la columna lumbar son dos de las áreas más sensibles de fractura, los objetivos de este estudio fueron investigar el efecto de 24 semanas de entrenamiento WBV y MT sobre la masa ósea de la columna lumbar y del cuello femoral, y definir qué tipo de entrenamiento produce mayores adaptaciones en mujeres postmenopáusicas.

10.2. MÉTODO

10.2.1. Diseño experimental

Se realizó un ensayo controlado aleatorizado de 24 semanas, intra e inter-sujeto, con pre y post-test, y con grupo control. La distribución de la muestra fue estratificada de acuerdo a la DMO y las participantes fueron asignadas aleatoriamente en uno de los 3 grupos: WBVG (grupo de entrenamiento WBV) (n = 25), MTG (grupo de MT) (n = 25) y CG (grupo control) (n = 15). Se utilizó como método para la asignación al azar el Software Research Randomizer (Versión 4.0, Lancaster, Pennsylvania).

10.2.2. Participantes

Se reclutaron un total de 65 mujeres postmenopáusicas (considerando postmenopausia el periodo que comprende los años posteriores después del año del cese de la menstruación) voluntarias a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia. Para que las participantes fueran incluidas en el estudio, debían encontrarse al menos 3 años en periodo postmenopáusico antes del inicio de los procedimientos experimentales. Los criterios de exclusión fueron: padecer un nivel elevado de osteoporosis ($DMO < 70\text{g/cm}^2$), encontrarse en tratamiento por alguna patología que pudiera afectar a la estructura ósea y al rendimiento neuromuscular, haber sido intervenida para la implantación de prótesis ortopédicas que afectasen a las extremidades inferiores y a la columna vertebral, tener hernias discales, sufrir enfermedades oculares que afectasen a la retina, sufrir enfermedades cardiovasculares severas, sufrir de epilepsia, llevar marcapasos o material de osteosíntesis, realizar algún tipo de actividad física de

forma habitual, y/o presentar una asistencia menor al 90% de las sesiones de entrenamiento. Antes de la inclusión, todas las participantes firmaron un consentimiento informado. El diseño fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Local.

10.2.3. Densidad mineral ósea

Antes de comenzar los entrenamientos y después de las 24 semanas de tratamiento, se evaluó la DMO ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) y CMO (g) de la columna lumbar (L1-L4) y del cuello femoral izquierdo por absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) (Densitómetro XR-46, Norland Corp., Fort Atkinson, USA), usando protocolos estándar. Los sujetos fueron escaneados en posición supina. El escáner DXA se calibró antes de cada sesión de medición utilizando un espectro de columna lumbar. Los datos de masa ósea se obtuvieron por el método manual siguiendo las recomendaciones del fabricante. El coeficiente de relación intraclase fue excelente (CCI = 0.89; IC = 95 %).

10.2.4. Entrenamiento

Los grupos experimentales, WBVG y MTG, completaron las 24 semanas del periodo de entrenamiento supervisado con una frecuencia de 3 sesiones por semana, separadas por un tiempo de recuperación mínimo de 24 h. El volumen total de entrenamiento fue de 72 sesiones. Cada sesión comenzó con un calentamiento específico que consistía en 8 min de activación vegetativa sobre un cicloergómetro a una intensidad moderada, seguido de estiramientos, y movilidad articular del tren inferior. Las características y la progresión de los programas de entrenamiento se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los programas de entrenamiento.

MES	1	2	3	4	5	6	
WBVG	Series por sesión	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
	Tiempo de trabajo	45''-1'	1'	1'	1'	1'	1'
	Frecuencia (Hz)	35	35	35	40	40	40
	Amplitud (mm)	4	4	4	4	4	4
	Tiempo de descanso (min)	1	1	1	1	1	1
	Sesiones por semana	3	3	3	3	3	3
MTG	Altura del drop jump (cm)	-	5	10	15	20	25
	Tiempo de la marcha (min)	35	40	45	50	55	60
	Frecuencia Cardíaca de Reserva (%)	50	55	60	65	70	75
	Sesiones por semana	3	3	3	3	3	3

MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

10.2.4.1. Entrenamiento vibratorio (WBV)

El WBVG realizó el entrenamiento sobre una plataforma de vibración sinusoidal que generaba oscilaciones verticales (Power Plate Next Generation; Power Plate North America, Northbrook, IL, USA). Durante las sesiones, las participantes se situaron sobre la plataforma vibratoria, en bipedestación, debiendo mantener una posición estática de semi-sentadilla (con una angulación de 120° tanto para la articulación de la cadera como para la de la rodilla). Los brazos permanecieron cruzados uno sobre el otro y paralelos al suelo con una flexión de hombro de 90°. Las participantes ejecutaron flexión plantar y dorsal de tobillo a un ritmo de trabajo de 100 batidos por min cada 6 tiempos: 1 concéntrico - 0 isométrico - 5 excéntrico. Durante las 2 primeras semanas de entrenamiento, el WBVG realizó 5 series de 45 s de vibración. El volumen de entrenamiento fue incrementando por el aumento del número de series por sesión (aumentando 1 o 2 series por mes hasta finalizar con un total de 11 series durante las últimas semanas). El tiempo de recuperación fue de 60 s. Los parámetros de amplitud (4 mm) y tiempo de trabajo (60 s) se mantuvieron constantes durante las 24 semanas de entrenamiento. La carga de entrenamiento incrementó aumentando la frecuencia de vibración (35-40 Hz).

10.2.4.2. Entrenamiento multi-componente

El MTG combinó drop jumps y actividad aeróbica. Durante las 4 primeras semanas de protocolo, se realizaron pequeños saltos reactivos (sin flexión de rodilla y de cadera). En las sesiones restantes, las participantes realizaron drop jumps, cuyas alturas iban aumentando progresivamente, comenzando por una altura de 5 cm y terminando con 25 cm al final del programa de entrenamiento (incrementos de 5 cm cada mes). Las series aumentaron de 4 x 10 drop jumps a 6 x 10. Los drop jumps fueron los mismos cada mes, pero la progresión de la carga (impuesta por la altura) fue ondulatoria (la carga se incrementaba durante 3 semanas y disminuía durante una semana). El ejercicio aeróbico tenía lugar tras la realización de los drop jumps. La carga de trabajo fue progresiva a lo largo de las 24 semanas. Los sujetos andaban a una intensidad de 50-75% de la Frecuencia Cardíaca de Reserva y un volumen entre 30-60 min. La intensidad de trabajo se estableció por medio de la velocidad de la marcha, tras la ejecución de un test inicial con pulsómetro previo al comienzo del periodo de entrenamiento.

10.2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS, versión 19.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE.UU.) en el entorno de Windows. Se realizó un análisis descriptivo al detalle y se analizaron las características de la muestra de estudio. Se realizó el estadístico chi-cuadrado para analizar la homogeneidad de la muestra (número de participantes).

Para el análisis inferencial, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la distribución de la muestra y la prueba de rachas para verificar que la muestra era aleatoria, es decir, si las sucesivas observaciones eran independientes. Con el fin de determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas para toda la muestra (Modelo Lineal General). Si existieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para el factor tiempo ANOVA, se realizaron medidas repetidas para cada grupo con el fin de diferenciar entre el pre y el post-test. Si aparecieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para el tiempo \times grupo, se realizó un

ANOVA y el test post hoc de Tukey para ver si había diferencias significativas entre los grupos. El tamaño del efecto (ES) de la intervención se calculó utilizando la *d* de Cohen (272). Los ES se consideraron insignificantes (< 0.2), pequeños (0.2-0.5), moderados (0.5-0.8) y grandes (> 0.8).

10.3. RESULTADOS

Un total de 38 mujeres completaron el programa. Por tanto, los datos se basan en la siguiente muestra: WBVG (n = 15), MT (n = 13) y CG (n = 10). No se detectaron diferencias significativas en relación al número de participantes entre los grupos. Las características de las participantes que completaron todos los test, se pueden observar en la Tabla 2. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de los sujetos en el ensayo. Veintisiete mujeres se retiraron del periodo de entrenamiento durante el estudio. Ninguno de los abandonos se produjo como resultado de lesiones o respuestas adversas al tratamiento.

Tabla 2. Datos descriptivos de los participantes (media \pm SD).

Variable	WBVG (n = 15)	MTG (n = 13)	CG (n = 10)	Total (n = 38)
Edad (años)	59.6 (5.9)	58.4 (7.4)	62.4 (5.1)	60.0 (6.3)
Altura (cm)	154.1 (4.3)	155.8 (7.0)	155.4 (3.6)	155.0 (4.9)
Masa corporal (Kg)	77.1 (13.5)	71.5 (9.9)	72.6 (10.0)	74.0 (11.5)
IMC (kg·m ⁻²)	31.4 (5.7)	29.7 (3.7)	29.4 (4.8)	30.3 (4.8)

CG = grupo control; IMC = índice de masa corporal; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

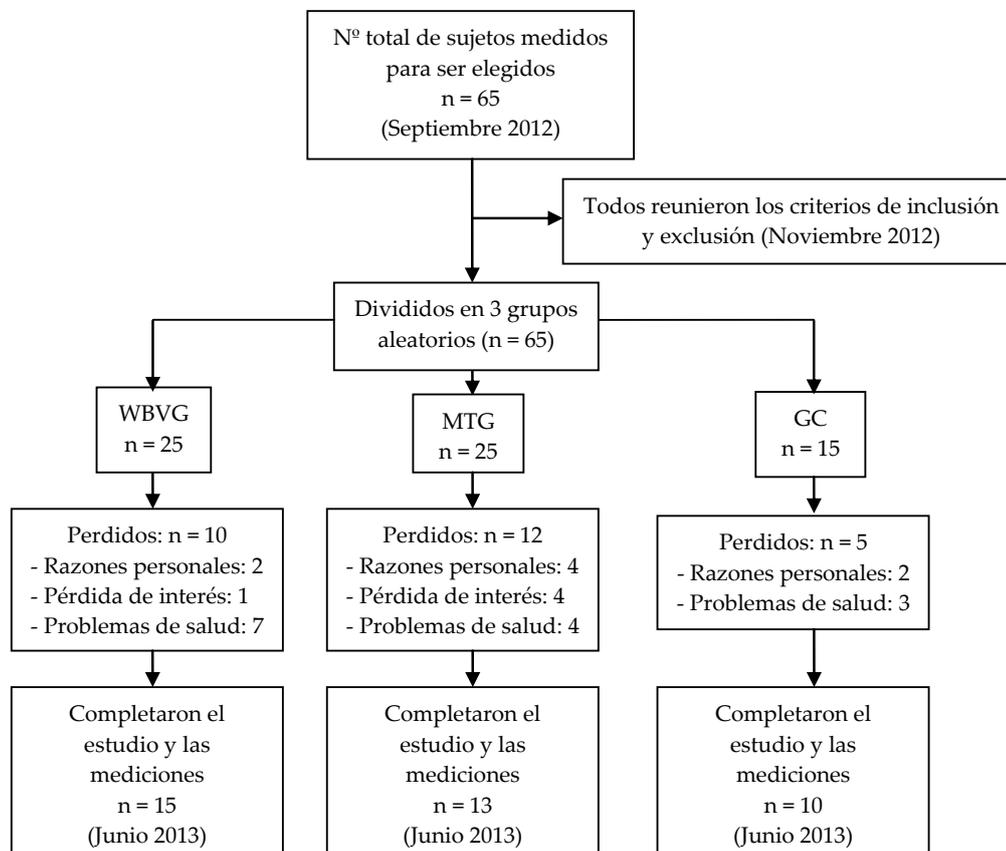


Figura 1. Diagrama de flujo; CG = grupo control; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

10.3.1. Densidad mineral ósea

Después de 24 semanas de entrenamiento, se observó un aumento significativo del 5% de la DMO de la columna lumbar en WBVG ($p = 0.042$; ES = 0.24) (Tabla 3). También se encontró una tendencia hacia mejoras significativas pre-post en la DMO de la columna lumbar MTG ($p = 0.059$; ES = 0.17). Con respecto al CMO de la columna lumbar, no hubo cambios significativos entre pre y post-test en los grupos experimentales (WBVG: $p = 0.244$; ES = 0.39; y MTG: $p = 0.243$; ES = 0.38).

Los programas de entrenamiento no produjeron ningún efecto estadístico sobre la DMO del cuello femoral (WBVG: $p = 0.296$; ES = 0.06; y MTG: $p = 0.935$; ES = 0.0) y CMO (WBVG: $p = 0.522$; ES = 0.04; y MTG: $p = 0.416$; ES = 0.08) en comparación con los valores basales (Tabla 3).

No se encontraron diferencias significativas en CG entre pre y post-test en ninguna de las mediciones de hueso. No hubo cambios significativos pre-post de los parámetros óseos en columna lumbar y cuello femoral entre los grupos (Figura 2).

Tabla 3. Cambios en los parámetros óseos (media \pm SD).

		95 % IC								
		Pre	SD	Post	SD	ES	p	MD (I-f)	Límite Inferior	Límite Superior
WBVG (n = 15)										
Columna Lumbar	DMO (g/cm ³)	1.00	0.20	1.05	0.22	0.24	0.042*	-0.047	-0.091	-0.002
	CMO (g)	57.32	11.90	62.26	19.15	0.39	0.244	-4.947	-12.191	2.298
Cuello Femoral	DMO (g/cm ³)	0.82	0.16	0.81	0.12	0.06	0.296	0.012	-0.011	0.035
	CMO (g)	2.44	0.43	2.42	0.37	0.04	0.522	22.20	-47.501	91.901
MTG (n = 13)										
Columna Lumbar	DMO (g/cm ³)	0.94	0.17	0.97	0.17	0.17	0.059*	-0.026	-0.075	0.022
	CMO (g)	56.32	11.33	60.87	12.19	0.38	0.243	-4.553	-12.335	3.229
Cuello Femoral	DMO (g/cm ³)	0.89	0.12	0.89	0.12	0.00	0.935	0.001	-0.024	0.026
	CMO (g)	2.58	0.35	2.55	0.38	0.08	0.416	30.385	-44.486	105.256
CG (n = 10)										
Columna Lumbar	DMO (g/cm ³)	0.91	0.15	0.90	0.19	0.06	0.660	0.012	-0.043	0.067
	CMO (g)	50.69	11.39	50.42	11.38	0.02	0.263	-4.975	-13.847	3.397
Cuello Femoral	DMO (g/cm ³)	0.86	0.11	0.84	0.11	0.17	0.236	0.017	-0.011	0.045
	CMO (g)	2.50	0.33	2.47	0.35	0.09	0.374	37.900	-47.466	123.266

CG = grupo control; CI = Intervalo de Confianza para la Diferencia; CMO = contenido mineral óseo; DMO = densidad mineral ósea; ES = tamaño del efecto; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

*Diferencia estadísticamente significativa entre pre y post-test ($p \leq 0.05$).

-Tendencia pre-post a la significación.

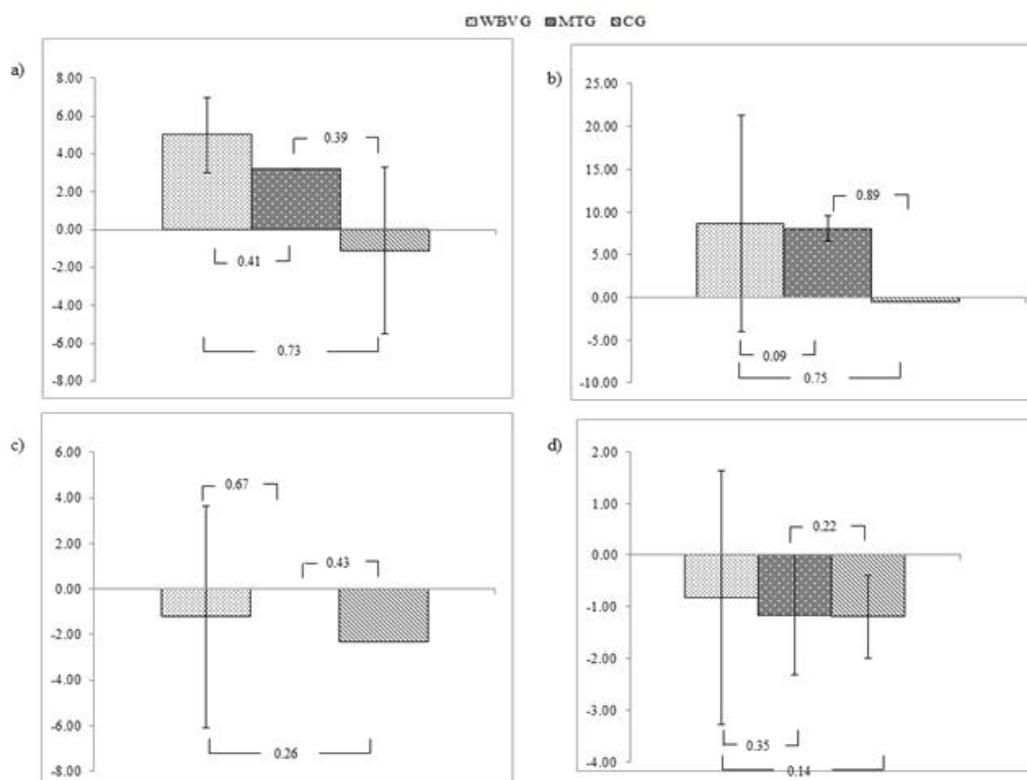


Figura 2. Porcentaje de cambio en la masa ósea y comparación del tamaño del efecto entre grupos. a) DMO de la columna lumbar; b) CMO de la columna lumbar; c) DMO del cuello del fémur; d) CMO del cuello del fémur. Las barras indican SD. CG = grupo control; CMO = contenido mineral óseo; DMO = densidad mineral ósea; MTG = grupo de entrenamiento multi-componente; WBVG = grupo de entrenamiento vibratorio.

10.4. DISCUSIÓN

Este estudio se realizó para determinar los efectos de 24 semanas de dos entrenamientos diferentes, WBV y MT, sobre la DMO de la columna lumbar y el cuello femoral en mujeres postmenopáusicas. Los principales hallazgos indican que el entrenamiento con vibraciones es efectivo para aumentar la DMO en la columna lumbar y que, a pesar de que no se encontraron diferencias significativas pre-post con el MT, se identificó una tendencia a la significación para este entrenamiento. No hubo cambios significativos en la DMO de la columna lumbar entre WBVG y CG, pero se obtuvo un ES moderado (ES = 0.73). Además, entre

MTG y CG, los valores post-intervención no fueron significativos y el ES fue pequeño (ES = 0.39). En relación a la masa ósea del cuello del fémur, no se obtuvieron cambios pre-post significativos en los dos grupos de entrenamiento. Tampoco hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales y CG.

El presente estudio mostró que la DMO de la columna lumbar incrementó significativamente después del entrenamiento WBV (5-11 min; 35-40 Hz; 4 mm; 3 días a la semana). Estos resultados son similares a los encontrados por Lai et al. (156), quienes mostraron un aumento significativo del 2% en la DMO de la columna lumbar tras 24 semanas de entrenamiento WBV (5 min; 30 Hz, 3.2 g, 3 veces por semana) en mujeres postmenopáusicas. De igual manera, Beck y Norling (138) observaron que el entrenamiento WBV de baja intensidad (15 min; 30 Hz, 0.3 g) o de alta intensidad (6 min; 12.5 Hz; 1 g), compuesto por ejercicios estáticos, 2 veces por semana, mantuvo constantes los parámetros de masa ósea en comparación con el CG, los cuales mostraron una pérdida ósea en el trocánter (-6%, $p = 0,03$) y en la columna lumbar (-6.6%, $p = 0.02$). Sin embargo, Bemben et al. (273) no encontraron cambios en la columna lumbar, el fémur proximal y el metabolismo óseo del antebrazo después de un programa de 8 meses de entrenamiento WBV (1-3 series de 15-60 s; 30-40 Hz; 2-4 mm) en el que se realizaban movimientos dinámicos durante la vibración junto con entrenamiento de fuerza en mujeres postmenopáusicas. Al establecer una comparación entre los protocolos de entrenamiento WBV, parece que las mejoras en la masa ósea se pueden asociar con duraciones de sesión más prolongadas. Se ha comprobado que una dosis acumulada (tiempo total en el que los participantes están sobre la placa vibratoria) a lo largo de la intervención sobre los 1000 min se correlaciona con resultados positivos en la DMO (93).

En cuanto a la DMO del cuello femoral, no se obtuvieron diferencias significativas tras WBV. No obstante, algunos estudios también han encontrado hallazgos positivos con el entrenamiento WBV (92, 158). Verschueren et al. (92) observaron los efectos de un protocolo de WBV con ejercicios estáticos y dinámicos de extensores de rodilla (35-40 Hz, 2.28-5.09 g) y encontraron un aumento significativo del 0.9% en la DMO de la cadera. Rubin et al. (90) consiguieron un aumento del 2.2% y 1.5% en la DMO del cuello femoral y de la columna vertebral, respectivamente, en mujeres postmenopáusicas después de un

programa de entrenamiento WBV de 13 meses (30 Hz; 0.2 g; 2 sesiones de 10 min al día; 86% de cumplimiento). En nuestro trabajo, la DMO lumbar incrementó después del entrenamiento WBV, pero no hubo diferencias significativas en el cuello del fémur. Algunos estudios han mostrado la efectividad del entrenamiento WBV en la DMO depende de un conjunto de variables, que podrían justificar la discrepancia en la literatura. Por ejemplo, parece que la mecanotransducción puede tener un efecto diferente entre las regiones del cuerpo debido a la no linealidad del sistema músculo-esquelético, así como por las diversas posiciones del cuerpo utilizadas en la plataforma vibratoria (165, 173). La ausencia de mejora en la DMO del cuello del fémur en el presente estudio puede explicarse debido a la postura erguida adoptada a través de la cual la vibración se transmite a lo largo del eje longitudinal del cuerpo. Mientras que la columna lumbar se encuentra alineada con la dirección de la vibración, el cuello femoral recibe la vibración con un ángulo dado. Por lo tanto, la zona lumbar probablemente recibió un mayor estímulo de vibración en comparación con el cuello del fémur, logrando así un efecto más fuerte en las células óseas (158). Al aplicar programas de entrenamiento WBV, parece que una mayor frecuencia de vibración, entre 20 Hz y 50 Hz, proporciona un estímulo de entrenamiento más intenso que puede ser transferido a la columna vertebral (156) y la cadera (158, 165).

En relación al MTG, la DMO de la columna lumbar mostró una tendencia creciente a la significación (3.2%) a las 24 semanas ($p = 0.059$). Aunque no se observaron cambios significativos en el cuello femoral, la DMO se mantuvo. Varios estudios han evaluado el efecto del MT sobre el aumento de la masa ósea y la mejora de la osteoporosis en mujeres postmenopáusicas. Marques et al. (151) indicaron que 32 semanas de MT progresivo (2 sesiones por semana) consistente en ejercicios de sobrecarga (marcha estática, ejercicios en step y caídas de talón), ejercicios de resistencia muscular, equilibrio y agilidad, aumentaron la DMO del cuello femoral en mujeres mayores. En esta línea, Kemmler et al. (193) demostraron que 18 meses de entrenamiento de alta intensidad (combinando ejercicios aeróbicos y de fuerza, 4 días/semana) mejoró la DMO de la columna lumbar y del cuello del fémur en mujeres (68.9 años) comparado con un programa general de bienestar. En comparación con la presente investigación, Marques et al. (151) y Kemmler et al. (193) utilizaron un periodo de entrenamiento mayor y

combinaron entrenamiento de fuerza con aeróbico en sus programas de MT, que parecen ser los tipos de entrenamiento más útiles para aumentar o prevenir la pérdida de masa esquelética durante el proceso de envejecimiento (69). Además, en nuestro estudio, la falta de mejora significativa en la masa ósea del cuello femoral puede ser atribuible a niveles basales de DMO más elevados. La respuesta del esqueleto al entrenamiento parece depender de los valores basales de DMO (174), pudiéndose obtener mayores ganancias si los datos iniciales son más bajos (109, 156). En consecuencia, los estudios que incluyen mujeres con diferentes valores de DMO (es decir, con valores saludables, con osteopenia u osteoporosis) podrían explicar la variabilidad entre sus resultados. A pesar de que se necesitan más ensayos para estudiar los protocolos de MT enfocados específicamente en las regiones de fractura más predispuestas, como son la columna vertebral y el cuello femoral, la variedad de los métodos de entrenamiento también puede justificar las discrepancias observadas entre los estudios.

Aunque se encontraron cambios pre-post en la DMO de la columna lumbar después del entrenamiento WBV, no hubo diferencias significativas en los parámetros óseos entre los grupos de entrenamiento. Por lo tanto, no se puede afirmar que WBV es mejor que MT, o viceversa. Sin embargo, el hecho de que se obtuviera una tendencia creciente a la significación tras MT en la DMO de la columna lumbar se podría considerar como un resultado prometedor que nos permite especular que ambos protocolos de entrenamiento, WBV y MT, pueden ser una opción adecuada para promover adaptaciones positivas en la masa ósea en mujeres postmenopáusicas.

Se hace necesario realizar una reflexión sobre las posibles limitaciones del presente estudio, las cuales se abordan a continuación: 1) el tamaño de la muestra final fue pequeño debido a los altos retiros experimentales; y 2) el hecho de que las intervenciones de MT hayan utilizado diferentes métodos de entrenamiento hace que sea difícil la comparación entre los estudios, lo que podría explicar la inconsistencia de los hallazgos.

En conclusión, este estudio muestra que 24 semanas de entrenamiento WBV supervisado puede ser eficaz en la mejora de la DMO de la columna vertebral lumbar en mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, MT no produjo incrementos

significativos en la masa ósea. Como no hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales, no se puede determinar qué protocolo de entrenamiento es mejor. No obstante, nuestros resultados son alentadores, ya que la DMO de la columna lumbar mejoró con el entrenamiento WBV, lo que demuestra que este tipo de entrenamiento puede contrarrestar la rápida pérdida de masa ósea después del cese de la menstruación. El entrenamiento WBV puede ser una buena estrategia a utilizar en mujeres postmenopáusicas, donde los beneficios pueden lograrse con menos tiempo que el empleado en otros modos de entrenamiento, y el cumplimiento en personas inactivas, puede ser mayor. No obstante, se necesitan protocolos de entrenamiento específicos para mejorar la masa ósea y prevenir fracturas, ya que la regulación óptima de las características de vibración puede generar un buen efecto osteogénico sobre la densidad ósea en mujeres postmenopáusicas.

**XI – RESUMEN Y
DISCUSIÓN DE LOS
RESULTADOS**

XI. RESUMEN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los objetivos principales de esta relación de estudios fueron analizar los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento, vibratorio y multi-componente, sobre la composición corporal y la fuerza del tren inferior, y determinar qué entrenamiento produce mayores adaptaciones en mujeres postmenopáusicas.

El objetivo del Estudio nº 1 fue revisar la literatura existente en relación al efecto del entrenamiento WBV sobre la MM en mujeres postmenopáusicas, así como comprobar posibles protocolos de entrenamiento más efectivos. El meta-análisis mostró que el entrenamiento WBV no produce el estímulo suficiente para la hipertrofia del músculo esquelético en esta población ($p = 0.64$). Sin embargo, estos resultados deben ser tomados con cautela debido al bajo tamaño de la muestra y a la alta heterogeneidad entre los programas de entrenamiento WBV de los estudios incluidos. Varios autores proponen que el aumento de MM se produce a causa de una respuesta hormonal inducida por la vibración (75, 78, 88, 142-144). Las reacciones endocrinas provocadas por el ejercicio pueden definir el efecto del entrenamiento (142). Se han observado incrementos con el entrenamiento WBV en la concentración de testosterona (75), hormona del crecimiento (75, 78, 88) catecolaminas (143), aumento en la síntesis proteica (144) y disminución de cortisol (75, 88). La baja producción de estas hormonas en mujeres postmenopáusicas podría justificar la ausencia de mejora de la masa muscular después del entrenamiento WBV. Debido a los cambios hormonales propios de la menopausia (incrementos en interleucina-6 y en el factor de necrosis tumoral- α , y descensos en estrógeno, estrona, dehidroepiandrosterona (DHEA), tiroxina, progesterona y lipoproteína lipasa) se produce un aumento de la grasa intramuscular, mientras que las fibras musculares tipo II y el número de receptores de estrógenos se ven disminuidos (116). Además, cabe la posibilidad de que las mujeres postmenopáusicas tengan una mayor resistencia anabólica (145), lo que conlleva a una incapacidad del músculo esquelético para mantener una adecuada síntesis proteica debido a un menor anabolismo y a una mayor rotura de las proteínas musculares (146).

El Estudio nº 2 tuvo como objetivos analizar el efecto del entrenamiento WBV sobre la masa ósea en mujeres postmenopáusicas e identificar posibles factores moderadores potenciales que expliquen qué variables son las que indican más en las adaptaciones de este tipo de entrenamiento. El meta-análisis mostró que la vibración no genera beneficios significativos sobre la DMO total ($p = 0.98$; SMD = 0.0) o del cuello del fémur ($p = 0.44$; SMD = 0.01) en mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, se determinó que este método de entrenamiento es eficaz para mejorar la DMO de la columna lumbar ($p = 0.03$; SMD = 0.02). La edad y la postmenopausia son factores que determinan la pérdida de masa ósea. Con el fin de examinar cómo la pérdida de DMO evoluciona durante la fase postmenopáusica, se incluyó un subgrupo en el que se analizaron los estudios cuya muestra estuvo compuesta por mujeres postmenopáusicas menores de 65 años. Así, se encontraron diferencias significativas en la DMO del cuello del fémur entre los grupos de intervención y control ($p = 0.03$; SMD = 0.01).

Según los datos obtenidos en el Estudio nº 2, entre las variables que han mostrado ser modificadoras del efecto del entrenamiento vibratorio sobre la masa ósea, se encuentra el número total de sesiones de entrenamiento WBV. Se observó un efecto significativo pre-post en la DMO de la columna lumbar, independientemente del número total de sesiones. No obstante, se encontraron diferencias significativas en la DMO de la columna lumbar entre los subgrupos que realizaban 108 sesiones o más de entrenamiento WBV ($p = 0.00001$). Los resultados indicaron que los incrementos en la masa ósea después del entrenamiento WBV eran independientes de la frecuencia y la amplitud de vibración, pero se encontró que la DMO de la columna lumbar incrementó tras el entrenamiento WBV con frecuencias superiores a 20 Hz ($p = 0.04$; SMD = 0.02) y amplitudes mayores a 5 mm ($p = 0.05$; SMD = 0.02) u 8 g ($p = 0.04$; SMD = 0.02). Estos resultados coinciden con los de otros investigadores quienes afirman que frecuencias inferiores a 20 Hz no proporcionan un estímulo de entrenamiento suficiente (163, 164). Con respecto a la duración del entrenamiento y de las sesiones, no hubo diferencias significativas en la masa ósea. Sin embargo, se identificó una tendencia a la significación ($p = 0.06$) en la DMO de la columna lumbar con sesiones de mayor duración (≥ 600 s). Tampoco se observaron cambios significativos sobre el tipo de ejercicio (estático o dinámico) entre los subgrupos. Sin embargo, los estudios que incluyeron ejercicios estáticos

produjeron efectos positivos en la DMO de la columna lumbar después del entrenamiento WBV en comparación con los protocolos de entrenamiento dinámico/mixto, que no mostraron cambios. En la misma línea, trabajos anteriores no encontraron diferencias en la DMO de la columna lumbar tras 24 semanas de entrenamiento WBV realizando ejercicios estáticos y dinámicos de los extensores de rodilla (92). Por otro lado, von Stengel et al. (160) demostraron un aumento en la DMO de la columna lumbar después de 12 meses de entrenamiento WBV realizando ejercicios dinámicos en sentadilla en mujeres postmenopáusicas. Por lo tanto, no está claro si el tipo de ejercicio (estático o mixto) en el entrenamiento WBV afecta a la masa ósea de manera diferente y se necesitan más estudios para identificar qué tipo de ejercicio es más eficaz para mejorar la salud ósea en esta población.

El aumento de la masa ósea siguiendo programas de entrenamiento WBV puede depender de un conjunto de factores que podrían haber interactuado unos con otros, tales como la frecuencia, la amplitud y los periodos de descanso (100). La variabilidad en la metodología de los protocolos de vibración entre los estudios incluidos en el meta-análisis puede explicar los resultados contradictorios. Además, se ha sugerido que la mecanotransducción varía según las regiones del cuerpo debido a la no linealidad del sistema músculo-esquelético, así como por el uso de diferentes posiciones adoptadas durante el entrenamiento vibratorio (165, 173). Por lo tanto, esto podría justificar las diferencias entre el efecto del entrenamiento en el cuello del fémur y en la columna lumbar en base a la cantidad de estímulos que recibe la región. La discrepancia en la comunidad científica también se puede deber a las diferencias en los tamaños de la muestra entre los estudios incluidos (174).

Este meta-análisis demostró que el entrenamiento WBV se considera una posible intervención no farmacológica para mejorar la masa ósea en mujeres postmenopáusicas, particularmente en la columna lumbar. El entrenamiento WBV podría ser utilizado junto con otros métodos de entrenamiento para minimizar la pérdida de la DMO en mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, todavía se necesitan más estudios para definir el protocolo óptimo en esta población.

En cuanto al Estudio nº 3, correspondiente a una revisión sistemática acerca de la efectividad de los programas de MT sobre la masa muscular y ósea en diferentes regiones corporales en mujeres postmenopáusicas y mayores, los hallazgos encontrados fueron de alguna manera contradictorios. Algunos de los estudios incluidos indicaron que la combinación de diferentes intervenciones de entrenamiento produce incrementos en la masa muscular (70, 112, 197) y ósea (111, 112, 151, 199-202, 205), mientras que otras investigaciones informaron que el MT no genera cambios significativamente mayores en músculo (71, 111, 113, 151, 201, 202) y hueso (70, 71, 198, 203, 204) en estas poblaciones.

No obstante, aunque se debe seguir trabajando con el fin de aclarar cuál es el protocolo de MT (tipos de entrenamientos, intensidad y duración) que consigue alcanzar los mejores resultados sobre la masa muscular y ósea en mujeres postmenopáusicas y mayores, aquellos programas de ejercicio que combinan fuerza, ejercicios con sobrecarga, entrenamiento aeróbico y de alto impacto (112, 192, 197) parecen ser los más útiles para aumentar o prevenir la pérdida de masa muscular y esquelética durante el envejecimiento en mujeres. Esto es debido posiblemente a que el entrenamiento aeróbico aumenta la síntesis de proteínas (206) y el entrenamiento con sobrecargas es esencial para producir hipertrofia en las fibras musculares (207). Los estudios con MT que incorporaron entrenamiento con sobrecargas utilizaron intensidades elevadas (70-80% de 1RM) con 2-3 series por ejercicio y sesión (70, 192, 197). A pesar de que algunos estudios obtuvieron mejoras en la masa ósea después de 6 meses, parece que los programas de MT con más de un año encontraron mayores adaptaciones. La heterogeneidad en los métodos de MT, las diferencias en la intensidad y duración, edad y características de las participantes o las regiones anatómicas analizadas, podrían ser la causa de los resultados dispares entre los estudios.

Después de la revisión bibliográfica en relación a los efectos del entrenamiento WBV y el MT sobre la composición corporal en mujeres postmenopáusicas (Estudios nº 1, 2 y 3) y viendo la necesidad de seguir investigando tanto los efectos como el protocolo de entrenamiento capaz de generar las mayores adaptaciones en esta población, se plantearon los Estudios nº 4, 5 y 6. Además, en estos estudios también se valoró la fuerza al ser considerada

como uno de los factores determinantes en la pérdida de masa muscular producida con la edad.

Con el objetivo de analizar las posibles adaptaciones en la composición corporal tras la aplicación de los entrenamientos WBV y MT se evaluó el contenido graso, magro y óseo (Estudios nº 4 y 5). Con respecto a la MG, se encontraron diferencias significativas entre pre y post a las 12 semanas (Estudio nº 4) en la MG total (WBVG: $p = 0.001$; y MTG: $p = 0.026$) en los dos grupos experimentales y a las 24 semanas (Estudio nº 5) solo en MTG ($p = 0.009$). Se produjo un incremento significativo en la MG total en el CG ($p = 0.041$) entre pre y post-test a las 24 semanas. Se observó un descenso significativo en % de grasa corporal solo en WBVG a las 12 semanas ($p = 0.001$) y a las 24 semanas ($p = 0.044$). Se encontraron diferencias significativas entre WBVG y CG en MG total a las 12 semanas ($p = 0.001$) y a las 24 semanas ($p = 0.028$). También se hallaron diferencias entre MTG y CG ($p = 0.001$) a las 24 semanas. Resultados similares encontraron Fjeldstad et al. (73), quienes concluyeron que 8 meses de entrenamiento WBV reduce la MG total en mujeres postmenopáusicas. Por el contrario, Roelants et al. (84) no observaron cambios en la grasa corporal con un programa de vibración de 24 semanas, 3 sesiones por semana, en mujeres. A pesar de la existencia de resultados contradictorios, los cambios en la MG en los Estudios nº 4 y 5 se podrían deber a la inhibición de la adipogénesis, el aumento en el gasto de energía y de la masa muscular (234). Un aumento en el volumen muscular produce un incremento del gasto energético en reposo, que podría ayudar en la reducción de peso corporal y en la oxidación de ácidos grasos (234).

En cuanto a la MM total, se encontraron diferencias significativas entre pre y post-test en los dos grupos experimentales a las 12 semanas (Estudio nº 4) de entrenamiento (WBVG: $p = 0.001$; y MTG: $p = 0.013$). Se observaron diferencias significativas entre WBVG y CG en MM ($p = 0.016$) a las 12 semanas. Sin embargo, no hubo cambios en MM entre pre y post-test en ninguno de los grupos a las 24 semanas (Estudio nº 5). Son varios los autores que han encontrado ganancias en la MM con la aplicación de la vibración. Roelants et al. (84) observaron incrementos significativos en la MLG después de 24 semanas de entrenamiento en mujeres sedentarias en comparación con otros grupos de intervención. Sin embargo, Beck and Norling (138) no obtuvieron un aumento en la masa muscular después de 8

meses de entrenamiento WBV en mujeres postmenopáusicas. Bosco et al. (75) señalan que la exposición a la vibración de forma aguda produce un incremento de las concentraciones en sangre de hormonas como la testosterona y la hormona del crecimiento. Estos cambios endocrinos permitirían explicar el aumento de la MM tras el entrenamiento vibratorio. Centrándonos en el MT, Rossi et al. (197) concluyeron que la combinación de entrenamiento aeróbico y de fuerza durante 16 semanas, 3 días por semana, produjo un incremento significativo (+2.6%) en la MLG, mientras que hubo un descenso (-1.4%) en el grupo control. No obstante, otros autores no han encontrado incrementos en la masa muscular siguiendo programas de MT (111, 113).

A pesar de que el Estudio nº 1 concluye que el entrenamiento WBV no produce mejoras significativas en la MM y que el Estudio nº 3 apuntó que sigue habiendo controversia sobre las ganancias de MM con MT, parece que los dos protocolos de entrenamiento (WBV y MT) planteados en el Estudio nº 4 generaron un estímulo con la intensidad suficiente para conseguir incrementos en la masa muscular a las 12 semanas. No obstante, el hecho de que a las 24 semanas (Estudio nº 5) la MM no experimentó un aumento en los grupos de entrenamiento, puede ser debido a la necesidad de proporcionar un estímulo diferente cuando estos programas de entrenamiento se realizan a largo plazo y de realizar una progresión de la carga adaptada a las características de cada sujeto.

En relación a la DMO total, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre pre y post-test realizados a las 12 semanas (Estudio nº 4), y entre los valores iniciales y los medidos a las 24 semanas (Estudio nº 5) tras los entrenamientos WBV y MT. Tampoco se encontraron diferencias entre grupos. Algunos trabajos han encontrado adaptaciones con el entrenamiento WBV sobre el tejido óseo, lo que puede representar un método eficaz contra la pérdida de la DMO (84, 89-92, 158). Por el contrario, Russo et al. (227) no encontraron cambios en masa ósea total tras 6 meses de entrenamiento vibratorio en mujeres postmenopáusicas. Por otra parte, el MT se presenta también como una herramienta útil en la prevención de la osteoporosis, dado el efecto anabólico que este tipo de programas provocan en la masa ósea. Kwon et al. (112) encontraron diferencias significativas en la DMO total tras un programa de 24 semanas de MT, compuesto por ejercicios aeróbicos de bajo impacto, entrenamiento con

sobrecargas y equilibrio. Los datos del presente trabajo (Estudios nº 4 y 5) no mostraron mejoras en la DMO total. La falta de aumentos significativos en estos estudios se podría explicar por el hecho de que se midió la DMO total mientras que se aplicó un programa de ejercicio enfocado a las extremidades inferiores. Como la respuesta osteogénica está limitada a las regiones sobre las que se ejercen las cargas (110), el entrenamiento se debería enfocar para inducir el estrés en áreas específicas.

En este sentido, el Estudio nº 6 trató de determinar los efectos de 24 semanas de los entrenamientos WBV y MT sobre la DMO de la columna lumbar y el cuello femoral. Se observó un aumento significativo del 5% de la DMO de la columna lumbar en WBVG ($p = 0.042$; ES = 0.24) y una tendencia creciente pre-post a la significación en MTG ($p = 0.059$; ES = 0.17). Con respecto al CMO de la columna lumbar, no hubo cambios significativos entre pre y post-test en los grupos experimentales (WBVG: $p = 0.244$; ES = 0.39; y MTG: $p = 0.243$; ES = 0.38). Los programas de entrenamiento no produjeron ningún efecto estadístico sobre la DMO del cuello femoral (WBVG: $p = 0.296$; ES = 0.06; y MTG: $p = 0.935$; ES = 0.0) y CMO (WBVG: $p = 0.522$; ES = 0.04; y MTG: $p = 0.416$; ES = 0.08) en comparación con los valores basales.

Estos resultados son similares a los encontrados por Lai et al. (156), quienes mostraron un incremento significativo del 2.0% en la DMO de la columna lumbar tras 24 semanas del entrenamiento WBV en mujeres postmenopáusicas. Algunos autores también han encontrado hallazgos positivos en el cuello del fémur con el entrenamiento WBV. Ruan et al. (158) hallaron un aumento significativo de la DMO lumbar (4.3%) y del cuello del fémur (3.2%) después de 6 meses de entrenamiento sobre plataforma vibratoria en mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, Bemben et al. (273) no encontraron cambios en la columna lumbar, el fémur proximal y el metabolismo óseo del antebrazo después de un programa de 8 meses de WBV combinado con entrenamiento de fuerza en mujeres postmenopáusicas. El hecho de que sean muchos los diferentes protocolos de entrenamiento WBV empleados por los autores, podría explicar la existencia de resultados contradictorios en la literatura. Además, en este trabajo (Estudio nº 6) la ausencia de mejora en la DMO del cuello del fémur con entrenamiento WBV se podría deber a la postura erguida adoptada a través de la cual la vibración se

transmite a lo largo del eje longitudinal del cuerpo. Mientras que la columna lumbar se encuentra alineada con la dirección de la vibración, el cuello femoral recibe la vibración con un ángulo dado. Por lo tanto, la zona lumbar probablemente recibió un mayor estímulo de vibración en comparación con el cuello del fémur, logrando así un efecto más fuerte sobre la masa ósea (158). Sin embargo, son necesarios más estudios en esta línea de investigación, los cuales proporcionen cargas de entrenamiento enfocadas al aumento de la masa ósea en diferentes regiones anatómicas.

En relación con el MTG, la DMO de la columna lumbar mostró una tendencia creciente a la significación (3.2%) a las 24 semanas ($p = 0.059$), pero no se observaron cambios significativos en el cuello femoral. Siguen siendo dispares los resultados encontrados por otros investigadores, puesto que algunos señalan que el MT produce incrementos en la DMO de la columna lumbar (193, 258) y del cuello del fémur (111, 199, 200), mientras que otros trabajos no concluyen de igual forma (112, 203).

La fuerza isocinética de la musculatura extensora de la articulación de la rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo se midió en los Estudios nº 4 y 5. Tras 12 semanas (Estudio nº 4) de entrenamiento WBV y MT, se observó un aumento significativo en la fuerza isocinética concéntrica en los grupos de entrenamiento en extensión a $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.021$; y MTG: $p = 0.011$) y a $270^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.002$; y MTG: $p = 0.001$). Respecto al torque pico en relación al peso corporal, se encontró un aumento significativo en extensión de rodilla a $270^\circ \cdot s^{-1}$ en los grupos experimentales (WBVG: $p = 0.006$; y MTG: $p = 0.001$). Asimismo, en los grupos de entrenamiento, se observó un aumento significativo en eversión a $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.001$; y MTG: $p = 0.003$), inversión at $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.015$; y MTG: $p = 0.044$), eversión at $120^\circ \cdot s^{-1}$ solo en WBVG ($p = 0.012$). En cuanto al torque pico relativo, se encontraron diferencias entre pre y post-test en los grupos de entrenamiento durante la contracción concéntrica en eversión a $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG: $p = 0.001$; y MTG: $p = 0.003$), inversión a $60^\circ \cdot s^{-1}$ solo en WBVG ($p = 0.021$) y eversión a $120^\circ \cdot s^{-1}$ solo en WBVG ($p = 0.027$).

Del mismo modo, después de 24 semanas (Estudio nº 5) se observó un aumento significativo en el torque pico de los grupos de entrenamiento en extensión de rodilla a $60^\circ \cdot s^{-1}$ y a $270^\circ \cdot s^{-1}$ entre pre y post-test. También, se

encontraron diferencias significativas entre MTG y CG en extensión a $270^{\circ}\cdot s^{-1}$. Se observaron aumentos significativos en flexión plantar a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ en WBVG y a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ en los dos grupos de entrenamiento entre pre y post-test. MTG mostró un incremento significativo en dorsiflexión a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. Con respecto a la eversión y la inversión, WBVG y MTG mejoraron la fuerza isocinética a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. En eversión a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ solo WBVG presentó cambios, y hubo un incremento significativo en WBVG y MTG para la inversión a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$. No hubo diferencias significativas entre WBVG y MTG para los test de fuerza en extensión de rodilla y en la musculatura estabilizadora del tobillo cuando se hicieron valoraciones a las 12 y a las 24 semanas. Tampoco se encontraron diferencias significativas en CG entre pre y post-test en ninguna de las mediciones de fuerza. Estos resultados están en concordancia con los publicados por otros autores, que confirman que el entrenamiento WBV incrementa la fuerza dinámica de los músculos de las extremidades inferiores (72, 84, 235, 274-276). Roelants et al. (84) propusieron un protocolo de WBV de 24 semanas en mujeres postmenopáusicas ($n = 69$). El grupo vibratorio realizaba ejercicios de semi-sentadilla, sentadilla profunda y zancada. Las participantes del grupo expuesto a la vibración mejoraron la fuerza isométrica e isocinética de los extensores de rodilla (84). Por otro lado, se ha evaluado el efecto del entrenamiento WBV a largo plazo sobre la actividad refleja de los músculos estabilizadores del tobillo. En una investigación, se realizó un programa de 6 semanas de intervención, 3 sesiones por semana, en 44 voluntarios sanos y físicamente activos. Tras el entrenamiento no se encontraron diferencias significativas en la actividad refleja de los músculos analizados (peroneo lateral largo, peroneo lateral corto y tibial anterior) (237). En los Estudios nº 4 y 5 del presente trabajo, las participantes realizaban un programa de ejercicio vibratorio dinámico en el que se ejecutaba flexión plantar de tobillo, elevando los talones de la plataforma vibratoria para posteriormente adoptar de nuevo la posición de flexión dorsal, manteniendo en ambos casos la musculatura periarticular del tobillo en contracción. Se encontraron mejoras de fuerza isocinética de los músculos implicados en los movimientos de flexión plantar, eversión e inversión de tobillo. La situación de desequilibrio a la que se enfrenta el tobillo al realizar el patrón dinámico sobre la plataforma vibratoria podría justificar esta ganancia de fuerza. Investigaciones anteriores han informado que las mejoras de fuerza a través del entrenamiento WBV son el resultado del denominado “reflejo tónico

vibratorio”, provocando cambios en la longitud del músculo que estimula los husos musculares (264). La literatura muestra que el estímulo vibratorio genera mayores adaptaciones en los grupos musculares más cercanos a la plataforma vibratoria (74). Por otra parte, varios autores han sugerido que el entrenamiento WBV activa las fibras de contracción rápida, que son las responsables de las acciones explosivas y producen mayores valores de fuerza (72). Esto explicaría el aumento de la fuerza observada cuando ésta se genera a altas velocidades ($120^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$).

Con respecto al aumento de fuerza con programas de MT, los valores reflejan resultados positivos en extensores de rodilla, eversión e inversión de tobillo (Estudios nº 4 y 5), y en flexión plantar y dorsal (Estudio nº 5). Chien et al. (111) estudiaron la eficacia de 24 semanas de MT en mujeres postmenopáusicas con osteopenia. El programa combinaba entrenamiento aeróbico (marcha) con ejercicios de impacto (en step), 3 días a la semana. Al igual que en los Estudios nº 4 y 5, los autores encontraron mejoras significativas en la fuerza muscular de los extensores de rodilla. Del mismo modo, Karinkanta et al. (205) evaluaron el efecto de un protocolo de MT basado en entrenamiento con sobrecargas y equilibrio en mujeres mayores. Después de un año, observaron un aumento significativo en la fuerza del tren inferior. No se han encontrado estudios en relación a la mejora de fuerza isocinética de la musculatura estabilizadora del tobillo a través de programas de ejercicio multi-componente. En el presente trabajo, los valores de fuerza isocinética reflejan resultados positivos en flexión plantar, dorsal, eversión e inversión. Durante el aterrizaje, el tobillo experimenta una posición de flexión dorsal para amortiguar el impacto. Así se podría justificar la ganancia de fuerza de los eversores e inversores de tobillo, pues la coactivación de esta musculatura se hace necesaria durante los drop jumps debido a la situación de desequilibrio que se produce (241). La mejora en el movimiento de flexión plantar puede ser debida a la acción que adopta la articulación del tobillo al caminar.

Estableciendo una relación entre la mejora de masa muscular y fuerza, se observó que a las 12 semanas (Estudio nº 4) se produjo un aumento en estas variables, mientras que a las 24 semanas (Estudio nº 5) solo se obtuvieron incrementos de fuerza. Según Deschenes y Kraemer (277), con protocolos de entrenamiento de larga duración, la hipertrofia muscular está limitada y ésta

ocurre durante un periodo de tiempo finito. La respuesta hipertrófica es mayor en las fases iniciales de entrenamiento, tras las cuales el ratio de crecimiento muscular disminuye (278). Esto corrobora los resultados obtenidos en los Estudios nº 4 y 5, y sugiere que la mejora de la fuerza a las 24 semanas podría explicarse por adaptaciones neurales (277) o por cambios en la arquitectura de las fibras musculares, así como de los componentes elásticos en paralelo y en serie (279). Además, los programas de entrenamiento WBV y MT desarrollados en este trabajo no estaban orientados de forma específica para generar hipertrofia (277). La ganancia de MM tras 12 semanas (Estudio nº 4) también se podría justificar por el hecho de que las participantes no tenían experiencia previa con los entrenamientos. Asimismo, los protocolos iban enfocados al tren inferior, por lo que hubiera sido interesante realizar una evaluación de la MM parcial en lugar de la total.

XII – CONCLUSIONES

XII. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones de los estudios. Se debe tener en cuenta que las mismas son aplicables únicamente a sujetos de características similares a los del presente trabajo:

12.1. CONCLUSIONES GENERALES

- La revisión de la bibliografía indica que el entrenamiento vibratorio no produce efectos sobre la masa muscular, pero sí sobre la masa ósea en mujeres postmenopáusicas. Por otro lado, el entrenamiento multi-componente puede ser que genere adaptaciones positivas sobre la masa muscular y ósea en mujeres postmenopáusicas y mayores.

- Tras la aplicación de los dos protocolos de entrenamiento, vibratorio y multi-componente, se producen mejoras sobre la masa muscular y la fuerza del tren inferior. Además, ambos protocolos de entrenamiento disminuyen la grasa corporal. Sin embargo, no hay efectos en la masa ósea tras su aplicación en mujeres postmenopáusicas.

- Al no haber diferencias significativas en la composición corporal y la fuerza del tren inferior entre los dos programas de entrenamiento se concluye que ambos protocolos generan adaptaciones similares en mujeres postmenopáusicas.

12.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Estudio nº 1:

- Tras la revisión sistemática con meta-análisis realizada se concluye que el entrenamiento vibratorio no incrementa de forma significativa la masa magra en mujeres postmenopáusicas, independientemente de la dosis vibratoria (frecuencia, amplitud, tiempo de trabajo y de descanso) y de las características de la intervención (duración, frecuencia, volumen e intensidad de entrenamiento).

Estudio nº 2:

- Tras la revisión sistemática con meta-análisis realizada, y teniendo en cuenta las limitaciones del estudio y las características de la muestra, se concluye que el entrenamiento vibratorio de 3 a 13 meses no tiene ningún efecto significativo sobre la DMO total o del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas. Sin embargo, este método de entrenamiento podría ser efectivo para mejorar la DMO de la columna lumbar. Además, al analizar los estudios que incluyeron mujeres postmenopáusicas menores de 65 años, se encuentran diferencias significativas en la DMO del cuello del fémur entre los grupos de intervención y control.

- Contrariamente a la hipótesis inicial, la frecuencia de vibración y la duración de la sesión de ejercicio no son variables modificadoras del efecto del entrenamiento vibratorio sobre la masa ósea. No obstante, los resultados indican que el aumento en la DMO de la columna lumbar depende del número total de sesiones de entrenamiento.

Estudio nº 3:

- La revisión sistemática de los estudios en mujeres postmenopáusicas y mayores sugiere que la masa muscular y la masa ósea se puede incrementar o al menos mantener con el entrenamiento multi-componente. Los programas de ejercicio multi-componente que combinan entrenamiento con sobrecargas (utilizando cargas de alta intensidad) y actividades aeróbicas de impacto se pueden considerar como una estrategia eficaz para mejorar el músculo y el hueso.

Estudio nº 4:

- Tras la aplicación de 12 semanas de entrenamiento vibratorio y multi-componente se produce un descenso del contenido graso y un aumento de la masa muscular, y mejora de forma significativa la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

- No existen diferencias significativas al comparar el entrenamiento vibratorio y el multi-componente durante 12 semanas sobre la composición corporal y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas, por lo que no se puede afirmar que uno de los dos tipos de entrenamiento sea más eficaz que el otro.

Estudio nº 5:

- Los resultados obtenidos después de 24 semanas de entrenamiento vibratorio y multi-componente indican que se produce una reducción del contenido graso, y mejora de forma significativa la fuerza isocinética de la musculatura extensora de la rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas.

- Además, al no existir diferencias significativas cuando se comparan los entrenamientos, vibratorio y multi-componente, durante 24 semanas sobre la composición corporal y la fuerza isocinética de los extensores de rodilla y de los músculos estabilizadores del tobillo en mujeres postmenopáusicas, no se puede afirmar que uno de los dos tipos de entrenamiento sea más eficaz que el otro.

Estudio nº 6:

- Con respecto a la masa ósea, el protocolo de entrenamiento vibratorio durante 24 semanas mejora la DMO de la columna vertebral lumbar en mujeres postmenopáusicas. No se han encontrado adaptaciones en la DMO tras el entrenamiento multi-componente.

- Tras la intervención, los datos obtenidos indican que no existen diferencias significativas al comparar el entrenamiento vibratorio y el multi-componente durante 24 semanas sobre la masa ósea de la columna lumbar y del cuello del fémur en mujeres postmenopáusicas, por lo que no se puede afirmar que uno de los dos tipos de entrenamiento sea más eficaz que el otro.

XIII – LIMITACIONES

XIII. LIMITACIONES

A continuación se presentan las limitaciones del estudio:

- 1) El escaso número de trabajos incluidos en los Estudios nº 1, 2 y 3, debido a las pocas publicaciones existentes en la literatura que traten de estudiar el efecto de los entrenamientos WBV y MT sobre la masa muscular y ósea en mujeres postmenopáusicas.
- 2) La alta heterogeneidad de los protocolos de entrenamiento WBV y MT que dificulta la comparación entre estudios, siendo probablemente una de las razones por las que se encuentran resultados contradictorios.
- 3) La elevada muerte experimental que se produjo en los Estudios nº 4, 5 y 6, que redujo la muestra entre los grupos de estudio. No obstante, la distribución de la misma fue homogénea en cuanto al número de participantes.

XIV – APLICACIONES PRÁCTICAS

XIV. APLICACIONES PRÁCTICAS

En base a los resultados obtenidos en las investigaciones presentadas en este trabajo y tras su discusión con la bibliografía, los profesionales del entrenamiento podrían tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Cuando se prescriba entrenamiento vibratorio, las diferentes revisiones sistemáticas recomiendan un volumen de trabajo de 108 sesiones o superior, frecuencia de vibración ≥ 20 Hz, amplitud de vibración ≥ 5 mm o ≥ 8 g, en particular con mujeres postmenopáusicas menores de 65 años e IMC inferior a 25 kg/m², para mejorar la DMO de la columna lumbar. En base a nuestros resultados, protocolos con 3 sesiones por semana, 35-40 Hz, 4 mm, 5-11 series de 1 min durante 24 semanas también pueden ser una opción eficaz para mejorar la DMO de la columna lumbar en dicha población.

- Además, de forma orientativa, el entrenamiento vibratorio (3 sesiones por semana, 35-40 Hz, 4 mm, 5-11 series de 1 min, duración entre 12 a 24 semanas) se puede recomendar para disminuir el contenido graso, aumentar la masa muscular, y mejorar la fuerza de los extensores de rodilla, flexores plantares, eversores e inversores de tobillo.

- Por otro lado, a partir de los estudios encontrados y las recomendaciones halladas en la literatura científica revisada, se puede aconsejar el entrenamiento multi-componente, combinando entrenamiento con sobrecarga (intensidades altas: 70-80% del 1RM; 2-3 series por ejercicio y sesión) con ejercicios aeróbicos de alto impacto (~ 30 min), para producir adaptaciones en la masa muscular y ósea de mujeres postmenopáusicas y mayores.

- Asimismo, teniendo en cuenta los resultados de los ensayos controlados aleatorizados de la presente tesis, protocolos de entrenamiento multi-componente en los que se combinen entrenamiento aeróbico con ejercicios de impacto (3

sesiones por semana, 30-60 min, 50-75% de la frecuencia cardíaca de reserva, duración entre 12 a 24 semanas) también pueden ser beneficiosos para disminuir el contenido graso, aumentar la masa muscular, e incrementar la fuerza de los extensores de rodilla, eversores e inversores, flexores plantares y dorsales de tobillo.

- No obstante, se debe remarcar, además, la importancia de un entrenamiento enfocado a zonas específicas con una progresión de la carga adaptada a las características de cada sujeto.

XV – FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

XV. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación y en relación a lo expuesto en esta tesis, se describen una serie de consideraciones a tratar en futuras líneas de investigación:

- Realizar un seguimiento posterior a la finalización de los entrenamientos para conocer la retención de los efectos observados en las distintas variables.

- Aplicar un estudio similar con un periodo de entrenamiento de mayor duración con el objetivo de observar la evolución y analizar las posibles adaptaciones a largo plazo.

- Realizar una evaluación más específica de la masa muscular obteniendo resultados de diferentes regiones corporales para comprobar en qué medida se producen ganancias en extremidades inferiores utilizando los mismos protocolos de entrenamiento que en el presente trabajo.

- Analizar el efecto de los protocolos de entrenamiento presentados sobre el equilibrio y la capacidad funcional.

- Estudiar de forma prospectiva, tras la aplicación de ensayos controlados aleatorizados, el número de caídas producidas y el gasto sanitario que conllevan.

- Valorar adaptaciones neuromusculares utilizando EMG como método para detectar cambios en la conducción de la señal nerviosa eferente y/o analizar la actividad refleja de la médula espinal (reflejo H) como indicador de la excitabilidad de las α -motoneuronas de la misma.

- Incluir variables de resultado relacionadas con la evaluación de la salud y de la calidad de vida con el fin de obtener más información sobre los beneficios de la aplicación de estos tipos de entrenamiento.

XVI – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

XVI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. United Nations DoEaSA, Population Division. Global levels and trends in mortality World Mortality Report 2013. p. 11-25.
2. Organization WH. World report on ageing and health. Geneva: World Health Organization. 2015.
3. Reinhardt UE. Does the aging of the population really drive the demand for health care? *Health Aff (Millwood)*. 2003 Nov-Dec;22(6):27-39.
4. Economic UNDo, Affairs S, Division P. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper, No ESA/P/WP 241. 2015.
5. Kotani K, Tokunaga K, Fujioka S, Kobatake T, Keno Y, Yoshida S, et al. Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in the obese. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1994 Apr;18(4):207-2.
6. Rush EC, Freitas I, Plank LD. Body size, body composition and fat distribution: comparative analysis of European, Maori, Pacific Island and Asian Indian adults. *Br J Nutr*. 2009 Aug;102(4):632-41.
7. Guo SS, Zeller C, Chumlea WC, Siervogel RM. Aging, body composition, and lifestyle: the Fels Longitudinal Study. *Am J Clin Nutr*. 1999 Sep;70(3):405-11.
8. Carmelli D, McElroy MR, Rosenman RH. Longitudinal changes in fat distribution in the Western Collaborative Group Study: a 23-year follow-up. *Int J Obes*. 1991 Jan;15(1):67-74.
9. Kyle UG, Genton L, Hans D, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Age-related differences in fat-free mass, skeletal muscle, body cell mass and fat mass between 18 and 94 years. *Eur J Clin Nutr*. 2001 Aug;55(8):663-72.
10. Kuk JL, Saunders TJ, Davidson LE, Ross R. Age-related changes in total and regional fat distribution. *Ageing Res Rev*. 2009 Oct;8(4):339-48.
11. Gomez-Cabello A, Pedrero-Chamizo R, Olivares P, Luzardo L, Juez-Bengoechea A, Mata E, et al. Prevalence of overweight and obesity in

non-institutionalized people aged 65 or over from Spain: the elderly EXERNET multi-centre study. *Obes Rev.* 2011;12(8):583-92.

12. Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb SA, Murgatroyd PR, Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index. *Am J Clin Nutr.* 2000 Sep;72(3):694-701.

13. Cree MG, Newcomer BR, Katsanos CS, Sheffield-Moore M, Chinkes D, Aarsland A, et al. Intramuscular and liver triglycerides are increased in the elderly. *J Clin Endocrinol Metab.* 2004 Aug;89(8):3864-71.

14. Kopelman PG. Obesity as a medical problem. *Nature.* 2000 Apr 6;404(6778):635-43.

15. Mokdad AH, Ford ES, Bowman BA, Dietz WH, Vinicor F, Bales VS, et al. Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors, 2001. *JAMA.* 2003 Jan 1;289(1):76-9.

16. Hughes VA, Frontera WR, Roubenoff R, Evans WJ, Singh MA. Longitudinal changes in body composition in older men and women: role of body weight change and physical activity. *Am J Clin Nutr.* 2002 Aug;76(2):473-81.

17. Vandervoort AA. Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve.* 2002 Jan;25(1):17-25.

18. Roubenoff R, Hughes VA. Sarcopenia: current concepts. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000 Dec;55(12):M716-24.

19. Morley JE, Baumgartner RN, Roubenoff R, Mayer J, Nair KS. Sarcopenia. *J Lab Clin Med.* 2001 Apr;137(4):231-43.

20. Evans W. Functional and metabolic consequences of sarcopenia. *J Nutr.* 1997 May;127(5 Suppl):998S-1003S.

21. Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol* (1985). 1991 Aug;71(2):644-50.

22. Nilwik R, Snijders T, Leenders M, Groen BB, van Kranenburg J, Verdijk LB, et al. The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol.* 2013 May;48(5):492-8.

23. Klitgaard H, Mantoni M, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza L, Laurent-Winter C, et al. Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiol Scand.* 1990 Sep;140(1):41-54.
24. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol.* 2000 Jul;89(1):81-8.
25. Hakkinen K, Pakarinen A. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand.* 1993 Jun;148(2):199-207.
26. Bailey DA, McKay HA, Mirwald RL, Crocker PR, Faulkner RA. A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the university of Saskatchewan bone mineral accrual study. *J Bone Miner Res.* 1999 Oct;14(10):1672-9.
27. Lauretani F, Bandinelli S, Griswold ME, Maggio M, Semba R, Guralnik JM, et al. Longitudinal changes in BMD and bone geometry in a population-based study. *J Bone Miner Res.* 2008 Mar;23(3):400-8.
28. Bellantoni M, Blackman M. Menopause and its consequences. *Handbook of the biology of aging Academic Press, New York.* 1996:415-30.
29. Flicker L, Hopper JL, Rodgers L, Kaymakci B, Green RM, Wark JD. Bone density determinants in elderly women: a twin study. *J Bone Miner Res.* 1995 Nov;10(11):1607-13.
30. Heymsfield SB, Gallagher D, Poehlman ET, Wolper C, Nonas K, Nelson D, et al. Menopausal changes in body composition and energy expenditure. *Exp Gerontol.* 1994;29(3):377-89.
31. Poehlman ET. Menopause, energy expenditure, and body composition. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2002;81(7):603-11.
32. Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC, et al. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Aug;39(8):1435-45.

33. Do KA, Treloar SA, Pandeya N, Purdie D, Green AC, Heath AC, et al. Predictive factors of age at menopause in a large Australian twin study. *Hum Biol.* 1998 Dec;70(6):1073-91.
34. Al-Azzawi F, Palacios S. Hormonal changes during menopause. *Maturitas.* 2009 Jun 20;63(2):135-7.
35. Stachenfeld NS. Hormonal changes during menopause and the impact on fluid regulation. *Reprod Sci.* 2014;21(5):555-61.
36. Gold EB, Block G, Crawford S, Lachance L, FitzGerald G, Miracle H, et al. Lifestyle and demographic factors in relation to vasomotor symptoms: baseline results from the Study of Women's Health Across the Nation. *Am J Epidemiol.* 2004 Jun 15;159(12):1189-99.
37. Kronenberg F. Hot flashes: Epidemiology and physiology. *Ann N Y Acad Sci.* 1990;592(1):52-86.
38. Leger D, Guilleminault C, Dreyfus JP, Delahaye C, Paillard M. Prevalence of insomnia in a survey of 12,778 adults in France. *J Sleep Res.* 2000 Mar;9(1):35-42.
39. Chai NC, Peterlin BL, Calhoun AH. Migraine and estrogen. *Curr Opin Neurol.* 2014 Jun;27(3):315-24.
40. Pérez-López FR, Chedraui P, Gilbert JJ, Pérez-Roncero G. Cardiovascular risk in menopausal women and prevalent related co-morbid conditions: facing the post-Women's Health Initiative era. *Fertil Steril.* 2009;92(4):1171-86.
41. Frank A, Brown LM, Clegg DJ. The role of hypothalamic estrogen receptors in metabolic regulation. *Front Neuroendocrinol.* 2014;35(4):550-7.
42. Rhudy JL, Bartley EJ, Palit S, Kerr KL, Kuhn BL, Martin SL, et al. Do sex hormones influence emotional modulation of pain and nociception in healthy women? *Biol Psychol.* 2013;94(3):534-44.
43. Triantafyllou N, Armeni E, Christidi F, Rizos D, Kaparos G, Palaiologou A, et al. The intensity of menopausal symptoms is associated with episodic memory in postmenopausal women. *Climacteric.* 2016 Aug;19(4):393-9.
44. Patel KV, Cochrane BB, Turk DC, Bastian LA, Haskell SG, Woods NF, et al. Association of Pain With Physical Function, Depressive Symptoms,

Fatigue, and Sleep Quality Among Veteran and non-Veteran Postmenopausal Women. *Gerontologist*. 2016 Feb;56 Suppl 1:S91-101.

45. McKinlay SM, Brambilla DJ, Posner JG. The normal menopause transition. *Maturitas*. 1992 Jan;14(2):103-15.

46. Organization WH. Assessment of osteoporosis at the primary health care level. WHO, Geneva. 2007.

47. Prieto-Alhambra D, Aviles FF, Judge A, Van Staa T, Nogues X, Arden NK, et al. Burden of pelvis fracture: a population-based study of incidence, hospitalisation and mortality. *Osteoporos Int*. 2012 Dec;23(12):2797-803.

48. Sambrook P, Cooper C. Osteoporosis. *Lancet*. 2006 Jun 17;367(9527):2010-8.

49. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*. 2006 Dec;17(12):1726-33.

50. Cooper C, Atkinson EJ, O'Fallon WM, Melton LJ, 3rd. Incidence of clinically diagnosed vertebral fractures: a population-based study in Rochester, Minnesota, 1985-1989. *J Bone Miner Res*. 1992 Feb;7(2):221-7.

51. Hallberg I, Rosenqvist AM, Kartous L, Lofman O, Wahlstrom O, Toss G. Health-related quality of life after osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*. 2004 Oct;15(10):834-41.

52. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Cooper C, Rizzoli R, Reginster JY. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporos Int*. 2013 Jan;24(1):23-57.

53. Serra JA, Garrido G, Vidan M, Maranon E, Branas F, Ortiz J. [Epidemiology of hip fractures in the elderly in Spain]. *An Med Interna*. 2002 Aug;19(8):389-95.

54. Snelling AM, Crespo CJ, Schaeffer M, Smith S, Walbourn L. Modifiable and nonmodifiable factors associated with osteoporosis in postmenopausal women: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *J Womens Health Gend Based Med*. 2001 Jan-Feb;10(1):57-65.

55. Jeon YJ, Kim JW, Park JS. Factors associated with the treatment of osteoporosis in Korean postmenopausal women. *Women Health*. 2014;54(1):48-60.
56. De Laet C, Kanis JA, Oden A, Johanson H, Johnell O, Delmas P, et al. Body mass index as a predictor of fracture risk: a meta-analysis. *Osteoporos Int*. 2005 Nov;16(11):1330-8.
57. Kanis JA, Johansson H, Johnell O, Oden A, De Laet C, Eisman JA, et al. Alcohol intake as a risk factor for fracture. *Osteoporos Int*. 2005 Jul;16(7):737-42.
58. Kanis JA, Johnell O, De Laet C, Johansson H, Oden A, Delmas P, et al. A meta-analysis of previous fracture and subsequent fracture risk. *Bone*. 2004 Aug;35(2):375-82.
59. Kanis JA, Johansson H, Oden A, Johnell O, De Laet C, Eisman JA, et al. A family history of fracture and fracture risk: a meta-analysis. *Bone*. 2004 Nov;35(5):1029-37.
60. Cummings SR, Melton LJ. Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures. *Lancet*. 2002 May 18;359(9319):1761-7.
61. Jarvinen TL, Sievanen H, Khan KM, Heinonen A, Kannus P. Shifting the focus in fracture prevention from osteoporosis to falls. *BMJ*. 2008 Jan 19;336(7636):124-6.
62. Granacher U, Zahner L, Gollhofer A. Strength, power, and postural control in seniors: Considerations for functional adaptations and for fall prevention. *Eur J Sport Sci*. 2008;8(6):325-40.
63. Petridou ET, Dikaloti SK, Dessypris N, Skalkidis I, Barbone F, Fitzpatrick P, et al. The evolution of unintentional injury mortality among elderly in Europe. *J Aging Health*. 2008 Mar;20(2):159-82.
64. Liu-Ambrose T, Eng JJ, Khan KM, Carter ND, McKay HA. Older women with osteoporosis have increased postural sway and weaker quadriceps strength than counterparts with normal bone mass: overlooked determinants of fracture risk? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003 Sep;58(9):M862-6.
65. Keen R. Osteoporosis: strategies for prevention and management. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2007;21(1):109-22.

66. Christenson ES, Jiang X, Kagan R, Schnatz P. Osteoporosis management in post-menopausal women. *Minerva Ginecol.* 2012 Jun;64(3):181-94.
67. Swift DL, Johannsen NM, Lavie CJ, Earnest CP, Church TS. The role of exercise and physical activity in weight loss and maintenance. *Prog Cardiovasc Dis.* 2014;56(4):441-7.
68. Medicine ACoS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
69. Gomez-Cabello A, Ara I, Gonzalez-Aguero A, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G. Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med.* 2012 Apr 01;42(4):301-25.
70. Marin-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 Weeks of Whole-Body Vibration Versus Multi-Component Training in Post-Menopausal Women. *Rejuvenation Res.* 2015 Dec;18(6):508-16.
71. Marin-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. *Rejuvenation Res.* 2017 Jan 19.
72. Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Jun;35(6):1033-41.
73. Fjeldstad C, Palmer IJ, Bembem MG, Bembem DA. Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. *Maturitas.* 2009 May 20;63(1):79-83.
74. Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res.* 2006 Feb;20(1):124-9.
75. Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Apr;81(6):449-54.
76. Nam SS, Sunoo S, Park HY, Moon HW. The effects of long-term whole-body vibration and aerobic exercise on body composition and bone

mineral density in obese middle-aged women. *J Exerc Nutrition Biochem*. 2016 Jun;20(2):19-27.

77. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol*. 2000 Mar;20(2):134-42.

78. Cardinale M, Erskine JA. Vibration training in elite sport: effective training solution or just another fad? *Int J Sports Physiol Perform*. 2008 Jun;3(2):232-9.

79. Humphries B, Warman G, Purton J, Doyle TL, Dugan E. The Influence of Vibration on Muscle Activation and Rate of Force Development during Maximal Isometric Contractions. *J Sports Sci Med*. 2004;3(1):16-22.

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

81. Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial. *Gait Posture*. 2007 Jul;26(2):309-16.

82. Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A. Whole body vibration training--improving balance control and muscle endurance. *PLoS One*. 2014;9(2):e89905.

83. Rogan S, Hilfiker R, Herren K, Radlinger L, de Bruin ED. Effects of whole-body vibration on postural control in elderly: a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr*. 2011;11:72.

84. Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2004 Jun;52(6):901-8.

85. Dutra MC, de Oliveira ML, Marin RV, Kleine HC, Silva OL, Lazaretti-Castro M. Whole-body vibration improves neuromuscular parameters and functional capacity in osteopenic postmenopausal women. *Menopause*. 2016 Aug;23(8):870-5.

86. Lamont HS, Cramer JT, Bemben DA, Shehab RL, Anderson MA, Bemben 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.* 2008 Nov;22(6):1882-93.

87. Cardinale M, Soiza RL, Leiper JB, Gibson A, Primrose WR. Hormonal responses to a single session of wholebody vibration exercise in older individuals. *Br J Sports Med.* 2010 Mar;44(4):284-8.

88. Kvorning T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol.* 2006 Mar;96(5):615-25.

89. Gusi N, Raimundo A, Leal A. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2006;7:92.

90. Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K. Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J Bone Miner Res.* 2004 Mar;19(3):343-51.

91. Totosy de Zepetnek JO, Giangregorio LM, Craven BC. Whole-body vibration as potential intervention for people with low bone mineral density and osteoporosis: a review. *J Rehabil Res Dev.* 2009;46(4):529-42.

92. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, 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.* 2004 Mar;19(3):352-9.

93. Fratini A, Bonci T, Bull AM. Whole Body Vibration Treatments in Postmenopausal Women Can Improve Bone Mineral Density: Results of a Stimulus Focussed Meta-Analysis. *PLoS One.* 2016;11(12):e0166774.

94. von Stengel S, Kemmler W, Engelke K, Kalender WA. Effects of whole body vibration on bone mineral density and falls: results of the randomized controlled ELVIS study with postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 2011 Jan;22(1):317-25.

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

96. Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003 Jan;31(1):3-7.
97. 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.* 2007 Dec;32(6):1156-63.
98. Hagbarth K-E. The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disorders. *Human Reflexes, Pathophysiology of Motor Systems, Methodology of Human Reflexes: Karger Publishers; 1973.* p. 428-43.
99. 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.* 2004 Jan;25(1):1-5.
100. Turner CH, Robling AG. Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003 Jan;31(1):45-50.
101. Rubin C, Turner AS, Mallinckrodt C, Jerome C, McLeod K, Bain S. Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone.* 2002 Mar;30(3):445-52.
102. Burr DB, Martin RB, Schaffler MB, Radin EL. Bone remodeling in response to in vivo fatigue microdamage. *J Biomech.* 1985;18(3):189-200.
103. Marin PJ, Rhea MR. Effects of vibration training on muscle strength: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2010 Feb;24(2):548-56.
104. Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med.* 2005 Sep;39(9):585-9; discussion 9.
105. Cormie P, Deane RS, Triplett NT, McBride JM. Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res.* 2006 May;20(2):257-61.
106. Bush JA, Blog GL, Kang J, Faigenbaum AD, Ratamess NA. Effects of quadriceps strength after static and dynamic whole-body vibration exercise. *J Strength Cond Res.* 2015 May;29(5):1367-77.
107. Kukuljan S, Nowson CA, Bass SL, Sanders K, Nicholson GC, Seibel MJ, et al. Effects of a multi-component exercise program and calcium-vitamin-D3-fortified milk on bone mineral density in older men: a randomised controlled trial. *Osteoporos Int.* 2009 Jul;20(7):1241-51.

108. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med.* 2004;34(5):329-48.
109. Mosti MP, Kaehler N, Stunes AK, Hoff J, Syversen U. Maximal strength training in postmenopausal women with osteoporosis or osteopenia. *J Strength Cond Res.* 2013 Oct;27(10):2879-86.
110. Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Calbet JA. Exercise and bone mass in adults. *Sports Med.* 2009;39(6):439-68.
111. Chien MY, Wu YT, Hsu AT, Yang RS, Lai JS. Efficacy of a 24-week aerobic exercise program for osteopenic postmenopausal women. *Calcif Tissue Int.* 2000 Dec;67(6):443-8.
112. Kwon Y, Park S, Kim E, Park J. The effects of multi-component exercise training on (V)over-dot-O(2)max, muscle mass, whole bone mineral density and fall risk in community-dwelling elderly women. *Jpn J Phys Fit Sport.* 2008 Jun;57(3):339-48.
113. Park SM, Kwak YS, Ji JG. The Effects of Combined Exercise on Health-Related Fitness, Endotoxin, and Immune Function of Postmenopausal Women with Abdominal Obesity. *J Immunol Res.* 2015;2015:830567.
114. Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, Fleg JL, Fozard JL, Tobin J, et al. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol (1985).* 1997 Nov;83(5):1581-7.
115. Calmels P, Vico L, Alexandre C, Minaire P. Cross-sectional study of muscle strength and bone mineral density in a population of 106 women between the ages of 44 and 87 years: relationship with age and menopause. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;70(2):180-6.
116. Maltais ML, Desroches J, Dionne IJ. Changes in muscle mass and strength after menopause. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2009 Oct-Dec;9(4):186-97.
117. Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, Morley JE, Cesari M, Onder G, et al. Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *J Nutr Health Aging.* 2008 Aug-Sep;12(7):433-50.
118. Reid KF, Fielding RA. Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults. *Exerc Sport Sci Rev.* 2012 Jan;40(1):4-12.

119. Kim S, Won C, Sung B, Rim H, Young M. The Association between the Low Muscle Mass and Osteoporosis in Elderly Korean People. *JKMS*. 2014;29(7):995-1000.
120. Sjoblom S, Suuronen J, Rikkonen T, Honkanen R, Kroger H, Sirola J. Relationship between postmenopausal osteoporosis and the components of clinical sarcopenia. *Maturitas*. 2013 Jun;75(2):175-80.
121. Drake MT, Clarke BL, Lewiecki EM. The Pathophysiology and Treatment of Osteoporosis. *Clin Ther*. 2015 Aug;37(8):1837-50.
122. Cawston H, Maravic M, Fardellone P, Gauthier A, Kanis JA, Compston J, et al. Epidemiological burden of postmenopausal osteoporosis in France from 2010 to 2020: estimations from a disease model. *Arch Osteoporos*. 2012;7:237-46.
123. Makker A, Singh MM, Mishra G, Singh BP, Jain GK, Jadhav S. Relationship between bone turnover biomarkers, mandibular bone mineral density, and systemic skeletal bone mineral density in premenopausal and postmenopausal Indian women. *Menopause*. 2012 Jun;19(6):642-9.
124. Gregg EW, Kriska AM, Salamone LM, Roberts MM, Anderson SJ, Ferrell RE, et al. The epidemiology of quantitative ultrasound: a review of the relationships with bone mass, osteoporosis and fracture risk. *Osteoporos Int*. 1997;7(2):89-99.
125. Phu S, Boersma D, Duque G. Exercise and Sarcopenia. *J Clin Densitom*. 2015 Jun 9.
126. Fragala MS, Fukuda DH, Stout JR, Townsend JR, Emerson NS, Boone CH, et al. Muscle quality index improves with resistance exercise training in older adults. *Exp Gerontol*. 2014 May;53:1-6.
127. Drey M, Zech A, Freiberger E, Bertsch T, Uter W, Sieber CC, et al. Effects of strength training versus power training on physical performance in prefrail community-dwelling older adults. *Gerontology*. 2012;58(3):197-204.
128. Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Fiatarone Singh MA. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2002 Apr;50(4):655-62.

129. Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005 Sep;45(3):324-36.
130. Machado A, Garcia-Lopez D, Gonzalez-Gallego J, Garatachea N. Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2010 Apr;20(2):200-7.
131. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ*. 2009;339:b2700.
132. Higgins JPT, Green S. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0.* www.Cochrane-handbook.Org2011.
133. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Controlled clinical trials*. 1986 Sep;7(3):177-88.
134. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). Lawrence Erlbaum Associates Publishers ed. Hillsdale N1988.
135. Bhogal SK, Teasell RW, Foley NC, Speechley MR. The PEDro scale provides a more comprehensive measure of methodological quality than the Jadad scale in stroke rehabilitation literature. *J Clin Epidemiol*. 2005 Jul;58(7):668-73.
136. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother*. 2009;55(2):129-33.
137. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003 Aug;83(8):713-21.
138. Beck BR, Norling TL. The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture. *Am J Phys Med Rehabil*. 2010 Dec;89(12):997-1009.
139. Liphardt AM, Schipilow J, Hanley DA, Boyd SK. Bone quality in osteopenic postmenopausal women is not improved after 12 months of whole-body vibration training. *Osteoporos Int*. 2015 Mar;26(3):911-20.

140. Song GE, Kim K, Lee DJ, Joo NS. Whole body vibration effects on body composition in the postmenopausal Korean obese women: pilot study. *Korean J Fam Med*. 2011 Nov;32(7):399-405.
141. Martinez-Pardo E, Romero-Arenas S, Martinez-Ruiz E, Rubio-Arias JA, Alcaraz PE. Effect of a whole-body vibration training modifying the training frequency of workouts per week in active adults. *J Strength Cond Res*. 2014 Nov;28(11):3255-63.
142. Viru A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med*. 1992 Apr;13(3):201-9.
143. Goto K, Takamatsu K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jpn J Physiol*. 2005 Oct;55(5):279-84.
144. Wilcock IM, Whatman C, Harris N, Keogh JW. Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res*. 2009 Mar;23(2):593-603.
145. Rennie MJ, Wilkes EA. Maintenance of the musculoskeletal mass by control of protein turnover: the concept of anabolic resistance and its relevance to the transplant recipient. *Ann Transplant*. 2005;10(4):31-4.
146. Short KR, Nair KS. The effect of age on protein metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2000 Jan;3(1):39-44.
147. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Sembo I, Redlund-Johnell I, Dawson A, et al. Long-term risk of osteoporotic fracture in Malmo. *Osteoporos Int*. 2000;11(8):669-74.
148. Organization WH. Prevention and Management of Osteoporosis: Report of a WHO Scientific Group: World Health Organization; 2003.
149. ACSM. ACSM Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 1998 Jun;30(6):975-91.
150. Frost HM. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *Angle Orthod*. 1994;64(3):175-88.
151. Marques EA, Mota J, Machado L, Sousa F, Coelho M, Moreira P, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits

favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int.* 2011 Feb;88(2):117-29.

152. Pioreschi A, Oosthuysen T, Avidon I, McVeigh J. Whole body vibration increases hip bone mineral density in road cyclists. *Int J Sports Med.* 2012 Aug;33(8):593-9.

153. Rauch F, Sievanen H, Boonen S, Cardinale M, Degens H, Felsenberg D, et al. Reporting whole-body vibration intervention studies: recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *J Musculoskel Neuron.* 2010 Sep;10(3):193-8.

154. Liu PY, Brummel-Smith K, Ilich JZ. Aerobic exercise and whole-body vibration in offsetting bone loss in older adults. *J Aging Res.* 2011 Jan 03;2011:379674.

155. Karakiriou SK, Douada HT, Smilios IG, Volaklis KA, Tokmakidis SP. Effects of vibration and exercise training on bone mineral density and muscle strength in post-menopausal women. *Eur J Sport Sci.* 2012;12(1):81-8.

156. Lai CL, Tseng SY, Chen CN, Liao WC, Wang CH, Lee MC, et al. Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Clin Interv Aging.* 2013;8:1603-9.

157. Davis R, Rowe J, Nichols DL, Sanborn CF, DiMarco NM. Effects of Two Intensities of Whole Body Vibration on Fall Related Risk Factors in Postmenopausal Women. *J Womens Health, Issues Care* 3. 2014;6:2.

158. Ruan XY, Jin FY, Liu YL, Peng ZL, Sun YG. Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chin Med J (Engl).* 2008 Jul 5;121(13):1155-8.

159. Slatkovska L, Alibhai SM, Beyene J, Hu H, Demaras A, Cheung AM. Effect of 12 months of whole-body vibration therapy on bone density and structure in postmenopausal women: a randomized trial. *Ann Intern Med.* 2011 Nov 15;155(10):668-79, W205.

160. Von Stengel S, Kemmler W, Bebenek M, Engelke K, Kalender WA. Effects of whole-body vibration training on different devices on bone mineral density. *Med Sci Sports Exerc.* 2011 Jun;43(6):1071-9.

161. Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M. Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate. *Aging Clin Exp Res.* 2005 Apr;17(2):157-63.
162. Slatkowska L, Beyene J, Alibhai SM, Wong Q, Sohail QZ, Cheung AM. Effect of whole-body vibration on calcaneal quantitative ultrasound measurements in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Calcif Tissue Int.* 2014 Dec;95(6):547-56.
163. Kleinöder H, Mester J. Sicherheit und Leistungsoptimierung im Vibrationstraining1. *BISP Jahrbuch.* 2003:253-8.
164. Yue Z, Mester J. A Modal Analysis of Resonance during the Whole-Body Vibration. *Stud Appl Math.* 2004;112(3):293-314.
165. Rubin C, Pope M, Fritton JC, Magnusson M, Hansson T, McLeod K. Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003 Dec 1;28(23):2621-7.
166. Duque G, Troen BR. Understanding the mechanisms of senile osteoporosis: new facts for a major geriatric syndrome. *J Am Geriatr Soc.* 2008 May;56(5):935-41.
167. Larson CM, Henderson RC. Bone mineral density and fractures in boys with Duchenne muscular dystrophy. *J Pediatr Orthop.* 2000 Jan-Feb;20(1):71-4.
168. Apkon S, Coll J. Use of weekly alendronate to treat osteoporosis in boys with muscular dystrophy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2008 Feb;87(2):139-43.
169. Giangregorio L, McCartney N. Bone loss and muscle atrophy in spinal cord injury: epidemiology, fracture prediction, and rehabilitation strategies. *J Spinal Cord Med.* 2006;29(5):489-500.
170. Murphy S, Khaw KT, Cassidy A, Compston JE. Sex hormones and bone mineral density in elderly men. *Bone Miner.* 1993 Feb;20(2):133-40.

171. Kelly PJ, Pocock NA, Sambrook PN, Eisman JA. Dietary calcium, sex hormones, and bone mineral density in men. *BMJ*. 1990 May 26;300(6736):1361-4.
172. Greendale GA, Edelstein S, Barrett-Connor E. Endogenous sex steroids and bone mineral density in older women and men: the Rancho Bernardo Study. *J Bone Miner Res*. 1997 Nov;12(11):1833-43.
173. Kiiski J, Heinonen A, Jarvinen TL, Kannus P, Sievanen H. Transmission of vertical whole body vibration to the human body. *J Bone Miner Res*. 2008 Aug;23(8):1318-25.
174. Slatkowska L, Alibhai SM, Beyene J, Cheung AM. Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*. 2010 Dec;21(12):1969-80.
175. Oliveira LC, Oliveira RG, Pires-Oliveira DA. Effects of whole body vibration on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*. 2016 May 4.
176. Patel HP, Syddall HE, Jameson K, Robinson S, Denison H, Roberts HC, et al. Prevalence of sarcopenia in community-dwelling older people in the UK using the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) definition: findings from the Hertfordshire Cohort Study (HCS). *Age Ageing*. 2013 May;42(3):378-84.
177. Marcus R. Role of exercise in preventing and treating osteoporosis. *Rheum Dis Clin North Am*. 2001 Feb;27(1):131-41, vi.
178. Riggs BL, Melton LJ, 3rd. The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone*. 1995 Nov;17(5 Suppl):505S-11S.
179. Freiburger E, Sieber C, Pfeifer K. Physical activity, exercise, and sarcopenia - future challenges. *Wien Med Wochenschr*. 2011 Sep;161(17-18):416-25.
180. Walston JD. Sarcopenia in older adults. *Curr Opin Rheumatol*. 2012 Nov;24(6):623-7.
181. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Johansson H, McCloskey E. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporos Int*. 2008 Apr;19(4):385-97.

182. Blain H, Jaussent A, Thomas E, Micallef JP, Dupuy AM, Bernard PL, et al. Appendicular skeletal muscle mass is the strongest independent factor associated with femoral neck bone mineral density in adult and older men. *Exp Gerontol*. 2010 Sep;45(9):679-84.
183. Genaro PS, Pereira GA, Pinheiro MM, Szejnfeld VL, Martini LA. Influence of body composition on bone mass in postmenopausal osteoporotic women. *Arch Gerontol Geriatr*. 2010 Nov-Dec;51(3):295-8.
184. Schoenau E. From mechanostat theory to development of the "Functional Muscle-Bone-Unit". *J Musculoskel Neuron*. 2005 Jul-Sep;5(3):232-8.
185. Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Feb;43(2):249-58.
186. Kannus P, Sievanen H, Vuori I. Physical loading, exercise, and bone. *Bone*. 1996 Jan;18(1 Suppl):1S-3S.
187. Frost HM. On our age-related bone loss: insights from a new paradigm. *J Bone Miner Res*. 1997 Oct;12(10):1539-46.
188. Bocalini DS, Serra AJ, dos Santos L, Murad N, Levy RF. Strength training preserves the bone mineral density of postmenopausal women without hormone replacement therapy. *J Aging Health*. 2009 Jun;21(3):519-27.
189. Brentano MA, Cadore EL, Da Silva EM, Ambrosini AB, Coertjens M, Petkowicz R, et al. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res*. 2008 Nov;22(6):1816-25.
190. Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE, Donnelly M, Warren J, Elliot J. Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med*. 2000 Feb;34(1):18-22.
191. Romero-Arenas S, Martinez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging Dis*. 2013 Oct 01;4(5):256-63.

192. Aragao FR, Abrantes CG, Gabriel RE, Sousa MF, Castelo-Branco C, Moreira MH. Effects of a 12-month multi-component exercise program on the body composition of postmenopausal women. *Climacteric*. 2014 Apr;17(2):155-63.
193. Kemmler W, von Stengel S, Engelke K, Haberle L, Kalender WA. Exercise effects on bone mineral density, falls, coronary risk factors, and health care costs in older women: the randomized controlled senior fitness and prevention (SEFIP) study. *Arch Intern Med*. 2010 Jan 25;170(2):179-85.
194. Martyn-St James M, Carroll S. A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *Br J Sports Med*. 2009 Dec;43(12):898-908.
195. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Int J Surg*. 2010;8(5):336-41.
196. Higgins JP, Altman DG, Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2011 Oct 18;343:d5928.
197. Rossi FE, Fortaleza AC, Neves LM, Buonani C, Picolo MR, Diniz TA, et al. Combined Training (Aerobic Plus Strength) Potentiates a Reduction in Body Fat but Demonstrates No Difference on the Lipid Profile in Postmenopausal Women When Compared With Aerobic Training With a Similar Training Load. *J Strength Cond Res*. 2016 Jan;30(1):226-34.
198. Bravo G, Gauthier P, Roy PM, Payette H, Gaulin P, Harvey M, et al. Impact of a 12-month exercise program on the physical and psychological health of osteopenic women. *J Am Geriatr Soc*. 1996 Jul;44(7):756-62.
199. Multanen J, Nieminen MT, Hakkinen A, Kujala UM, Jamsa T, Kautiainen H, et al. Effects of high-impact training on bone and articular cartilage: 12-month randomized controlled quantitative MRI study. *J Bone Miner Res*. 2014 Jan;29(1):192-201.
200. Tolomio S, Ermolao A, Lalli A, Zaccaria M. The effect of a multicomponent dual-modality exercise program targeting osteoporosis on bone health status and physical function capacity of postmenopausal women. *J Women Aging*. 2010;22(4):241-54.

201. Englund U, Littbrand H, Sondell A, Pettersson U, Bucht G. A 1-year combined weight-bearing training program is beneficial for bone mineral density and neuromuscular function in older women. *Osteoporos Int.* 2005 Sep;16(9):1117-23.
202. Park H, Kim KJ, Komatsu T, Park SK, Mutoh Y. Effect of combined exercise training on bone, body balance, and gait ability: a randomized controlled study in community-dwelling elderly women. *J Bone Miner Metab.* 2008;26(3):254-9.
203. Chuin A, Labonte M, Tessier D, Khalil A, Bobeuf F, Doyon CY, et al. Effect of antioxidants combined to resistance training on BMD in elderly women: a pilot study. *Osteoporos Int.* 2009 Jul;20(7):1253-8.
204. Korpelainen R, Keinänen-Kiukaanniemi S, Heikkinen J, Vaananen K, Korpelainen J. Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: a population-based randomized controlled 30-month intervention. *Osteoporos Int.* 2006 Jan;17(1):109-18.
205. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, Uusi-Rasi K, Pasanen M, Ojala K, et al. A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: randomized, controlled trial. *Osteoporos Int.* 2007 Apr;18(4):453-62.
206. Short KR, Vittone JL, Bigelow ML, Proctor DN, Nair KS. Age and aerobic exercise training effects on whole body and muscle protein metabolism. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2004 Jan;286(1):E92-101.
207. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med.* 2004;34(10):663-79.
208. Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009 Jul;41(7):1510-30.
209. Stevens JA, Corso PS, Finkelstein EA, Miller TR. The costs of fatal and non-fatal falls among older adults. *Inj Prev.* 2006 Oct;12(5):290-5.

210. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, Uusi-Rasi K, Fogelholm M, Kannus P. Maintenance of exercise-induced benefits in physical functioning and bone among elderly women. *Osteoporos Int.* 2009 Apr;20(4):665-74.
211. Doherty TJ, Vandervoort AA, Brown WF. Effects of ageing on the motor unit: a brief review. *Can J Appl Physiol.* 1993 Dec;18(4):331-58.
212. Evans WJ. What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995 Nov;50 Spec No:5-8.
213. Serrano S, Mariñoso M. Bases histológicas de la histomorfometría ósea. In: Serrano S, Aubia J, Mariñoso M, editors. *Patología Osea Metabólica.* Barcelona: Doyma; 1990. p. 55-70.
214. Yuen KW, Kwok TC, Qin L, Leung JC, Chan DC, Kwok AW, et al. Characteristics of age-related changes in bone compared between male and female reference Chinese populations in Hong Kong: a pQCT study. *J Bone Miner Metab.* 2010 Nov;28(6):672-81.
215. Bravo G, Gauthier P, Roy PM, Payette H, Gaulin P. A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: its impact on bone, functional fitness, and well-being. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997 Dec;78(12):1375-80.
216. de Matos O, Lopes da Silva DJ, Martinez de Oliveira J, Castelo-Branco C. Effect of specific exercise training on bone mineral density in women with postmenopausal osteopenia or osteoporosis. *Gynecol Endocrinol.* 2009 Sep;25(9):616-20.
217. Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, Trice I, Greenberg RA, Evans WJ. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *JAMA.* 1994 Dec 28;272(24):1909-14.
218. Kerr D, Ackland T, Maslen B, Morton A, Prince R. Resistance training over 2 years increases bone mass in calcium-replete postmenopausal women. *J Bone Miner Res.* 2001 Jan;16(1):175-81.
219. Romero-Arenas S, Pérez-Gómez J, Alcaraz PE. Circuit training. A useful tool for preventing the effects of aging? *Cult Cienc Deporte.* 2011;6(18).

220. Tanaka SM, Li J, Duncan RL, Yokota H, Burr DB, Turner CH. Effects of broad frequency vibration on cultured osteoblasts. *J Biomech.* 2003 Jan;36(1):73-80.
221. Kaspar D, Seidl W, Neidlinger-Wilke C, Ignatius A, Claes L. Dynamic cell stretching increases human osteoblast proliferation and C1P synthesis but decreases osteocalcin synthesis and alkaline phosphatase activity. *J Biomech.* 2000 Jan;33(1):45-51.
222. Melnyk M, Kofler B, Faist M, Hodapp M, Gollhofer A. Effect of a whole-body vibration session on knee stability. *Int J Sports Med.* 2008 Oct;29(10):839-44.
223. Heinonen A, Kannus P, Sievanen H, Oja P, Pasanen M, Rinne M, et al. Randomised controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk factors for osteoporotic fractures. *Lancet.* 1996 Nov 16;348(9038):1343-7.
224. Mian OS, Thom JM, Ardigo LP, Morse CI, Narici MV, Minetti AE. Effect of a 12-month physical conditioning programme on the metabolic cost of walking in healthy older adults. *Eur J Appl Physiol.* 2007 Jul;100(5):499-505.
225. Bank PJ, Roerdink M, Peper CE. Comparing the efficacy of metronome beeps and stepping stones to adjust gait: steps to follow! *Exp Brain Res.* 2011 Mar;209(2):159-69.
226. McCarthy JP, Agre JC, Graf BK, Pozniak MA, Vailas AC. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1995 Mar;27(3):429-36.
227. Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003 Dec;84(12):1854-7.
228. Vainionpaa A, Korpelainen R, Leppaluoto J, Jamsa T. Effects of high-impact exercise on bone mineral density: a randomized controlled trial in premenopausal women. *Osteoporos Int.* 2005 Feb;16(2):191-7.
229. Binder EF, Brown M, Sinacore DR, Steger-May K, Yarasheski KE, Schechtman KB. Effects of extended outpatient rehabilitation after hip fracture: a randomized controlled trial. *JAMA.* 2004 Aug 18;292(7):837-46.

230. Roghani T, Torkaman G, Movasseghe S, Hedayati M, Goosheh B, Bayat N. Effects of short-term aerobic exercise with and without external loading on bone metabolism and balance in postmenopausal women with osteoporosis. *Rheumatol Int.* 2013 Feb;33(2):291-8.
231. Yoo J, Joh H, Do H, Oh S, Lym Y, Choi J. Effects of whole body vibration exercise on body weight and body composition in young adults. *Korean J Fam Med.* 2009;30 (2):112-9.
232. Calendo LR, Taeymans J, Rogan S. [Does muscle activation during whole-body vibration induce bone density improvement in postmenopausal women?--A systematic review]. *Sportverletz Sportschaden.* 2014 Sep;28(3):125-31.
233. Milanese C, Piscitelli F, Simoni C, Pugliarello R, Zancanaro C. Effects of whole-body vibration with or without localized radiofrequency on anthropometry, body composition, and motor performance in young nonobese women. *J Altern Complement Med.* 2012 Jan;18(1):69-75.
234. Cristi-Montero C, Cuevas MJ, Collado PS. Whole-body vibration training as complement to programs aimed at weight loss. *Nutr Hosp.* 2013 Sep-Oct;28(5):1365-71.
235. Bosco C, Colli R, Introiini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol.* 1999 Mar;19(2):183-7.
236. Cadore EL, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, Idoate F, Millor N, Gomez M, et al. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr).* 2014 Apr;36(2):773-85.
237. Martinez F, Rubio JA, Ramos DJ, Esteban P, Mendizabal S, Jimenez F. Effects of 6-week whole body vibration training on the reflex response of the ankle muscles: a randomized controlled trial. *Int J Sports Phys Ther.* 2013 Feb;8(1):15-24.
238. Melnyk M, Schloz C, Schmitt S, Gollhofer A. Neuromuscular ankle joint stabilisation after 4-weeks WBV training. *Int J Sports Med.* 2009 Jun;30(6):461-6.

239. Burnfield JM, Josephson KR, Powers CM, Rubenstein LZ. The influence of lower extremity joint torque on gait characteristics in elderly men. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000 Sep;81(9):1153-7.
240. Fox J, Docherty CL, Schrader J, Applegate T. Eccentric plantar-flexor torque deficits in participants with functional ankle instability. *J Athl Train.* 2008 Jan-Mar;43(1):51-4.
241. McCaw ST, Cerullo JF. Prophylactic ankle stabilizers affect ankle joint kinematics during drop landings. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 May;31(5):702-7.
242. Lin WH, Liu YF, Hsieh CC, Lee AJ. Ankle eversion to inversion strength ratio and static balance control in the dominant and non-dominant limbs of young adults. *J Sci Med Sport.* 2009 Jan;12(1):42-9.
243. Pizzigalli L, Filippini A, Ahmaidi S, Jullien H, Rainoldi A. Prevention of falling risk in elderly people: the relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. *J Strength Cond Res.* 2011 Feb;25(2):567-74.
244. Rolland YM, Perry HM, 3rd, Patrick P, Banks WA, Morley JE. Loss of appendicular muscle mass and loss of muscle strength in young postmenopausal women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2007 Mar;62(3):330-5.
245. Tanko LB, Movsesyan L, Mouritzen U, Christiansen C, Svendsen OL. Appendicular lean tissue mass and the prevalence of sarcopenia among healthy women. *Metabolism.* 2002 Jan;51(1):69-74.
246. Hansen RD, Allen BJ. Habitual physical activity, anabolic hormones, and potassium content of fat-free mass in postmenopausal women. *Am J Clin Nutr.* 2002 Feb;75(2):314-20.
247. Schaap LA, Pluijm SM, Deeg DJ, Visser M. Inflammatory markers and loss of muscle mass (sarcopenia) and strength. *Am J Med.* 2006 Jun;119(6):526 e9-17.
248. Kenny AM, Dawson L, Kleppinger A, Iannuzzi-Sucich M, Judge JO. Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in nonobese women who are long-term users of estrogen-replacement therapy. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2003 May;58(5):M436-40.

249. Bullamore JR, Wilkinson R, Gallagher JC, Nordin BE, Marshall DH. Effect of age on calcium absorption. *Lancet*. 1970 Sep 12;2(7672):535-7.
250. Garnero P, Sornay-Rendu E, Duboeuf F, Delmas PD. Markers of bone turnover predict postmenopausal forearm bone loss over 4 years: the OFELY study. *J Bone Miner Res*. 1999 Sep;14(9):1614-21.
251. Carvalho MJ, Marques E, Mota J. Training and detraining effects on functional fitness after a multicomponent training in older women. *Gerontology*. 2009;55(1):41-8.
252. Sugiyama T, Yamaguchi A, Kawai S. Effects of skeletal loading on bone mass and compensation mechanism in bone: a new insight into the "mechanostat" theory. *J Bone Miner Metab*. 2002;20(4):196-200.
253. Burke D, Schiller HH. Discharge pattern of single motor units in the tonic vibration reflex of human triceps surae. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1976 Aug;39(8):729-41.
254. Hagbarth KE, Eklund G. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Res*. 1966 Aug;2(2):201-3.
255. Tsuji T, Yoon J, Aiba T, Kanamori A, Okura T, Tanaka K. Effects of whole-body vibration exercise on muscular strength and power, functional mobility and self-reported knee function in middle-aged and older Japanese women with knee pain. *Knee*. 2014 Dec;21(6):1088-95.
256. Frost HM. The skeletal intermediary organization. *Metab Bone Dis Relat Res*. 1983;4(5):281-90.
257. Leung KS, Li CY, Tse YK, Choy TK, Leung PC, Hung VW, et al. Effects of 18-month low-magnitude high-frequency vibration on fall rate and fracture risks in 710 community elderly--a cluster-randomized controlled trial. *Osteoporos Int*. 2014 Jun;25(6):1785-95.
258. Movaseghi F, Sadeghi H. Effect of Three-year Multi-Component Exercise Training on Bone Mineral Density and Content in a Postmenopausal Woman with Osteoporosis: A Case Report. *Iran J Public Health*. 2015 May;44(5):701-4.

259. Stewart KJ, Bacher AC, Hees PS, Tayback M, Ouyang P, Jan de Beur S. Exercise effects on bone mineral density relationships to changes in fitness and fatness. *Am J Prev Med.* 2005 Jun;28(5):453-60.
260. Garatachea N, Jimenez A, Bresciani G, Marino NA, Gonzalez-Gallego J, de Paz JA. The effects of movement velocity during squatting on energy expenditure and substrate utilization in whole-body vibration. *J Strength Cond Res.* 2007 May;21(2):594-8.
261. Forsberg AM, Nilsson E, Werneman J, Bergstrom J, Hultman E. Muscle composition in relation to age and sex. *Clin Sci (Lond).* 1991 Aug;81(2):249-56.
262. Breen L, Phillips SM. Interactions between exercise and nutrition to prevent muscle waste during ageing. *Br J Clin Pharmacol.* 2013 Mar;75(3):708-15.
263. Ebid AA, Ahmed MT, Mahmoud Eid M, Mohamed MS. Effect of whole body vibration on leg muscle strength after healed burns: a randomized controlled trial. *Burns.* 2012 Nov;38(7):1019-26.
264. Johnston RM, Bishop B, Coffey GH. Mechanical vibration of skeletal muscles. *Phys Ther.* 1970 Apr;50(4):499-505.
265. Kang S, Hwang S, Klein AB, Kim SH. Multicomponent exercise for physical fitness of community-dwelling elderly women. *J Phys Ther Sci.* 2015 Mar;27(3):911-5.
266. Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int.* 1997;7(5):407-13.
267. Bassey EJ, Rothwell MC, Littlewood JJ, Pye DW. Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J Bone Miner Res.* 1998 Dec;13(12):1805-13.
268. Ryan AS, Ivey FM, Hurlbut DE, Martel GF, Lemmer JT, Sorkin JD, et al. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *Scand J Med Sci Sports.* 2004 Feb;14(1):16-23.
269. Villareal DT, Binder EF, Yarasheski KE, Williams DB, Brown M, Sinacore DR, et al. Effects of exercise training added to ongoing hormone replacement therapy on bone mineral density in frail elderly women. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51(7):985-90.

270. Gomez-Cabello A, Gonzalez-Aguero A, Morales S, Ara I, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G. Effects of a short-term whole body vibration intervention on bone mass and structure in elderly people. *J Sci Med Sport*. 2014 Mar;17(2):160-4.
271. Zaki ME. Effects of whole body vibration and resistance training on bone mineral density and anthropometry in obese postmenopausal women. *J Osteoporos*. 2014;2014:702589.
272. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (Rev. ed.). New York: Academic. 1977.
273. Bemben DA, Palmer IJ, Bemben MG, Knehans AW. Effects of combined whole-body vibration and resistance training on muscular strength and bone metabolism in postmenopausal women. *Bone*. 2010 Sep;47(3):650-6.
274. Jacobs PL, Burns P. Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res*. 2009 Jan;23(1):51-7.
275. Spiliopoulou SI, Amiridis IG, Tsigganos G, Economides D, Kellis E. Vibration effects on static balance and strength. *Int J Sports Med*. 2010 Sep;31(9):610-6.
276. Torvinen S, Kannu P, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002 Mar;22(2):145-52.
277. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002 Nov;81(11 Suppl):S3-16.
278. Kraemer W, Ratamess N. Physiology of resistance training: current issues. *Orthop Phys Ther Clin N Am*. 2000;9(4):467-514.
279. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. 2007;37(2):145-68.

XVII. ANEXOS

ANEXO 1: Artículo 1

Rubio-Arias JA, Marín-Cascales E, Ramos-Campo DJ, Martínez-Rodríguez A, Chung LH, Alcaraz PE. The effect of whole-body vibration training on lean mass in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Menopause*. 2017 Feb;24(2): 225-31.

Review Article

The effect of whole-body vibration training on lean mass in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis

Jacobo Á. Rubio-Arias, PhD,^{1,2} Elena Marín-Cascales, MSc,^{1,2} Domingo J. Ramos-Campo, PhD,^{1,2}
Alejandro Martínez, PhD,^{1,2} Linda H. Chung, PhD,^{1,2} and Pedro E. Alcaraz, PhD^{1,2}

Abstract

Objective: The purpose of the present systematic review and meta-analysis was to evaluate published, randomized controlled trials that investigated the effects of whole-body vibration training (WBVT) on lean mass in postmenopausal women.

Methods: The following electronic databases were searched from September to October 2015: PubMed, Web of Science, and Cochrane. Two different authors tabulated, independently, the selected indices in identical pre-determined forms. The methodological quality of all randomized trial studies was evaluated according to the modified PEDro scale. In each trial, the effect size of the intervention was calculated by the difference between pre- and postintervention lean mass in WBVT postmenopausal women. For controlled trials, the effect size of the WBVT was also calculated by the difference in lean mass after the WBVT and in control participants.

Results: Of the 189 articles found from the database search and all duplicates removed, 5 articles were analyzed. The lean mass of 112 postmenopausal women who performed either WBVT or a control protocol was evaluated. The methodological quality of the trials was high, where the mean score was 8 out of a possible 10 points. No significant improvements in lean mass with WBVT were found in postmenopausal women. In addition, there was no significant difference in lean mass between WBVT and control postmenopausal women.

Conclusions: This meta-analysis demonstrated that WBVT alone may not be a sufficient stimulus to increase lean mass in postmenopausal women. Thus, additional complimentary training methods with WBVT are needed to increase muscle size in women with lower hormonal responses.

Key Words: Muscle mass – WBV – Women.

As life expectancy has shown to increase over the years in both developed and less developed countries,¹ there is also a concurrent increase in health-related problems, such as sarcopenia and bone health. Sarcopenia is a multifactorial condition associated with decreased muscle mass, physical inactivity, loss of neuromuscular function, altered endocrine function, and genetic factors among others. Cross-sectional studies have observed an accelerated loss of muscle strength² at a time when menopause generally occurs.³ The decrement in strength and muscle mass is particularly evident in older, postmenopausal women,⁴ and it has been shown that decreases in power

(force × velocity) are associated with declines in physical performance.^{5,6} Furthermore, age-related sarcopenia may be a risk factor for osteoporosis and may consequently increase the risk of bone fractures.^{7,8} Osteoporosis is characterized by a decrease in bone mass due to a higher rate of bone resorption and lower rate of bone formation.⁹ There is a higher prevalence of osteoporosis and increasing number of osteoporotic fractures with age,¹⁰ particularly in postmenopausal women.¹¹ Low bone mass is correlated with the level of osteoporosis, fracture risk, and body composition.¹²

As muscle mass is positively correlated with osteoporosis in women,^{7,8} resistance training studies have shown improvement in muscle mass, strength, and physical function in older adults.¹³ Interestingly, whole-body vibration training (WBVT) on a vibrating platform may be an alternative approach to increase strength and power,¹⁴ and it could provide improvements in neuromuscular function and musculoskeletal properties, which are similar adaptations observed from traditional training.¹⁵⁻¹⁸ Vibration training exercise is thought to use proprioceptive spinal reflexes to increase muscle function by enhancing muscle spindle excitatory signalling and lowering the inhibitory response of the

Received April 13, 2016; revised and accepted July 24, 2016.

From the ¹Department of Physical Activity and Sports Sciences, Faculty of Sports, Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), Murcia, Spain; and ²UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University, Murcia, Spain.

Funding/support: None.

Financial disclosure/conflicts of interest: None reported.

Address correspondence to: Jacobo Á. Rubio-Arias, PhD, UCAM, Campus de los Jerónimos, N° 135 Guadalupe, Murcia 30107, Spain.
E-mail: jararias@ucam.edu

RUBIO-ARIAS ET AL

Golgi Tendon Organ to the motoneuron pool.¹⁹ Increased activation of propriospinal pathways and increased strength of lower limbs have been observed with WBVT in untrained females.¹⁴ Changes in musculoskeletal properties and bone mineral density²⁰ may be partially explained by the oscillatory action of the vibration, as it places more demand on the biological tissues (ie, muscle and bone) to absorb and dampen the energy that is being transferred from the actuator (the vibratory source). Thus, WBVT may slow down age-related changes and improve muscle function and bone health.

In postmenopausal women²¹ and older women,²² WBVT has beneficial effects on muscle strength and muscle mass. Roelants et al²³ showed that, after 24 weeks of WBVT, previously untrained females increased fat-free mass, but did not have any change in body mass, total body fat, or subcutaneous fat. In addition, Verschueren et al²⁴ did not observe an increase in muscle mass after 6 months of WBVT in postmenopausal women (60-70 y). Therefore, these findings indicate that WBVT is an effective method for improving muscle mass and reducing the risk factors associated with sarcopenia in postmenopausal women. Therefore, it remains unclear if WBVT has a beneficial effect on lean mass in postmenopausal women. Thus, the purpose of this systematic review and meta-analysis was to evaluate published,

randomized controlled trials (RCTs) that investigated the effects of WBVT on lean mass in postmenopausal women.

METHODS

Study design

The present research followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses guidelines.²⁵ Eligibility criteria were predetermined by the authors. Only RCTs studies were considered for inclusion in the present review. Two different authors (J.A.R.-A. and E.M.-C.) tabulated, independently, the selected indices in identical predetermined forms. Any discrepancies in methodology, retrieval of articles, and statistical analysis were resolved by the consensus of all authors.

Literature search and data collection

The following electronic databases were searched from September to October 2015: PubMed, Web of Science, and Cochrane. The following keyword combinations were used: "postmenopausal women" OR "women" OR "older women" OR "elderly" AND "whole body vibration" OR "WBV" AND "muscle mass" OR "lean mass." Figure 1 shows a flow diagram of the results from the entire search process.

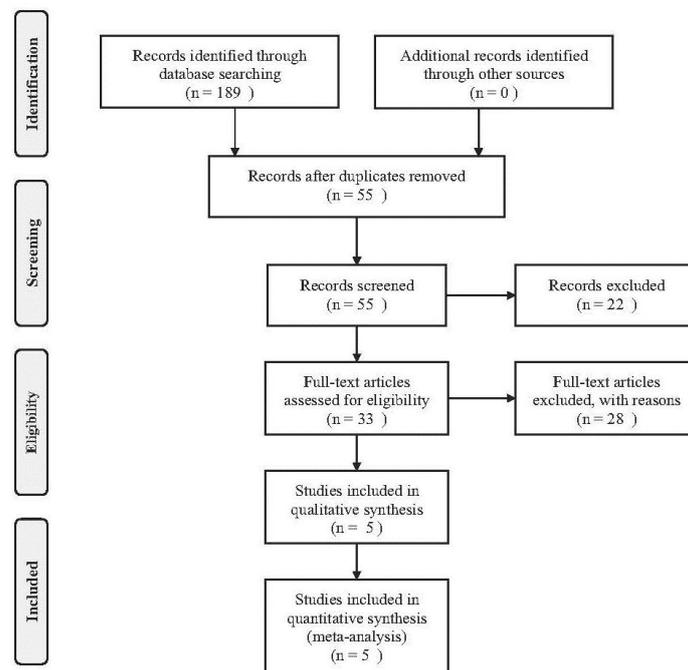


FIG. 1. Flow diagram of the study selection process.

WBVT ON LEAN MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

Selection criteria

Only clinical, whole-body vibration, RCTs published in the English language were included. Review articles and case reports were not included and considered for analysis. For the meta-analysis, studies were selected if (1) the aim of the study was to examine the effects of WBVT on muscle mass or lean mass; (2) the age of the target population was between 55 and 75 years; (3) the definition of the postmenopausal period was the years after the year when menstruation ceased; (4) the intervention used was WBVT; (5) the outcome variables were muscle mass, lean mass, or fat-free mass; and (6) the training duration was several weeks long and composed of several training sessions. Studies were excluded if (1) the training intervention was different from WBVT; (2) there was no control group; and (3) the trials were not randomized.

Quality assessment

The methodological quality of all randomized trial studies were evaluated according to the modified PEDro scale, using the following criteria: (1) eligibility criteria were specified, (2) women were randomly allocated to groups (in a crossover study, participants were randomly allocated to treatments groups), (3) allocation was concealed, (4) the groups were similar at baseline with regard to the most important prognostic indicators, (5) all participants were blinded to the interventions, (6) all therapists who administered the therapy were blinded, (7) there was blinding of all assessors who measured at least one key outcome, (8) measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the participants initially allocated to groups, (9) all participants for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least one key outcome were analyzed by "intention to treat," (10) the results of between-group statistical comparisons were reported for at least one key outcome, and (11) the study provided both point measures and measures of variability for at least one key outcome.

Statistical methods

The meta-analysis and statistical analyses were performed using Review Manager software (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, UK) and Comprehensive Meta-analysis software (Version 2; Biostat, Englewood, NJ). For each trial, the effect size of the intervention was calculated by the difference between pre- and postintervention muscle mass or lean mass in WBVT postmenopausal women. For controlled trials, the effect size of the WBVT was also calculated by the difference in muscle mass or lean mass after the WBVT and in control participants, and by the difference in body composition (specifically muscle mass or lean mass) after the intervention between WBVT and control postmenopausal women.

Because there were many different protocols for WBVT among the different studies (Table 1), the inverse variance method³⁰ was used to standardize the mean differences by dividing the values with their corresponding SD. The standardized mean difference (SMD) in each trial was pooled using the random effects model.³¹ According to Cohen guidelines,³² SMD of 0.2, 0.5, and 0.8 represents small, medium, and large effect sizes, respectively.

Heterogeneity between studies was assessed using I^2 statistics. Potential moderating factors were evaluated by subgroup analysis, comparing trials grouped by dichotomous or continuous variables that could potentially influence muscle mass or lean mass in body composition measurements. Median values of continuous variables were used as cutoff values for grouping the trials. Changes in potential moderating factors were expressed and analyzed as the difference between post- and preintervention values. Publication bias was evaluated using the estimating funnel plot asymmetry test. A $P \leq 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS

The database search found 189 articles, and after removal of all duplicates, only 5 articles complied with the inclusion criteria and were analyzed for meta-analysis. The muscle mass or lean mass of a total of 112 postmenopausal women

TABLE 1. Characteristics of WBVT intervention and muscle mass or lean mass assessment

Study (year of publication)	Type	WBVT intervention							Muscle mass or lean mass assessment	
		Frequency, wk ⁻¹	Session length, s	Duration, wk	No. of sessions	Frequency, Hz	Amplitude, mm	g	Measure	Units
Beck and Norling (2010) ²⁶	Hi	2	600	32	64	30	0-14	0.3	DXA	kg
	Low	2	600	32	64	12.5	0-14	1	DXA	kg
Liphardt et al (2015) ²⁷	A	2-3	600	16	44	20	3-4	2.41-3.22	DXA	kg
	B	2-3	600	32	88	20	3-4		DXA	kg
	C	2-3	600	48	132	20	3-4		DXA	kg
Marín-Cascales et al (2015) ²¹		3	5-8 sets (60 s)	12	36	35	4	9.86	DXA	kg
Song et al (2011) ²⁸		2	600	8	16	22	2	1.98	Body Impedance Analysis	kg
Verschueren et al (2004) ²⁹		3	1,800	24	72	35-40	1.7-2.5	2.8-5	DXA	kg

Data are mean or range.

DXA, dual-energy x-ray absorptiometry; g, the acceleration (where 1 g is the acceleration due to the Earth's gravitational field or 9.81 m/s²); WBVT, whole-body vibration training.

RUBIO-ARIAS ET AL

TABLE 2. Description of included studies

Study (year of publication)		n			Age, y	Weight	Height	Disease	Medication status
		C	WBVT	Q, %					
Beck and Norling (2010) ²⁶	Hi	14	15	100	68.9 ± 7.0	61.4 ± 8.9	157.1 ± 0.1	None	None
	Low		13	100	68.5 ± 8.6	68.4 ± 10.3	160.2 ± 0.1	None	None
Liphardt et al (2015) ²⁷	A	14	17	100	59.1 ± 4.6	70.5 ± 12.9	159.7 ± 6.2	Osteopenia	None
	B								
	C								
Marin-Cascales et al (2015) ²¹		10	14	100	60.1 ± 5.8	78.1 ± 13.5	156.7 ± 5.2	None	None
Song et al (2011) ²⁸	—	—	15	100	56.4 ± 4.4	64.4 ± 5.4	154.7 ± 4.9	None	None
Verschueren et al (2004) ²⁹		23	25	100	64.6 ± 3.3	66.5 ± 8.9	159.0 ± 0.5	None	None

Description of C group only. Data are expressed in mean ± SD or n.
C, control group; WBVT, whole-body vibration training.

who underwent either WBVT or control protocol was evaluated. Figure 1 shows the flow diagram of the study selection process.

The methodological quality of the trials, according to the PEDro scale,³³⁻³⁵ was high. The mean score was 8 out of a possible 10 points. Based on the funnel plot for the SMD of muscle mass or lean mass between post- and preintervention in WBVT postmenopausal women, participants were notably symmetrical, suggesting the absence of a significant publication bias. Similarly, no significant publication bias was observed in the SMD of postintervention muscle mass or lean mass between WBVT and control postmenopausal women.

Table 2 shows an overall description of the five studies included in this review.^{21,26-29} Some of these studies included more than one intervention group or control group (ie, parallel group design). The characteristics of the WBVT intervention and type of muscle mass or lean mass assessment used in each study are shown in Table 1. There were no significant differences by group in the subgroup analyses (Table 3). The results from the SMD between post- and preintervention muscle mass or lean mass (see Fig. 2) and between experimental and control groups (Fig. 3) showed no significant differences.

DISCUSSION

The aim of this meta-analysis was to evaluate the existing literature regarding the effects of WBVT on lean mass in postmenopausal women. The meta-analysis showed that, in the RCTs, WBVT had no significant overall effect on lean mass in postmenopausal women, suggesting that this particular type of training did not provide sufficient stimulus for skeletal muscle hypertrophy.

When comparing the included studies, there were different WBVT protocols used to elicit muscle mass changes. With respect to the intensity level, there were differences in vibration frequency (12.5–40 Hz), vibration amplitude (0–14 mm), and acceleration (g; 0.3–9.86 m/s²) used between studies. The duration of the different protocols varied from 8 to 36 weeks of training with a weekly frequency of two to three sessions. The total number of sessions ranged from 16 to 132, and the length of each session varied from 300 (eg, 5 sets of 60 s) to 1,800 s. Four out of the five studies included in the

meta-analysis, however, used dual-energy x-ray absorptiometry, whereas one study used the Body Impedance Analysis to measure lean mass.

After WBVT, changes in muscle mass observed in some of the included studies do not seem to be explained by differences in the sample population characteristics (ie, number of participants, age, and body mass index). For example, three studies²⁷ with more than 15 participants and five studies^{21,26,28,29} with a higher number (13–25) of participants showed no changes in muscle mass. In addition, there were no significant differences between studies with different age groups (> 60 y old^{21,26,29} or < 60 y old^{27,28}), which suggests that age may not be a factor in observed changes in muscle mass after WBVT in postmenopausal women. Furthermore, differences in body mass index did not seem to be a contributing factor in muscle mass changes, indicating that WBVT produces the same effects on women with more than 27 kg/m² and with less than 27 kg/m².^{21,26-29}

Interestingly, the lack of change in muscle mass observed in this meta-analysis seems to be independent of the WBVT program characteristics. Studies with different total number of sessions (>44 sessions²⁷⁻²⁹ and with less^{21,26}) or different durations of WBVT (> 32 wk of duration^{21,26,27} or less^{28,29}) obtained similar results. Moreover, the use of different frequencies (>20 Hz^{21,26,28,29} or less^{26,27}) or different amplitudes (>2 g^{21,27,29} or less^{26,28}) found similar effects on muscle mass. Finally, studies with more than 8 points^{26,29} or less^{21,27,28} in the PEDro scale did not show significant differences in muscle mass values, thereby any differences in methodological quality did not affect the data.

Although the studies presented in this meta-analysis showed no increase in muscle mass after WBVT in postmenopausal women, studies have reported WBVT benefits in younger individuals. Six weeks of WBVT at a high intensity have been demonstrated to produce muscular hypertrophy in young, active participants.³⁶ In addition, significant increases in fat-free mass were observed after 24 weeks of training in sedentary women compared with other intervention groups.²³ As our results show, the increases in muscle mass cannot, however, be solely explained by the age of the women.

Several authors have suggested that WBVT could increase muscle strength,^{6,9,11-14} specifically by activating

WBVT ON LEAN MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

TABLE 3. Subgroup analyses assessing potential moderating factors for muscle mass or lean mass

Group	Number ^a	Studies		Muscle mass or lean mass			
		References		SMD (95% CI)	I ²	P	P _{Difference}
Population characteristics							
N							
>15	3	Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷		0.07 (-0.31 to 0.46)	0	0.71	0.92
≤15	5	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		0.05 (-0.26 to 0.35)	0	0.63	
Age							
≥60 y	4	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		0.12 (-0.22 to 0.65)	0	0.50	0.62
<60 y	4	Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷ ; Song et al (2011) ²⁸		-0.00 (-0.35 to 0.34)	0	0.98	
BMI							
≥27 kg/m ²	4	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷		0.16 (-0.18 to 0.51)	0	0.36	0.41
<27 kg/m ²	4	Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶ ; Song et al (2011) ²⁸ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		-0.04 (-0.38 to 0.29)	0	0.81	
Exercise characteristics							
No. of sessions							
≥44 sessions	5	Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷ ; Song et al (2011) ²⁸ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		-0.02 (-0.31 to 0.27)	0	0.91	0.37
<44 sessions	3	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶		0.22 (-0.21 to 0.65)	0	0.32	
Duration							
≥32 wk	5	Liphardt et al (2015) B, C ²⁷ ; Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶		0.16 (-0.16 to 0.48)	0	0.32	0.33
<32 wk	3	Liphardt et al (2015) A ²⁷ ; Song et al (2011) ²⁸ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		-0.08 (-0.45 to 0.29)	0	0.67	
WBV frequency							
>20 Hz	4	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Beck and Norling (2010) Hi ²⁶ ; Song et al (2011) ²⁸ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		0.01 (-0.33 to 0.34)	0	0.97	0.68
<20 Hz	4	Beck and Norling (2010) Low ²⁶ ; Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷		0.11 (-0.24 to 0.46)	0	0.53	
WBV amplitude							
>2 g	5	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		0.10 (-0.19 to 0.40)	0	0.50	0.60
≤2 g	3	Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶ ; Song et al (2011) ²⁸		-0.04 (-0.46 to 0.39)	0	0.87	
Methodological quality							
PEDro scale							
≥8 points	3	Beck and Norling (2010) Hi, Low ²⁶ ; Verschueren et al (2004) ²⁹		0.02 (-0.36 to 0.40)	0	0.91	0.81
<8 points	5	Marín-Cascales et al (2015) ²¹ ; Liphardt et al (2015) A, B, C ²⁷ ; Song et al (2011) ²⁸		0.08 (-0.23 to 0.39)	0	0.55	

BMI, body mass index; I², heterogeneity; P, test for overall effect; P_{Difference}, test for subgroup differences; SMD, standardized mean difference; WBV, whole-body vibration.

^aThe total number of whole-body vibration-trained postmenopausal women groups.

fast-twitch muscle fibers.^{14,37} With aging there is a decline in muscle mass that is mainly attributed to the decreases in the size of type II fibers and not due to substantial muscle fiber loss.³⁸ Thus, it is plausible that the muscle

strength increases observed with WBVT may be due to neuromuscular adaptations, and WBVT may help maintain muscle mass (ie, muscle fiber size) in postmenopausal women.

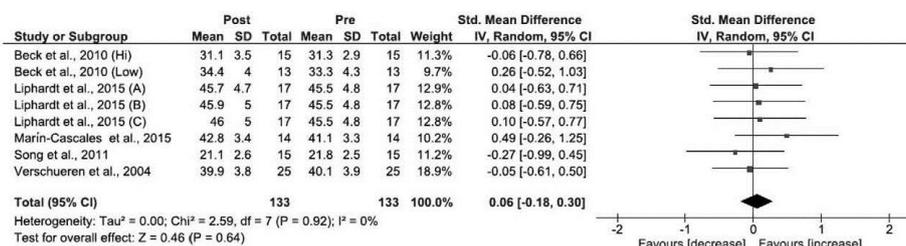


FIG. 2. SMD between post- and preintervention lean mass (kg) in WBVT postmenopausal women. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. Because the SMD method does not correct for differences in the direction of the scale, mean values of some trials were multiplied by -1 to ensure that all scales pointed in the same direction. SMD, standardized mean difference; WBVT, whole-body vibration training.

RUBIO-ARIAS ET AL

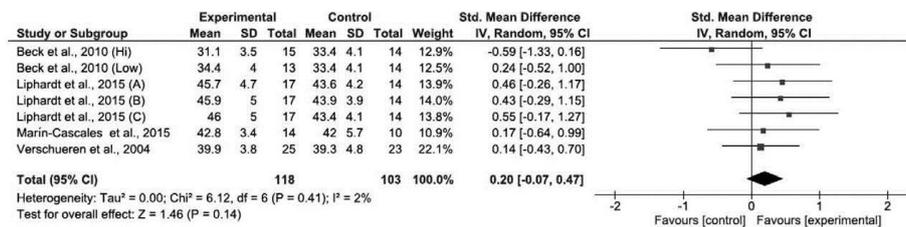


FIG. 3. SMD in postintervention lean mass (kg) between WBVT and control postmenopausal women. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. SMD, standardized mean difference; WBVT, whole-body vibration training.

It has also been proposed that endocrine reactions may mediate the training effect,³⁹ as increases in the concentration of testosterone,⁴⁰ growth hormone,⁴⁰⁻⁴² catecholamine,⁴³ increases in protein synthesis,⁴⁴ and decreased cortisol^{40,42} have been observed with WBVT. Thus, the studies using this type of training provide some evidence for the potential benefits of its application in postmenopausal women. The absence of improvement in muscle mass after WBVT observed in this meta-analysis may, however, be explained by the already lower production of hormones in postmenopausal women. The hormonal changes during menopause (eg, increases in interleukin-6, tumor necrosis factor- α , and decreases in estrogen, estrone, dehydroepiandrosterone (DHEA), thyroxin, progesterone, and lipoprotein lipase) have shown to increase intramuscular fat, increase type I fibers, decrease type II fibers, and decrease the number of estrogen receptors.⁴ In addition, it is possible that postmenopausal women may have higher anabolic resistance,⁴⁵ leading to an inability of the skeletal muscle to maintain adequate protein synthesis due to lower muscle protein anabolism and greater breakdown.⁴⁶ Therefore, vibration training alone may not be an effective system for increasing muscle mass in postmenopausal women.

There are some limitations to the present meta-analysis that should be considered: (1) the low number of included studies due to the few publications in the existing literature that focused on the effect of WBVT intervention on lean mass in postmenopausal women; (2) the studies used primarily dual-energy x-ray absorptiometry scans to obtain lean mass which do not purely measure skeletal muscle mass; (3) the authors of the studies used a wide age range when defining postmenopausal women, which included older women.

CONCLUSIONS

This meta-analysis demonstrated that WBVT alone does not increase lean mass in postmenopausal women, independent of the vibratory dose (frequency, amplitude, working, and recovery time) and intervention characteristics (duration, frequency, volume, and intensity of the training). Therefore, other training protocols with a greater external load (ie, high intensity resistance training) should be considered in this population. If WBVT is used, complimentary training methods, however, should be applied to increase muscle size

in women with lower hormonal responses. In addition, individualized vibration training stimuli for greater muscle responses are recommended.

REFERENCES

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division. World Mortality Report. In: United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division, ed. Global Levels and trends in mortality. New York: United Nations Publication; 2013.
2. Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, et al. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol* (1985) 1997;83:1581-1587.
3. Calmels P, Vico L, Alexandre C, Minaire P. Cross-sectional study of muscle strength and bone mineral density in a population of 106 women between the ages of 44 and 87 years: relationship with age and menopause. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;70:180-186.
4. Maltais ML, Desroches J, Dionne JJ. Changes in muscle mass and strength after menopause. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2009; 9:186-197.
5. Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, et al. Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *J Nutr Health Aging* 2008;12:433-450.
6. Reid KF, Fielding RA. Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults. *Exerc Sport Sci Rev* 2012;40:4-12.
7. Kim S, Won C, Sung B, Rim H, Young M. The association between the low muscle mass and osteoporosis in elderly Korean people. *JKMS* 2014;29:995-1000.
8. Sjoblom S, Suuronen J, Rikkinen T, Honkanen R, Kroger H, Sirola J. Relationship between postmenopausal osteoporosis and the components of clinical sarcopenia. *Maturitas* 2013;75:175-180.
9. Drake MT, Clarke BL, Lewiecki EM. The pathophysiology and treatment of osteoporosis. *Clin Ther* 2015;37:1837-1850.
10. Cawston H, Maravic M, Fardellone P, et al. Epidemiological burden of postmenopausal osteoporosis in France from 2010 to 2020: estimations from a disease model. *Arch Osteoporos* 2012;7:237-246.
11. Makker A, Singh MM, Mishra G, Singh BP, Jain GK, Jadhav S. Relationship between bone turnover biomarkers, mandibular bone mineral density, and systemic skeletal bone mineral density in premenopausal and postmenopausal Indian women. *Menopause* 2012; 19:642-649.
12. Gregg EW, Kriska AM, Salamone LM, et al. The epidemiology of quantitative ultrasound: a review of the relationships with bone mass, osteoporosis and fracture risk. *Osteoporos Int* 1997;7:89-99.
13. Phu S, Boersma D, Duque G. Exercise and sarcopenia. *J Clin Densitom* 2015;18:488-492.
14. Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1033-1041.
15. Fragala MS, Fukuda DH, Stout JR, et al. Muscle quality index improves with resistance exercise training in older adults. *Exp Gerontol* 2014;53: 1-6.
16. Drey M, Zech A, Freiburger E, et al. Effects of strength training versus power training on physical performance in prefrail community-dwelling older adults. *Gerontology* 2012;58:197-204.

WBVT ON LEAN MASS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

17. Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Fiatarone Singh MA. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc* 2002;50:655-662.
18. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 2004;34:329-348.
19. Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:324-336.
20. Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med* 2005;39:585-589.
21. Marin-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 weeks of whole-body vibration versus multi-component training in post-menopausal women. *Rejuvenation Res* 2015;18:508-516.
22. Machado A, Garcia-Lopez D, Gonzalez-Gallego J, Garatachea N. Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:200-207.
23. 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* 2004;25:1-5.
24. Verschueren S, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S. Effects 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* 2004;19:352-359.
25. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ* 2009;339:b2700.
26. Beck BR, Norling TL. The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture. *Am J Phys Med Rehabil* 2010;89:997-1009.
27. Liphardt AM, Schipilow J, Hanley DA, Boyd SK. Bone quality in osteopenic postmenopausal women is not improved after 12 months of whole-body vibration training. *Osteoporos Int* 2015;26:911-920.
28. Song GE, Kim K, Lee DJ, Joo NS. Whole body vibration effects on body composition in the postmenopausal Korean obese women: pilot study. *Korean J Fam Med* 2011;32:399-405.
29. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, 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* 2004;19:352-359.
30. Higgins JPT, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* 5.1.0 [updated March 2011]. Available at: <http://www.Cochrane-handbook.Org>. Accessed August 12, 2016.
31. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials* 1986;7:177-188.
32. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
33. Bhogal SK, Teasell RW, Foley NC, Speechley MR. The PEDro scale provides a more comprehensive measure of methodological quality than the Jadad scale in stroke rehabilitation literature. *J Clin Epidemiol* 2005;58:668-673.
34. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother* 2009;55:129-133.
35. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther* 2003;83:713-721.
36. Martinez-Pardo E, Romero-Arenas S, Martinez-Ruiz E, Rubio-Arias JA, Alcaraz PE. Effect of a whole-body vibration training modifying the training frequency of workouts per week in active adults. *J Strength Cond Res* 2014;28:3255-3263.
37. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 2000;20:134-142.
38. Nilwik R, Snijders T, Leenders M, et al. The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol* 2013;48:492-498.
39. Viru A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med* 1992;13:201-209.
40. Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 2000;81:449-454.
41. Cardinale M, Erskine JA. Vibration training in elite sport: effective training solution or just another fad? *Int J Sports Physiol Perform* 2008;3:232-239.
42. Kvornring T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:615-625.
43. Goto K, Takamatsu K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jpn J Physiol* 2005;55:279-284.
44. Wilcock IM, Whatman C, Harris N, Keogh JW. Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res* 2009;23:593-603.
45. Rennie MJ, Wilkes EA. Maintenance of the musculoskeletal mass by control of protein turnover: the concept of anabolic resistance and its relevance to the transplant recipient. *Ann Transplant* 2005;10:31-34.
46. Short KR, Nair KS. The effect of age on protein metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2000;3:39-44.

ANEXO 2: Artículo 2

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ, Martínez-Rodríguez A, Chung LH, Rubio-Arias JA. Does Whole-Body Vibration Training improve BMD in Postmenopausal Women?: A systematic review and meta-analysis. *Age and Ageing*. En revisión.

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

Age And Ageing

Does Whole-Body Vibration Training improve BMD in Postmenopausal Women?: A systematic review and meta-analysis

Journal:	<i>Age and Ageing</i>
Manuscript ID	Draft
Manuscript Category:	Systematic Review
Keywords:	bone mass, WBV, women, perimenopause
Keypoints:	WBV can produce osteogenic effects, WBV is an effective method to improve lumbar spine BMD in postmenopausal women, WBV may be used in addition to other training methods to minimize BMD reduction

SCHOLARONE™
Manuscripts

Only

ABSTRACT

Background: The aims of the present systematic review and meta-analysis were to evaluate published, randomized controlled trials that investigate the effects on Whole-Body Vibration training (WBV) on total, femoral neck and lumbar spine bone mineral density (BMD) in postmenopausal women, and identify the potential moderating factors explaining the adaptations to such training. **Methods:** From a search of electronic databases (PubMed, Web of Science and Cochrane) up until May 2017, a total 10 studies with 14 WBV groups met the inclusion criteria. Three different authors tabulated, independently, the selected indices in identical predetermined forms. The methodological quality of all studies was evaluated according to the modified PEDro scale. In each trial, the effect size of the intervention was calculated by the difference between pre- and post-intervention bone mass in WBV postmenopausal women. For controlled trials, the effect size of the WBV was also calculated by the difference in bone mass after the WBV and in control participants. **Results:** The BMD of 462 postmenopausal women who performed WBV or control protocol was evaluated. Significant pre-post improvements in BMD of the lumbar spine were identified following WBV protocols ($p \leq 0.05$). Significant differences in femoral neck BMD were also found between intervention and control groups when analyzing studies that included postmenopausal women under 65 years. **Conclusions:** WBV is an effective method to improve lumbar spine BMD in postmenopausal women. Further research is warranted to define the optimal protocol to increase bone mass in women.

Key words: bone mass; WBV; women; perimenopause.

INTRODUCTION

One of the major risk factors associated with fragility fractures is low bone mineral density (BMD) [1] that can, ultimately, result in a higher predisposition for osteoporosis [2]. There has been an increased research interest in populations who suffer from an accelerated loss of bone mass, particularly older adults (men and women age ≥ 65 years [3] and postmenopausal women. Menopause is characterized by hormonal changes, which include a decline in estrogen levels, that play an important role in bone remodeling in females [4].

Although pharmaceutical treatments are used to increase bone mass [5], physical exercise has been shown to be an effective treatment [6]. It is known that a mechanical stimulus is necessary to maintain bone health [7]. In this regard, different training programs, such as resistance and multi-component trainings, have shown increases in BMD of the femoral neck and lumbar spine in postmenopausal [8] and older women [9]. In addition, Whole-Body Vibration training (WBV) has been used as an alternative exercise intervention and has shown to also increase bone density via mechanical load [10]. WBV involves standing on an oscillating plate that generates vertical acceleration, which transmits high-frequency mechanical stimuli to sensory receptors throughout the body [11]. The vibration training requires a greater response from the muscle and bone tissues to absorb and dampen the energy caused by oscillatory actions. It has been shown that WBV can produce osteogenic effects counteracting age-related alterations in bone mass [12, 13]. Furthermore, the training program on a vibratory platform has its added benefits with a shortened duration of treatment and lower perceived exertion [14].

Numerous studies have examined the effect of WBV on bone mass BMD in postmenopausal women [15-29], but the findings are somehow contradicting. Iwamoto et al. [27] observed that 12 months of WBV (intensity of 20 Hz, frequency once per week and exercise duration of 4 min) plus alendronate had a significant improvement on BMD in the lumbar spine in postmenopausal, osteoporotic women. In contrast, Slatkowska et al. [30] showed that WBV (frequency of 90 or 30 Hz, with a peak of acceleration of 0.3 g) did not increase BMD of the calcaneal after 12 months. Also, Rubin et al. [22] found no changes in bone mineral content (BMC) of the spine, hip and distal radius in postmenopausal women following WBV (frequency of 30 Hz and magnitude of 0.2 g).

It remains controversial as to whether WBV has a positive effect on bone mass and structure in women. Thus, the aims of this systematic review and meta-analysis were to evaluate published, randomized controlled trials (RCTs) that investigated the effects of WBV on total, femoral neck and lumbar spine BMD in postmenopausal women and identify the potential moderating factors explaining the adaptations to such training.

MATERIALS AND METHODS

Study design

The present research followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses (PRISMA) guidelines [31]. Eligibility criteria were predetermined by the authors. Only RCTs studies were considered for inclusion in the present review. Three different authors (E.M.C., J.A.R.A. and D.J.R.C) tabulated independently, the selected indices in identical predetermined forms. Any discrepancies in methodology, retrieval of articles, and statistical analysis were resolved by the consensus of all authors.

Literature search and data collection

Searches were conducted in PubMed, Web of Science and Cochrane up until May 2017. The following keyword combinations were used: “women” OR “older adults” OR “elderly” AND “whole body vibration” OR “WBV” AND “bone mineral density” OR “bone mass” OR “BMD” OR “bone mineral content” OR “BMC”. Figure 1 (Supplementary Data) shows a flow diagram of the results from the entire search process.

Selection criteria

Only clinical, whole body vibration, RCTs published in the English language were included. The following inclusion criteria had to be met: 1) participants were postmenopausal (the definition of the postmenopausal period was the years following the year when menstruation ceased) and/or older women; 2) one group of the study performed WBV; 3) total, femoral neck or lumbar spine BMD were one of the outcome measures; and 4) Dual-energy X-ray Absorptiometry (DXA) was used to measure the different variables. Studies were excluded if: 1) participants were ≥ 75 years.; 2) they

did not use WBV on sinusoidal vibration platforms; 3) there was no control group; 4) participants were not standing on the platform (i.e. sitting or lying position); and 5) participants were taking medical treatments which might have influenced bone mass.

Quality assessment

The methodological quality of all RCTs studies were evaluated according to the modified PEDro scale using the following criteria: 1) eligibility criteria were specified; 2) participants were randomly allocated to groups (in a crossover study, participants were randomly allocated to treatments groups); 3) allocation was concealed; 4) the groups were similar at baseline with regards to the most important prognostic indicators; 5) all participants were blinded to the interventions; 6) all therapists who administered the therapy were blinded; 7) there was blinding of all assessors who measured at least one key outcome; 8) measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the participants initially allocated to groups; 9) all participants for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least one key outcome was analyzed by “intention to treat”; 10) the results of between-group statistical comparisons were reported for at least one key outcome; and 11) the study provided both point measures and measures of variability for at least one key outcome.

Statistical methods

The meta-analysis and statistical analyses were performed using Review Manager software (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, UK) and Comprehensive Meta-analysis software (Version 2; Biostat, Englewood, NJ, USA). For each trial, the effect size of the intervention was calculated by the difference between pre- and post-intervention bone mass in WBV postmenopausal women, as well as in a subgroup of postmenopausal women under 65 years of age. For controlled trials, the effect size of the WBV was calculated by the difference in bone mass after the WBV and in control participants, and by the difference after the intervention between WBV and control postmenopausal women.

Because there were many different protocols for WBV amongst the different studies (Table 2), the inverse variance method [32] was used to standardize the mean differences by dividing the values with their corresponding standard deviation. The standardized mean difference (SMD) in each trial was pooled using the random effects

model [33]. According to Cohen guidelines [34], SMD of 0.2, 0.5, and 0.8 represents small, medium and large effect sizes, respectively.

Heterogeneity between studies was assessed using I^2 statistics. Potential moderating factors were evaluated by subgroup analysis, comparing trials grouped by dichotomous or continuous variables that could potentially influence bone mass in body composition measurements. Median values of continuous variables were used as cut-off values for grouping trials. Changes in potential moderating factors were expressed and analyzed as post- minus pre-intervention values. Publication bias was evaluated using the estimating funnel plot asymmetry test. A P value ≤ 0.05 was considered statistically significant.

RESULTS

Characteristics of included studies

In the initial literature search, 1159 titles and relevant abstracts were found. Among them, there were 938 duplicates leaving 221 articles. A total of 188 studies were excluded based on abstract/title screening. Full texts were retrieved for the remaining 33 articles, of which only 10 RCTs were included in the qualitative synthesis based on the inclusion criteria (i.e., these were only 10 articles that contained BMD outcomes that could be compared with at least one other study). Figure 1 shows the flow diagram of the study selection process.

Table 1 (Supplementary Data) summarizes the main characteristics and properties of the 10 studies in this review [15-18, 20-22, 24, 25, 29]. The RCTs included in this systematic review were published between the years 2004 and 2017, and the total number of postmenopausal women was 462 (ranging from 22 [16] to 96 [24] participants). Some of these studies included more than one intervention group and control group (i.e., parallel group design). The mean age of the participants was from 53.4 [16] to 68.9 [15] years. Regarding the sample population, the studies comprised in this systematic review showed postmenopausal women in three different conditions (no disease, osteopenic or osteoporotic); one study included women with osteopenia and osteoporosis [17] and another presented only osteoporotic volunteers [21].

Characteristics of the interventions

The characteristics of the different WBV interventions are present in Table 2. The intensity of the protocols varied from 12.5 [15] to 50 Hz [20] and the amplitude from 1.5 [16] to 12 mm [24]. The duration of the different interventions ranged from 12 [18, 21] to 52 weeks of training [22] with a weekly frequency of 2 [15] to 7 sessions [22]. Total session length varied from 90 [20] to 1800 s [25]. The values for acceleration (g) ranged from 0.2 [22] to 20.12 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ [20], thus the intensity of the training was different among the studies.

—Insert Table 2—

Main effects analysis

When all studies and respective WBV groups were examined, there was no significant pre-post effect on total ($p = 0.96$; SMD = 0.0; Figure 2a) and femoral neck BMD ($p = 0.44$; SMD = 0.01; Figure 2b). However, there was a significant pre-post improvement in BMD of the lumbar spine ($p = 0.03$; SMD = 0.02; Figure 2c). When comparing WBV with control groups, no significant differences were observed in total ($p = 0.74$; SMD = 0.01; Figure 3a (Supplementary Data)), femoral neck ($p = 0.28$; SMD = 0.02; Figure 3b (Supplementary Data)) and lumbar spine BMD ($p = 0.46$; SMD = 0.02; Figure 3c (Supplementary Data)).

Subgroup analysis

Interestingly, when analyzing studies that included postmenopausal women under 65 years no significant pre-post change in femoral neck BMD was found ($p = 0.42$; SMD = 0.01; Figure 2d). However, there was a significant increase in BMD of the lumbar spine ($p = 0.05$; SMD = 0.02; Figure 2e) following WBV between pre and post-intervention. In addition, significant differences in femoral neck BMD ($p = 0.03$; SMD = 0.01; Figure 3d (Supplementary Data)) were also observed between WBV and control groups. Nevertheless, no statistical significance was found in lumbar spine BMD ($p = 0.10$; SMD = 0.02; Figure 3e (Supplementary Data)) when comparing WBV with control groups.

—Insert Figure 2—

Subgroup analysis assessing potential moderating factors for BMD of the femoral neck and lumbar spine are presented in Tables 3 and 4, respectively.

--Insert Table 3--

--Insert Table 4--

Concerning population and exercise characteristics, from all the studies that had femoral neck as an outcome variable, no significant differences were observed between WBV and control groups (Table 3): the number of the participants, age, BMI, number of sessions, duration, frequency, amplitude, type of exercise and sessions length were not factors in femoral neck BMD changes with WBV in postmenopausal women.

As for the number of participants (n), studies with more than 25 participants presented significant training effect on BMD of the lumbar spine ($p = 0.05$; SMD = 0.02; Table 4). For participants under 65 years old and with a BMI under 25 kg/m², WBV was effective in reducing bone loss at the lumbar spine ($p = 0.05$; SMD = 0.02; Table 4). Although, no significant differences were obtained between subgroups (Table 4).

Regarding the total number of sessions, a significant pre-post effect on lumbar spine BMD was observed for more [20, 21, 24] and less [15-17, 21, 25] than 108 sessions ($p = 0.000001$; SMD = 0.03; and $p = 0.01$; SMD = 0.01, respectively). Furthermore, significant differences were obtained between subgroups ($p = 0.00001$) with 108 or more sessions presenting a higher SMD (Table 4). When including postmenopausal women under 65 years the results are similar (≥ 108 sessions: $p = 0.00001$; SMD = 0.04; < 108 sessions: $p = 0.01$; SMD = 0.01; Table 4). Again, there were statistical differences between subgroups in women under 65 years ($p = 0.00001$) with 108 or more sessions presenting a higher SMD (Table 4).

With respect to WBV frequency, training at 20 Hz or more induced a significant pre-post effect on lumbar spine BMD ($p = 0.04$; SMD = 0.02; Table 4). However, no statistical significance was found between groups that trained with higher and lower frequencies ($p = 0.79$; Table 4).

There was a significant pre-post WBV effect when the training sessions consisted of amplitudes heavier than 5 mm ($p = 0.05$; SMD = 0.02) or 8 g ($p = 0.04$; SMD = 0.02) on

bone mass at the lumbar spine. However, no statistical group differences were observed between groups that used higher and lower amplitudes (Table 4).

Finally, in relation to the type of exercise used, no significant differences were found between subgroups. However, when WBV was based on static exercises, a significant effect on BMD lumbar spine was observed ($p = 0.04$; SMD = 0.02; Table 4).

DISCUSSION

The main purpose of this meta-analysis was to evaluate published, randomized controlled trials that investigated the effects of Whole-Body Vibration training on bone mass in postmenopausal women. The present meta-analysis showed that 3 to 13 months of WBV had no overall pre-post effect on total or femoral neck bone mineral density in postmenopausal women. However, it was determined that this training method is effective in improving lumbar spine BMD in postmenopausal women. Furthermore, the present meta-analysis showed significant differences in femoral neck BMD between the intervention and control groups when analyzing the studies that also included postmenopausal women under 65 years.

The exercise characteristics of the WBV appear to explain some of the contrasting findings in the literature. This meta-analysis observed that there were significant pre-post adaptations in lumbar spine BMD, independently of the total number of WBV sessions. However, performing 108 or more sessions showed greater SMD compared to less than 108, with significant differences between subgroups being found in lumbar spine BMD. It is worth noting that the cumulative dose (i.e. the total time in which the subjects stand on the vibration platform) is positively related with improved bone mass and that it seems to be more important than the duration of intervention [17,35]. Hence, the number of training sessions per week is more relevant to attain significant improvements on BMD. Interestingly, the results indicated that the magnitude of the increments on bone mass after WBV were independent of the frequency and amplitude of WBV as no significant differences were observed between these subgroups. However, WBV generated improvements on lumbar spine BMD with frequencies higher than 20 Hz and amplitudes greater than 5 mm or 8 g. This is in accordance with previous research that indicated the use of frequency lower than 20 Hz does not provide sufficient training stimulus [36-37]. Moreover, it suggests that the mechanical signals

of high frequency and lower amplitudes are needed to effectively transfer the energy to the spine and hip, thus recommending the employment of frequencies higher than 20 Hz [38]. In relation to the duration of intervention and sessions length, no significant differences were obtained on bone mass. Nevertheless, a tendency for significance was identified ($p = 0.06$) for longer length sessions (≥ 600 s). This is in line with other studies that obtained statistical improvements with extended length sessions [21, 25]. The subgroup analysis concerning the type of exercise showed no significant differences between groups. Nonetheless, studies that included WBV with static exercises produced positive effects on lower back BMD in comparison with dynamic/mixed training protocols, which showed no changes. This agrees with previous research that observed no changes in lumbar spine BMD following 24 weeks of WBV using static and dynamic knee-extensors exercises [25]. However, von Stengel et al. [24] demonstrated increased in lumbar spine BMD following 12 months of WBV using dynamic squat exercises in postmenopausal women. Thus, it remains unclear whether the type of exercise (static, dynamic or mixed) affects bone mass differently in WBV and further investigations are needed to identify what type of exercise is most effective in improving bone health in this population.

The improvement on bone mass observed with WBV may have depended on a variety of factors that could have interacted with one another, such as loading frequency, magnitude and rest periods [39]. The varying methodological differences (vibration protocols) among the included studies may explain the controversial results between them. There are several factors, such as elderly [40], gender, muscle dystrophy [41,42] and neurological disorders [43], which are determinants of increased risk for osteoporosis. It is assumed that the vibration training may produce micro trauma to the bone tissue which is then repaired by the osteoblast action [44], increasing bone density after physical stress. Furthermore, WBV has demonstrated improvements in growth hormone and testosterone levels at the lumbar and hip regions in men and women [45-47]. Several studies have found increases in BMD after WBV [17, 21], although others have not shown any improvement following WBV [18, 20]. Ruan et al. [21] observed that BMD of the lumbar spine increased by 4.3% and that femoral neck BMD improved by 3.2% following 6 months of WBV (10 min duration, 5 times per week, frequency of 30 Hz and amplitude of 5 mm). The authors observed a significant decrease in BMD in the control group by 1.9% at the lumbar spine and 1.7% at the femoral neck. Karakiriou

et al. [16] observed no change in BMD of the lumbar spine in the vibration treatment group but a decrease in the control group, suggesting that WBV may have helped maintain BMD. In contrast, Davis et al. [20] analyzed bone density in a group of postmenopausal women (62.2 ± 6.0 years), who were randomly assigned to 3 groups: 1) low intensity (2 mm; 30-35 Hz); 2) high-intensity (4 mm; 40-50 Hz); and 3) control group. They showed no changes in BMD in any of the groups following WBV [20].

There are some explanations for the discrepancy in the literature regarding the benefits of WBV on BMD. It has been suggested that mechanotransduction varies at different regions of the body due to the nonlinear musculoskeletal system, as well as due to the different body positions used during vibration training [39,48]. Therefore, this may explain the differences between the training effect on the femoral neck and lumbar spine based on the amount of stimuli that the region receives. The discrepancy in the literature may also be due to varying sample sizes among the included studies [49].

In a prior meta-analysis on whole body vibration by Oliveira et al. [50], a significant effect on lumbar spine BMD with WBV was found when compared with a no intervention group, which is in line with our findings. Nevertheless, to the best of the authors' knowledge, the present meta-analytical review is the first focusing on BMD adaptations in postmenopausal that takes into account age. The current meta-analysis includes a subgroup of postmenopausal women under the age of 65 years. Age and menopause transition are determinant factors to BMD loss. Therefore, it is essential to examine individuals who start this transition well before 65 years of age and how bone loss evolves in these individuals over time.

There are some limitations to the present meta-analysis that should be addressed: 1) the low number of RCTs reviewed due to the few publications in the literature that focused on the effect of WBV intervention on bone mass in postmenopausal women; 2) the authors of the studies used a wide age range when defining menopausal women, which included older women; and 3) the high heterogeneity between studies with regards to WBV protocols.

CONCLUSIONS

This meta-analysis demonstrated that WBV is considered to be a potential non-pharmacological intervention for improving bone mass in postmenopausal women, particularly on lumbar spine, which was shown the most sensitive area. In addition, significant differences were found between intervention and control groups in BMD of the femoral neck in postmenopausal women under 65 years. WBV is a safe and effective method and may be used in addition to other training methods to minimize BMD reduction in postmenopausal women. However further studies are still needed to define the optimal protocol in this population. Based on the results obtained in the present meta-analysis WBV training improves bone mass in the lumbar spine in postmenopausal women, particularly in women less than 65 years of age with a BMI less than 25 kg/m². When prescribing this type of protocol, professionals should take into consideration the following guidelines: the volume of work should be 108 or more total sessions, the vibration frequency should be 20 Hz or higher, and the amplitude of the oscillation should be 5 mm/8 g or greater.

REFERENCES

1. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Sembo I, Redlund-Johnell I, Dawson A, et al. Long-term risk of osteoporotic fracture in Malmo. *Osteoporos Int.* 2000;11(8):669-74.
2. Gregg EW, Kriska AM, Salamone LM, Roberts MM, Anderson SJ, Ferrell RE, et al. The epidemiology of quantitative ultrasound: a review of the relationships with bone mass, osteoporosis and fracture risk. *Osteoporos Int.* 1997;7(2):89-99.
3. Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC, et al. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Aug;39(8):1435-45.
4. Christenson ES, Jiang X, Kagan R, Schnatz P. Osteoporosis management in postmenopausal women. *Minerva Ginecol.* 2012 Jun;64(3):181-94.
5. Organization WH. Prevention and Management of Osteoporosis: Report of a WHO Scientific Group: World Health Organization; 2003.
6. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998 Jun;30(6):975-91.
7. Frost HM. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *Angle Orthod.* 1994;64(3):175-88.
8. Mosti MP, Kaehler N, Stunes AK, Hoff J, Syversen U. Maximal strength training in postmenopausal women with osteoporosis or osteopenia. *J Strength Cond Res.* 2013 Oct;27(10):2879-86.
9. Marques EA, Mota J, Machado L, Sousa F, Coelho M, Moreira P, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int.* 2011 Feb;88(2):117-29.
10. Prioreshi A, Oosthuysen T, Avidon I, McVeigh J. Whole body vibration increases hip bone mineral density in road cyclists. *Int J Sports Med.* 2012 Aug;33(8):593-9.
11. Rauch F, Sievanen H, Boonen S, Cardinale M, Degens H, Felsenberg D, et al. Reporting whole-body vibration intervention studies: recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions.* 2010 Sep;10(3):193-8.
12. Liu PY, Brummel-Smith K, Ilich JZ. Aerobic exercise and whole-body vibration in offsetting bone loss in older adults. *J Aging Res.* 2011 Jan 03;2011:379674.
13. Totosty de Zepetnek JO, Giangregorio LM, Craven BC. Whole-body vibration as potential intervention for people with low bone mineral density and osteoporosis: a review. *J Rehabil Res Dev.* 2009;46(4):529-42.

14. Gomez-Cabello A, Ara I, Gonzalez-Aguero A, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G. Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med.* 2012 Apr 01;42(4):301-25.
15. Beck BR, Norling TL. The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists.* 2010 Dec;89(12):997-1009.
16. Karakiriou SK, Douda HT, Smilios IG, Volaklis KA, Tokmakidis SP. Effects of vibration and exercise training on bone mineral density and muscle strength in post-menopausal women. *European Journal of Sport Science.* 2012;12(1):81-8.
17. Lai CL, Tseng SY, Chen CN, Liao WC, Wang CH, Lee MC, et al. Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Clin Interv Aging.* 2013;8:1603-9.
18. Marin-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 Weeks of Whole-Body Vibration Versus Multi-Component Training in Post-Menopausal Women. *Rejuvenation Res.* 2015 Dec;18(6):508-16.
19. Liphardt AM, Schipilow J, Hanley DA, Boyd SK. Bone quality in osteopenic postmenopausal women is not improved after 12 months of whole-body vibration training. *Osteoporos Int.* 2015 Mar;26(3):911-20.
20. Davis R, Rowe J, Nichols D, Sanborn C, DiMarco, N. Effects of Two Intensities of Whole Body Vibration on Fall Related Risk Factors in Postmenopausal Women. *J Womens Health, Issues Care* 3. 2014; 6:2.
21. Ruan XY, Jin FY, Liu YL, Peng ZL, Sun YG. Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chin Med J (Engl).* 2008 Jul 5;121(13):1155-8.
22. Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K. Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J Bone Miner Res.* 2004 Mar;19(3):343-51.
23. Slatkowska L, Alibhai SM, Beyene J, Hu H, Demaras A, Cheung AM. Effect of 12 months of whole-body vibration therapy on bone density and structure in postmenopausal women: a randomized trial. *Ann Intern Med.* 2011 Nov 15;155(10):668-79, W205.
24. Von Stengel S, Kenanler W, Bebenek M, Engelke K, Kalender WA. Effects of whole-body vibration training on different devices on bone mineral density. *Med Sci Sports Exerc.* 2011 Jun;43(6):1071-9.
25. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, 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.* 2004 Mar;19(3):352-9.

26. Gusi N, Raimundo A, Leal A. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2006;7:92.
27. Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M. Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate. *Aging Clin Exp Res*. 2005 Apr;17(2):157-63.
28. Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003 Dec;84(12):1854-7.
29. Marin-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA (2017) Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. *Rejuvenation Res* 20 (3):193-201. doi:10.1089/rej.2016.1877
30. Slatkowska L, Beyene J, Alibhai SM, Wong Q, Sohail QZ, Cheung AM. Effect of whole-body vibration on calcaneal quantitative ultrasound measurements in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Calcif Tissue Int*. 2014 Dec;95(6):547-56.
31. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ*. 2009;339:b2700.
32. Higgins JP, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*: John Wiley & Sons; 2011.
33. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Controlled clinical trials*. 1986;7(3):177-88.
34. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). ed. LEAP, editor. Hillsdale1988.
35. Fratini A, Bonci T, Bull AM. Whole Body Vibration Treatments in Postmenopausal Women Can Improve Bone Mineral Density: Results of a Stimulus Focussed Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016;11(12):e0166774.
36. Kleinöder H, Mester J. Sicherheit und Leistungsoptimierung im Vibrationstraining1. *BISP Jahrbuch*. 2003:253-8.
37. Yue Z, Mester J. A Modal Analysis of Resonance during the Whole-Body Vibration. *Studies in Applied Mathematics*. 2004;112(3):293-314.
38. Rubin C, Pope M, Fritton JC, Magnusson M, Hansson T, McLeod K. Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003 Dec 1;28(23):2621-7.
39. Turner CH, Robling AG. Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exerc Sport Sci Rev*. 2003 Jan;31(1):45-50.

40. Duque G, Troen BR. Understanding the mechanisms of senile osteoporosis: new facts for a major geriatric syndrome. *J Am Geriatr Soc.* 2008 May;56(5):935-41.
41. Larson CM, Henderson RC. Bone mineral density and fractures in boys with Duchenne muscular dystrophy. *J Pediatr Orthop.* 2000 Jan-Feb;20(1):71-4.
42. Apkon S, Coll J. Use of weekly alendronate to treat osteoporosis in boys with muscular dystrophy. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists.* 2008 Feb;87(2):139-43.
43. Giangregorio L, McCartney N. Bone loss and muscle atrophy in spinal cord injury: epidemiology, fracture prediction, and rehabilitation strategies. *J Spinal Cord Med.* 2006;29(5):489-500.
44. Burr DB, Martin RB, Schaffler MB, Radin EL. Bone remodeling in response to in vivo fatigue microdamage. *J Biomech.* 1985;18(3):189-200.
45. Murphy S, Khaw KT, Cassidy A, Compston JE. Sex hormones and bone mineral density in elderly men. *Bone Miner.* 1993 Feb;20(2):133-40.
46. Kelly PJ, Pocock NA, Sambrook PN, Eisman JA. Dietary calcium, sex hormones, and bone mineral density in men. *BMJ.* 1990 May 26;300(6736):1361-4.
47. Greendale GA, Edelstein S, Barrett-Connor E. Endogenous sex steroids and bone mineral density in older women and men: the Rancho Bernardo Study. *J Bone Miner Res.* 1997 Nov;12(11):1833-43.
48. Kuisi J, Heinonen A, Jarvinen TL, Kannus P, Sievanen H. Transmission of vertical whole body vibration to the human body. *J Bone Miner Res.* 2008 Aug;23(8):1318-25.
49. Slatkowska L, Alibhai SM, Beyene J, Cheung AM. Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2010 Dec;21(12):1969-80.
50. Oliveira LC, Oliveira RG, Pires-Oliveira DA. Effects of whole body vibration on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2016 May 4.

FIGURE LEGENDS

Figure 1. Flow diagram of the process of study selection.

Figure 2. Standardized mean difference (SMD) in BMD between post and pre-intervention. Squares represent the SMD^a for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. a) Total BMD; b) Femoral neck; c) Low back; d) Femoral neck in postmenopausal women < 65 y.o.; and e) Low back in postmenopausal women < 65 y.o.

Figure 3. Standardized mean difference (SMD) in post-intervention BMD between WBV-trained and control postmenopausal women. Squares represent the SMD^a for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. a) Total BMD; b) Femoral neck; c) Low back; d) Femoral neck in postmenopausal women < 65 y.o.; and e) Low back in postmenopausal women < 65 y.o.

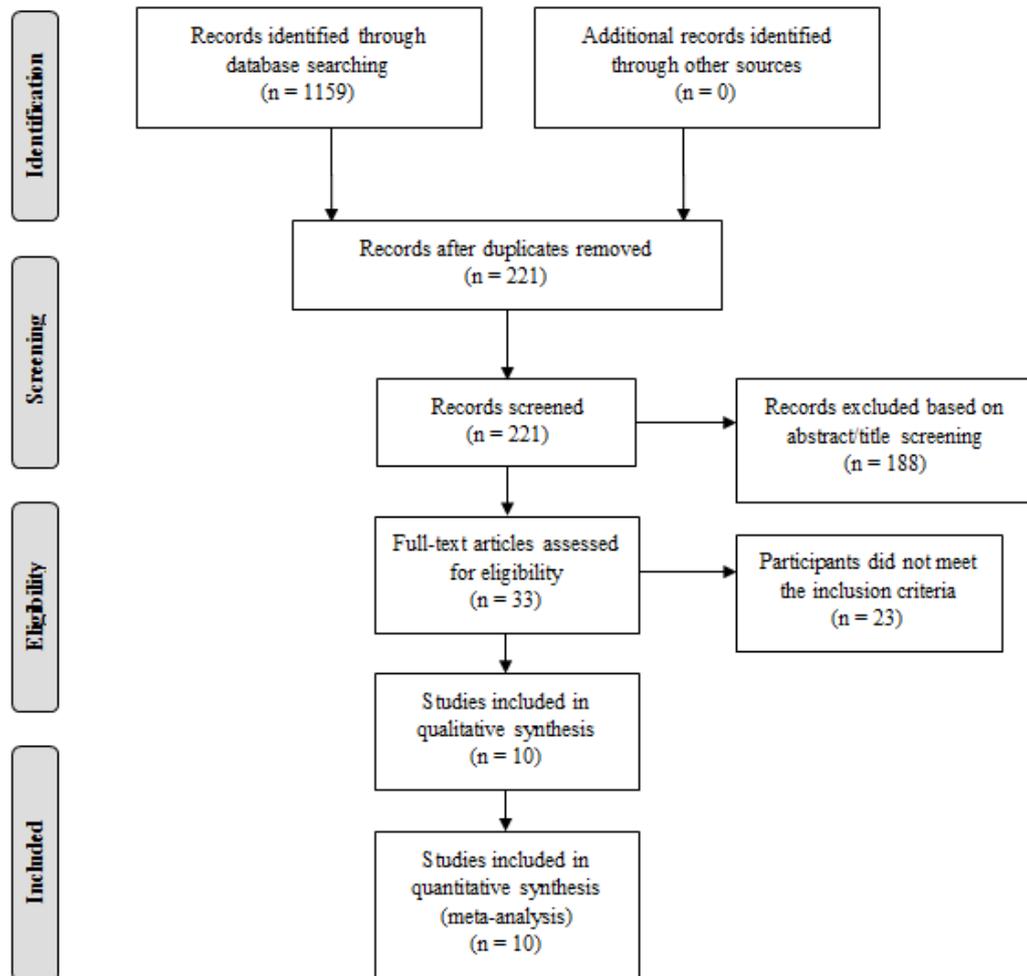


Figure 1. Flow diagram of the study selection process.

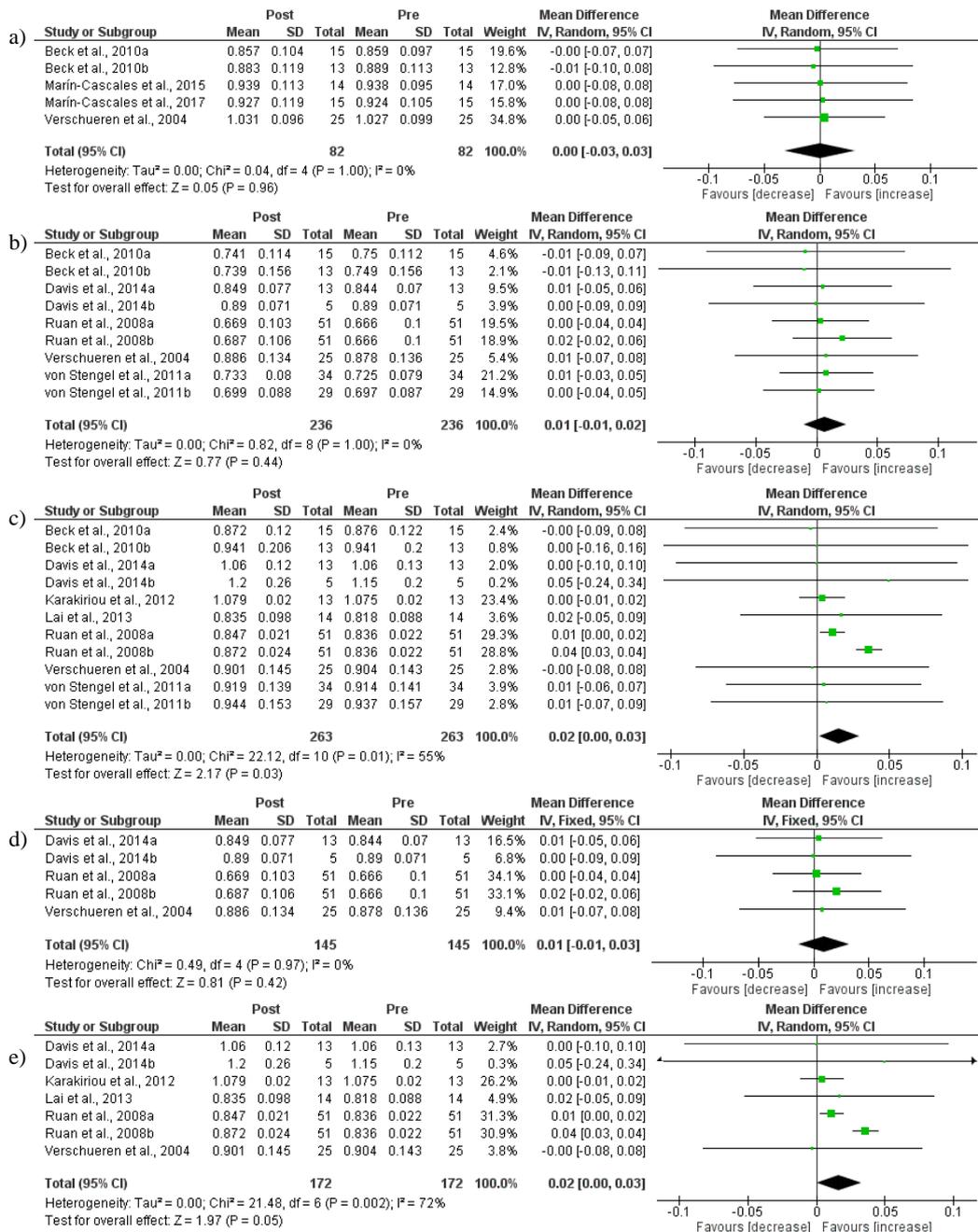


Figure 2. Standardized mean difference (SMD) in BMD between post and pre-intervention. Squares represent the SMD^a for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. a) Total BMD; b) Femoral neck; c) Low back; d) Femoral neck in postmenopausal women < 65 y.o; and e) Low back in postmenopausal women < 65 y.o.

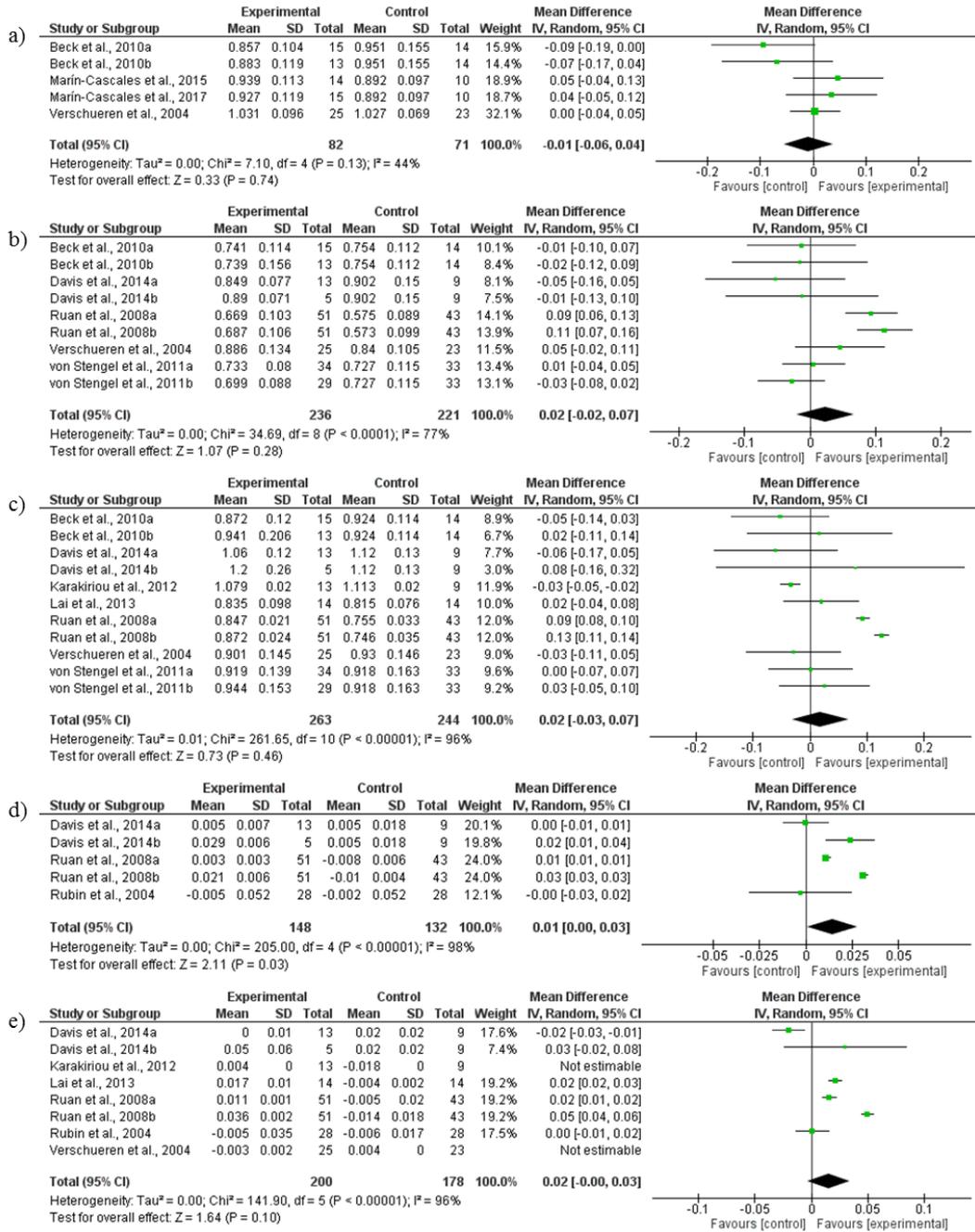


Figure 3. Standardized mean difference (SMD) in post-intervention BMD between WBV-trained and control postmenopausal women. Squares represent the SMD^a for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. a) Total BMD; b) Femoral neck; c) Low back; d) Femoral neck in postmenopausal women < 65 y.o.; and e) Low back in postmenopausal women < 65 y.o.

Table 1—Main characteristics³ of included studies in the meta-analysis.

Study, year of publication	n		Q (%)	Age (years)	BMI	Disease	Medication status	PEDro Scale																																																																																				
	C	WBV																																																																																										
Beck and Northing [15], 2010	A	15	100	68.9 ± 7.0	24.8 ± 2.9	None	None	7																																																																																				
	B	13		68.5 ± 8.6	26.7 ± 4.4				Karakirou et al. [16], 2012		13	100	53.4 ± 1.1	27.6 ± 1.4	None	None	7	Lai et al. [17], 2013		14	100	60.1 ± 7.1	22.7 ± 1.9	Osteopenia and Osteoporosis	None	6	Marrin-Cascales et al. [18], 2015		10	100	60.1 ± 5.8	31.9 ± 5.6	None	None	6	Marrin-Cascales et al. [29], 2017		10	100	59.6 ± 5.9	31.4 ± 5.7	None	None	6	Davis et al. [20], 2014	A	13	100	62.2 ± 6.0	N/A	None	None	5	B	5	Ruan et al. [21], 2008	A	43	100	61.2 ± 8.2	24.4 ± 3.3	Osteoporosis	None	4	B	51	Rubin et al. [22], 2004		28	100	57.3	24.4	None	None	10	Verschueren et al. [25], 2004		23	100	64.6 ± 3.3	26.3 ± 3.6	None	None	7	Von Stengel et al. [24], 2011	A	34	100	68.1 ± 4.0	26.9	None	Vitamin D and Calcium
Karakirou et al. [16], 2012		13	100	53.4 ± 1.1	27.6 ± 1.4	None	None	7																																																																																				
Lai et al. [17], 2013		14	100	60.1 ± 7.1	22.7 ± 1.9	Osteopenia and Osteoporosis	None	6																																																																																				
Marrin-Cascales et al. [18], 2015		10	100	60.1 ± 5.8	31.9 ± 5.6	None	None	6																																																																																				
Marrin-Cascales et al. [29], 2017		10	100	59.6 ± 5.9	31.4 ± 5.7	None	None	6																																																																																				
Davis et al. [20], 2014	A	13	100	62.2 ± 6.0	N/A	None	None	5																																																																																				
	B	5																																																																																										
Ruan et al. [21], 2008	A	43	100	61.2 ± 8.2	24.4 ± 3.3	Osteoporosis	None	4																																																																																				
	B	51																																																																																										
Rubin et al. [22], 2004		28	100	57.3	24.4	None	None	10																																																																																				
Verschueren et al. [25], 2004		23	100	64.6 ± 3.3	26.3 ± 3.6	None	None	7																																																																																				
Von Stengel et al. [24], 2011	A	34	100	68.1 ± 4.0	26.9	None	Vitamin D and Calcium	9																																																																																				
	B	29							67.9 ± 3.8	27.2																																																																																		

Data are expressed in mean ± SD or n. ³All characteristics refer to the WBV group. C = control group; N/A = not applicable; WBV = whole body vibration trained group.

Table 2— Characteristics of Whole-Body Vibration Training intervention and bone mass assessment of studies included in the meta-analysis.

Study, year of publication	Whole-Body Vibration Training intervention							BMD assessment			
	Group	Type of exercise	Frequency (week ⁻¹)	Session length (s)	Duration (weeks)	Number of Sessions	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)	g	Measure Units	
Beck and Norling [15], 2010	A	Static	2	900	32	64	30	N/A	0.3	DXA	g.cm ⁻²
	B			360				2			
Karakniou et al. [16], 2012		Static	3	420 - 720	24	72	35-40	1.5	3.7- 4.83	DXA	g.cm ⁻²
Lai et al. [17], 2013		Static	3	300	24	72	30	N/A	3.2	DXA	g.cm ⁻²
Marin-Cascales et al. [18], 2015		Static + Dynamic	3	300-480	12	36	35	4	9.86	DXA	g.cm ⁻²
Marin-Cascales et al. [29], 2017		Static + Dynamic	3	300-660	24	72	35-40	4	9.86- 12.88	DXA	g.cm ⁻²
Davis et al. [20], 2014	A	Static	3	90-300	36	108	30-35	2	3.62- 4.93	DXA	g.cm ⁻²
	B							40-50	4		
Ruan et al. [21], 2008	A	Static	5	600	12	60	30	5	9.06	DXA	g.cm ⁻²
	B										
Rubin et al. [22], 2004		Static	7	1200	52	364	30	N/A	0.2	DXA	g.cm ⁻²
Verschueren et al. [25], 2004		Static + Dynamic	3	1800	24	72	35-40	1.7-2.5	2.8-5	DXA	g.cm ⁻²
Von Stengel et al. [24], 2011	A	Static + Dynamic	3	900	52	156	35	1.7	8	DXA	g.cm ⁻²
	B							12			

Data are mean or range. DXA = dual-energy x-ray absorptiometry; g = the acceleration (where 1 g is the acceleration due to the Earth's gravitational field or 9.81 m/s²); N/A = not applicable.

Table 3— Subgroup analyses assessing potential moderating factors for femoral neck BMD in postmenopausal women and postmenopausal women < 65 years.

Group	Studies		Whole Body Vibration			
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	I ²	P	P _{Diff}
Femoral Neck BMD						
Population characteristics						
<i>N</i>						
> 25	4	[21, 24]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.95	.71
≤ 25	5	[15, 20, 25]	0.00 [-0.03, 0.04]	0	.39	
<i>Age</i>						
≥ 65 y.o.	4	[15, 24]	0.01 [-0.01, 0.02]	0	.81	.72
< 65 y.o.	5	[20, 21, 25]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.42	
<i>BMI</i>						
	[20] N/A					
≥ 25 kg/m ²	4	[15, 24, 25]	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.71	.81
< 25 kg/m ²	3	[15, 21]	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.48	
Exercise characteristics						
<i>Number of sessions</i>						
≥ 108 sessions	5	[20, 21, 24]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.38	.67
< 108 sessions	4	[15, 21, 25]	0.00 [-0.03, 0.03]	0	.94	
<i>Duration</i>						
> 32 weeks	4	[20, 24]	0.00 [-0.02, 0.03]	0	.69	
≤ 32 weeks	5	[15, 21, 25]	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.49	.84
<i>WBV</i>						
<i>Frequency</i>						
≥ 20 Hz	7	[15, 20, 21, 24, 25]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.40	.75
< 20 Hz	2	[15, 24]	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.98	
<i>WBV Amplitude</i>						
≥ 5 mm	3	[21, 24]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.45	.85
< 5 mm	5	[15, 20, 24, 25]	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.68	
<i>WBV Amplitude</i>						
≥ 8 g	5	[20, 21, 24]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.40	.74
< 8 g	4	[15, 20, 25]	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.95	
<i>Type of exercise</i>						
Static	6	[15, 20, 21]	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.98	
Mixed	3	[24, 25]	0.01 [-0.02, 0.03]	0	.98	.93
<i>Session length</i>						
≥ 600 seconds	6	[15, 21, 24, 25]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.42	
< 600 seconds	3	[15, 20]	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.94	.80

Femoral Neck BMD (< 65 y.o.)

Population characteristics							
<i>N</i>							
> 25	2	[21]	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.41		
≤ 25	3	[20, 25]	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.81		.78
<i>BMI</i>		[20] N/A					
≥ 25 kg/m ²	1	[25]	0.01 [-0.07, 0.08]	N/A	.83		.92
< 25 kg/m ²	2	[21]	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.41		
Exercise characteristics							
<i>Number of sessions</i>							
≥ 108 sessions	3	[20, 21]	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.38		.68
< 108 sessions	2	[21, 25]	0.00 [-0.03, 0.04]	0	.82		
<i>Duration</i>							
> 32 weeks	2	[20]	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.88		.78
≤ 32 weeks	3	[21, 25]	0.01 [-0.01, 0.04]	0	.40		
<i>WBV Amplitude</i>							
≥ 5 mm	2	[21]	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.41		.78
< 5 mm	3	[20, 25]	0.00 [-0.04, 0.04]	0	.81		
<i>WBV Amplitude</i>							
≥ 8 g	3	[20, 21]	0.01 [-0.02, 0.04]	0	.43		.86
< 8 g	2	[20, 25]	0.01 [-0.04, 0.05]	0	.79		
<i>Type of exercise</i>							
Static	4	[20, 21]	0.01 [-0.01, 0.03]	0	.43		.97
Mixed	1	[25]	0.01 [-0.07, 0.08]	N/A	.83		
<i>Session length</i>							
≥ 600 seconds	3	[21, 25]	0.01 [-0.01, 0.04]	0	.40		.78
< 600 seconds	2	[20]	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.88		

^aNumber of WBV-trained postmenopausal women groups into this studies references. Certain enrolled studies were not included because the value used for subgroup analysis was not reported in them. BMI = body mass index; I² = heterogeneity; N/A = not applicable; P = test for overall effect; P_{Diff} = test for subgroup differences; SMD = standardized mean difference; WBV = whole-body vibration.

Table 4— Subgroup analyses assessing potential moderating factors for low back BMD in postmenopausal women and postmenopausal women < 65 years.

Group	Studies		Whole Body Vibration			
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	I ²	P	P _{Diff}
Low back BMD						
Population characteristics						
<i>N</i>						
> 25	4	[21, 24]	0.02 [-0.00, 0.04]	82	.05	.20
≤ 25	7	[15, 16, 17, 20, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.72	
<i>Age</i>						
≥ 65 y.o.	4	[15, 24]	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.89	.56
< 65 y.o.	7	[16, 17, 20, 21, 25]	0.02 [0.00, 0.03]	72	.05	
<i>BMI</i>						
	[20] N/A					
≥ 25 kg/m ²	5	[15, 16, 24, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.60	.18
< 25 kg/m ²	4	[15, 17, 21]	0.02 [0.00, 0.04]	82	.05	
Exercise characteristics						
<i>Number of sessions</i>						
≥ 108 sessions	5	[20, 21, 24]	0.03 [0.03, 0.04]	0	.000001	.00001
< 108 sessions	6	[15, 16, 17, 25]	0.01 [0.00, 0.02]	0	.01	
<i>Duration</i>						
> 32 weeks	4	[20, 24]	0.01 [-0.04, 0.05]	0	.80	
≤ 32 weeks	7	[15, 16, 17, 21, 25]	0.02 [-0.00, 0.03]	72	.06	.67
<i>WBV</i>						
<i>Frequency</i>						
≥ 20 Hz	9	[15, 16, 17, 21, 24, 25]	0.02 [0.00, 0.03]	64	.04	.79
< 20 Hz	2	[15, 24]	0.01 [-0.07, 0.08]	0	.88	
<i>WBV Amplitude</i>						
	[17] N/A					
≥ 5 mm	4	[15, 21, 24]	0.02 [0.00, 0.04]	82	.05	.18
< 5 mm	5	[16, 20, 24, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.60	
<i>WBV Amplitude</i>						
≥ 8 g	5	[20, 21, 24]	0.02 [0.00, 0.04]	76	.04	.18
< 8 g	6	[15, 16, 17, 20, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.58	
<i>Type of exercise</i>						
Static	8	[15, 16, 17, 20, 21]	0.02 [0.00, 0.03]	67	.04	
Mixed	3	[24, 25]	0.00 [-0.04, 0.05]	0	.88	.57
<i>Session length</i>						
≥ 600 seconds	7	[15, 16, 21, 24, 25]	0.02 [-0.00, 0.03]	73	.06	
< 600 seconds	4	[15, 17, 20]	0.01 [-0.04, 0.06]	0	.67	.89

Low back BMD (< 65 y.o.)						
Population characteristics						
<i>N</i>						
> 25	2	[21]	0.02 [-0.00, 0.05]	94	.06	.19
≤ 25	5	[16, 17, 20, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.56	
<i>BMI</i>	[20] N/A					
≥ 25 kg/m ²	2	[16, 25]	0.02 [-0.00, 0.03]	0	.63	.17
< 25 kg/m ²	3	[17, 21]	0.02 [0.00, 0.05]	83	.05	
Exercise characteristics						
<i>Number of sessions</i>						
≥ 108 sessions	3	[20, 21]	0.04 [0.03, 0.04]	0	.00001	.00001
< 108 sessions	4	[16, 17, 21, 25]	0.01 [-0.00, 0.02]	0	.01	
<i>Duration</i>						
> 32 weeks	2	[20]	0.01 [-0.09, 0.10]	0	.75	.81
≤ 32 weeks	5	[16, 17, 21, 25]	0.02 [-0.00, 0.03]	81	.06	
<i>WBV Amplitude</i>	[17] N/A					
≥ 5 mm	2	[21]	0.02 [-0.00, 0.05]	94	.06	.18
< 5 mm	4	[16, 20, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.62	
<i>WBV Amplitude</i>						
≥ 8 g	3	[20, 21]	0.02 [-0.00, 0.05]	88	.05	.17
< 8 g	4	[16, 17, 20, 25]	0.00 [-0.01, 0.02]	0	.57	
<i>Type of exercise</i>						
Static	6	[16, 17, 20, 21]	0.02 [0.00, 0.03]	76	.05	.63
Mixed	1	[25]	-0.00 [-0.08, 0.08]	N/A	.94	
<i>Session length</i>						
≥ 600 seconds	4	[16, 21, 25]	0.02 [-0.00, 0.04]	86	.08	.89
< 600 seconds	3	[17, 20]	0.01 [-0.04, 0.07]	0	.65	

^aNumber of WBV-trained postmenopausal women groups into this studies references. Certain enrolled studies were not included because the value used for subgroup analysis was not reported in them. BMI = body mass index; I² = heterogeneity; N/A = not applicable; P = test for overall effect; P_{Diff} = test for subgroup differences; SMD = standardized mean difference; WBV = whole-body vibration.

ANEXO 3: Artículo 3

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ, Rubio-Arias JA. Effects of Multi-component training on Lean and Bone Mass in Postmenopausal and Older Women: A systematic review. *Menopause*. 2017 Aug 14.

Menopause: The Journal of The North American Menopause Society
 Vol. 25, No. 3, pp. 000-000
 DOI: 10.1097/GME.0000000000000975
 © 2017 by The North American Menopause Society

REVIEW ARTICLE

Effects of multicomponent training on lean and bone mass in postmenopausal and older women: a systematic review

Elena Marín-Cascales, PhD student,¹ Pedro E. Alcaraz, PhD,^{1,2} Domingo J. Ramos-Campo, PhD,^{1,2} and Jacobo A. Rubio-Arias, PhD^{1,2}

Abstract

Objective: The purpose of this systematic review was to update and examine to what extent multicomponent training interventions could improve lean and bone mass at different anatomical regions of the body in postmenopausal and older women.

Methods: A computerized literature search was performed in the following online databases: PubMed MEDLINE, Cochrane, and Web of Knowledge. The search was performed to include articles up until February 2017. The methodological quality of selected studies was evaluated using the Cochrane risk of bias tool.

Results: Fifteen studies met the inclusion criteria. Studies examining the effects of combined training methods in postmenopausal and older women showed contrasting results, possibly due to the wide range of the participants' age, the evaluation of different regions, and the varying characteristics of the training methods between studies. Overall, it appears that exercise modes that combine resistance, weight-bearing training, and impact-aerobic activities can increase or prevent muscle and skeletal mass loss during the ageing process in women.

Conclusions: Further studies are needed to identify the optimal multicomponent training protocols, specifically the training loads that will improve lean and bone mass at different anatomical locations, in postmenopausal and older women.

Key Words: Aging – Bone density – Combined training – Exercise – Muscle mass.

Accelerated muscle and bone loss is closely associated with the ageing process and could trigger the onset of chronic diseases, such as sarcopenia and osteoporosis.¹⁻⁴ These characteristic changes in body composition negatively affect the overall quality of life in older adults,⁵ as it has been shown that declines in physical function and loss of independence leads to a higher risk of fractures and falls, and produces an increase in the percentage of mortality.⁶

Sarcopenia is defined as the age-related decrease in skeletal muscle mass (MM), neuromuscular function, and strength.⁷ These decrements are mainly apparent in women largely due to the hormonal deficits associated with menopause.⁴ Additionally, during menopause, there is an intensified loss of bone mass, which is the consequence of an imbalance in bone formation, where there is a higher rate in bone removal with

respect to its renewal.^{8,9} This decrease in bone mass contributes to a higher prevalence of osteoporotic fractures in women.¹⁰

Some studies have shown that mechanical loading on the skeleton is necessary to prevent loss of bone mass.^{11,12} In addition, nutritional status, physical activity, hormonal growth, and behavioral and environmental factors can affect bone development and its maintenance. However, it is clear that continuous adaptation to external loads on the bone is an important factor for bone development. Because skeletal muscle contractions provide the largest physiological loading on the bone, there is a close relationship between muscle strength and size with bone strength.¹³ Thus, exercise not only plays an important role in promoting gains in MM¹⁴ but also maximizes bone mass.^{15,16} Although regular physical activity is proposed to elicit favorable muscle and bone health, not all exercise interventions have found positive findings in women. Previous studies suggest that training methods that include high-impact activities generate greater osteogenic potential,¹⁷ but there is still some controversy with regards to the type of training that can produce higher increases in muscle and bone mass in postmenopausal and older women.

It has been previously shown that strength training provides a powerful stimulus to increase and maintain muscle and bone in the elderly.¹⁸⁻²¹ Interestingly, many studies have utilized a

Received May 13, 2017; revised and accepted July 12, 2017.

From the ¹UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain; and ²Department of Physical Activity and Sports Sciences, Faculty of Sports, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain.

Funding/support: None reported.

Financial disclosure/conflicts of interest: None reported.

Address correspondence to: Elena Marín-Cascales, PhD student, UCAM Universidad Católica de Murcia, Campus de los Jerónimos, N° 135, Guadalupe, Murcia 30107, Spain. E-mail: emarin@ucam.edu

Menopause, Vol. 25, No. 3, 2018 **1**

combination of different types of exercises (ie, multicomponent training [MT]) as an efficient method to minimize the reductions in muscle strength^{22,23} and bone loss.^{24,25} Kwon et al²⁶ have shown that 24 weeks of MT with low-impact aerobic exercises, resistance, and balance training improved MM in older women, but no significant effects on bone mineral density (BMD) of the spine and femoral neck were observed. Nevertheless, a meta-analysis by Martyn-St James and Carroll²⁷ reported that combining jogging with low-impact exercise or combining impact activities with high-magnitude exercise (ie, resistance training) is beneficial in preserving BMD in postmenopausal women. Similarly, Gómez-Cabello et al²⁴ showed that MT consisting of strength, aerobic, high-impact, and weight-bearing training can improve or at least attenuate the biological decrease in bone mass during ageing. Thus, it is not clear which MT method achieves better results.

These controversial outcomes in muscle and bone mass following different MT protocols may be explained by differences in age and sex of the participants. Therefore, the purpose of this systematic review was to update and examine to what extent MT interventions can improve lean and bone mass at different anatomical regions of the body in postmenopausal and older women.

METHODS

Literature search and data sources

The current study followed the recommendations of the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines.²⁸ A computerized literature search was performed in the following online databases: PubMed MEDLINE, Cochrane, and Web of Knowledge (WoS). The search included articles that were published up until February 2017. Keywords used for the database search were: “combined training”, “combined exercise”, “high-impact”, “multi-component”, “multicomponent”, “body composition”, “muscle mass”, “fat-free mass”, “lean mass”, “bone mass”, “bone mineral density”, “BMD”, “bone mineral content”, “BMC”, “women”, “older adults”, “elderly” or a combination of them. Reference lists of the evidence articles were also examined to find additional studies.

Inclusion and exclusion criteria

Randomized and nonrandomized controlled trials that were published in English were considered for this systematic review. Studies were selected if the following criteria were met: participants were postmenopausal (defining the postmenopausal period as the years after the year when menstruation ceased) and/or older women (age mean ≥ 65 years); at least one group of the study performed a supervised MT program; and at least one outcome variable included BMD or bone mineral content (BMC) of different sites, or MM, lean mass (LM), or fat-free mass (FFM). The exclusion criteria were as follows: studies without a control group; and studies that included participants who were taking medical treatments or supplementations that may influence muscle or bone mass.

Review selection

Three researchers (E.M.C., J.A.R.A., and D.J.R.C.) tabulated independently the selected indices in identical predetermined forms. After the removal of duplicates, the authors examined the titles and the abstracts. The full version of each article was obtained, and then, they were selected according to the previously established criteria. Disagreements were resolved by attaining a consensus among the reviewers.

Risk of bias assessment (study quality)

The methodological quality of the selected studies was evaluated according to the Cochrane risk of bias tool.²⁹ This method assesses the following aspects: randomness of the allocation sequence (selection bias); concealment of the allocation sequence (selection bias); blinding of participants and personnel and blinding to outcome assessment (performance and detection bias, respectively); incomplete outcome data (attrition bias); selective outcome reporting (reporting bias); and any other biases. For each study, each item was described as having either a low, high, or unclear risk of bias. Two authors independently (E.M.C. and J.A.R.A.) assessed the risk of bias, and disagreements were resolved by a third party evaluator (D.J.R.C.), in accordance with the Cochrane Collaboration Guidelines.²⁹

RESULTS

Study selection

A total of 1,484 studies were obtained from the database searches, and two additional records were identified after examination of the reference lists. Among them, 1,003 duplicates were removed, leaving 483 articles. Following the abstract and title screening, 453 articles were excluded. As a result, 30 studies were assessed for selection criteria. Of these articles, 15 met the inclusion criteria and were included for this systematic review (Fig. 1).

Study characteristics

Tables 1 and 2 summarize the main MT characteristics of the 15 included studies using the populations, interventions, comparisons, and outcomes (PICO) format. To facilitate the comparison between studies, the results of the trials were classified by age: postmenopausal ($n = 8$) and older women ($n = 7$). The risk of bias assessment is shown in Figs. 2 and 3. Because of the lack of allocation concealment in all of the studies, the risk of bias of this criterion was high. With regards to the blinding of the participants, the personnel, and the outcome assessment, the risk of bias was unclear.

Postmenopausal women

Among the studies with postmenopausal women that included a MT program (Table 1), a total of five studies^{22,30-33} evaluated variables related to MM. Also, six studies^{22,30,31,34-36} provided data on bone mass.

The effect of MT on MM has been studied by several authors. Marín-Cascales et al²² showed improvement in whole body LM, but no changes were observed in the control

EFFECTS OF MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

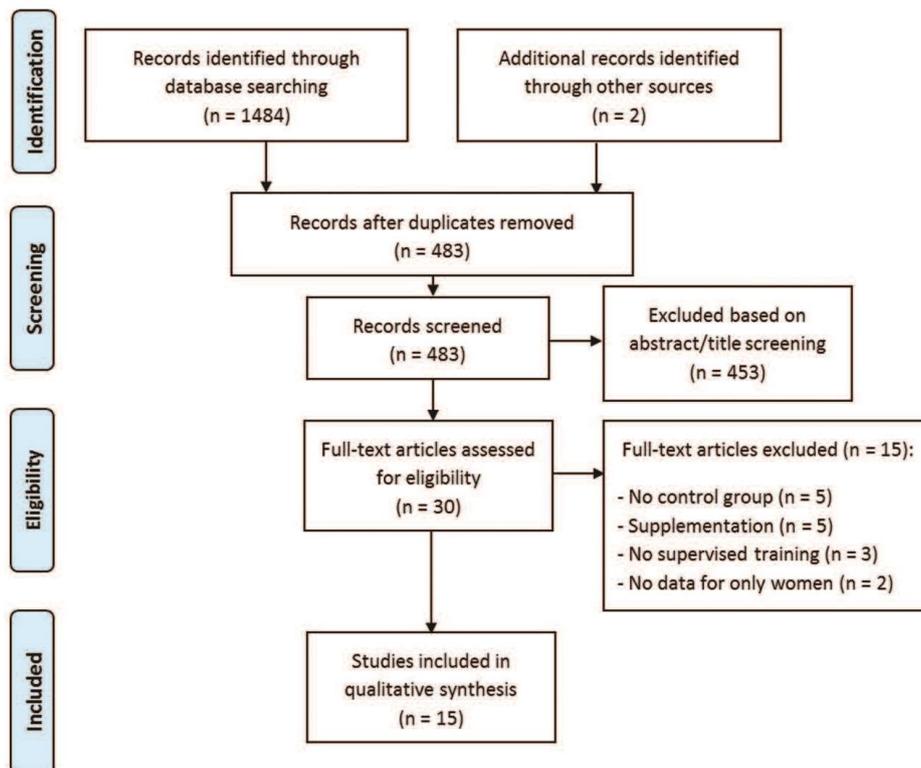


FIG. 1. Flow diagram of the study selection process.

group, following a 12-week program (three days per week of frequency) that consisted of combining 30 to 45 minutes of walking with four to six sets of 10 drop jumps. Rossi et al³³ demonstrated a significant improvement (+2.6%) in FFM after 16 weeks of combined aerobic and strength training (three days per week). Also, it was observed that the intervention group significantly increased lean body mass compared with the control women. However, some authors did not find increases in MM after MT.³⁰⁻³² Chien et al³⁰ examined the efficacy of combining 30 minutes of walking with 10 minutes of stepping exercise in postmenopausal women with osteopenia. They reported no changes in total FFM after 24 weeks of training, three days per week. Similarly, the 12-week MT program proposed by Park et al³² (running and resistance training, three times per week) did not produce any improvements in LM in postmenopausal women.

Bravo et al³⁴ analyzed the effect of MT on bone mass in osteopenic postmenopausal women. The program consisted of 25 minutes of aerobic activity (walking or dancing) combined with 15 minutes of stepping and isometric exercises. In

this study, no changes were observed in the BMD measured in the femoral neck and lumbar spine after one year of training, whereas there was a significant decrease of 1.3% in BMD of the lumbar spine in the control group. Similar results were found by Marin-Cascales et al,³¹ who showed nonsignificant differences in total BMD after 24 weeks of MT using drop jumps and aerobic activity in postmenopausal women.

However, the positive effects of MT on bone mass have been observed in postmenopausal women. In the study by Chien et al,³⁰ an increase of 6.8% was found in BMD measured at the femoral neck. Moreover, Tolomio et al³⁶ found that 11 months of a specific multicomponent exercise program, three times per week, improved the femoral neck T-score in a group of women with low bone mass. Furthermore, there were significant between-group differences in the femoral neck T score, and also all of the bone quality parameters evaluated by osteosonography. The exercise program used consisted of 20 minutes of walking, stretching, and jumping and 30 minutes of resistance training, balance, and mobility exercises. Multanen et al³⁵ examined the effect

TABLE 1. Characteristics of multicomponent training programs on bone and muscle mass in postmenopausal women

Study, y	No. of participants ^a	Age (y) and time since menopause ^{a,b}	Training protocol	Protocol time and exercise frequency	Training intensity	Pathology	Measurements	Results
Bravo et al, ³⁴ 1996	MT: 61 C: 63	50-70 MT: 59.6±5.8 C: 59.9±6.4 >1 y	MT: AT (25 min, walking/dancing), SE up and down from benches (15 min) and isometric exercises (UE, scapular waist, abdomen and back)	12 mos 3/wk	60%-70% HRR 12-15 RM	Osteopenic	FN and LS BMD	MT: NC FN and LS BMD C: NC FN BMD and LS BMD (-1.3%)
Chien et al, ³⁰ 2000	MT: 22 C: 21	48-65 MT: 57.1±8.6 C: 57.0±5.4 ≥6 mos	MT: treadmill walking (30 min) and SE using a 20-cm high bench (10 min)	24 wks 3/wk	AT: 70%-85% of VO ₂ max SE: speed of 96 bpm	Osteopenic	FN and LS BMD and WB FFM	MT: ↑ FN BMD (+6.8%), NC LS BMD and WB FFM C: ↓ LS BMD (-2.3%), NC FN BMD and WB FFM
Marín-Cascales et al, ²² 2015	MT: 14 WBVT: 14 C: 10	MT: 57.7±7.1 WBVT: 60.1±5.8 C: 62.4±5.1 >3 y	MT: 4-6 × 10 drop jumps (height of 5-10 cm) + AT (30-45 min walking) WBVT: 5-8 sets of vibration, holding half-squat and performing ankle plantar and dorsal flex (60's working time, 60 s RP)	12 wks 3/wk	AT: 50%-60% HRR WBVT: 35 Hz, amplitude 4 mm	Overweight	WB BMD WB LM	MT: NC WB BMD and ↓ WB LM WBVT: NC WB BMD and ↑ WB LM C: NC WB BMD and LM
Marín-Cascales et al, ³¹ 2017	MT: 13 WBVT: 15 C: 10	MT: 58.4±7.4 WBVT: 59.6±5.9 C: 62.4±5.1 >3 y	MT: 4-6 × 10 drop jumps (height of 5-25 cm) + AT (30-60 min walking) WBVT: 5-11 sets of vibration, holding half-squat and performing ankle plantar and dorsal flex (60's working time, 60 s RP)	24 wks 3/wk	AT: 50-75% HRR WBVT: 35-40 Hz, amplitude 4 mm	Overweight	WB BMD WB LM	MT: NC WB BMD and LM C: NC WB BMD and LM
Multanen et al, ³⁵ 2014	MT: 36 C: 40	50-66 MT: 58±4 C: 59±4	MT (35 min): AT (height of the foam fences from 5 to 20 cm) and SE (height of 10-20 cm in jumping exercises).	12 mos 3/wk	Low accelerations peaks (impacts)	Osteoporotic	FN, LS and TR BMC	MT: FN BMC (+0.6%), NC LS and TR BMC C: FN BMC (-1.2%) and ↑ FN BMC (1.6%), NC LS and TR BMC
Park et al, ³² 2015	MT: 10 C: 10	MT: 57.2±2.57 C: 57.2±1.69	MT: AT (40 min, running) and RT (40 min, 3 × 8-12 rep, UE and LE exercises)	12 wks 3/wk	AT: 40%-75% HRR RT: 60%-70% 1RM	Abdominal obesity	WB LM	MT: NC WB LM C: NC WB LM

(Continued on next page)

EFFECTS OF MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

TABLE 1. Continued

Study, y	No. of participants ^a	Age (y) and time since menopause ^{a,b}	Training protocol	Protocol time and exercise frequency	Training intensity	Pathology	Measurements	Results
Rossi et al. ³³ 2016	AT: 15 MT: 32 C: 18	61.0 ± 6.3 1-3 y	AT: 3 distances (400, 800, and 1,200 m) in the shortest possible time MT (57 min): AT (30 min) + RT (27 min, 3-4 × 8-15 rep of leg press, leg ext, leg curl, bench press, seated row, arm curl, triceps ext, side elevation with dumbbells, and abdominal exercises). MT: WU (20-25 min, walking, stretching, small jumps) and 30 min of RT, endurance, BT, and joint mobility (exercises with dumbbells, thera-bands, steps and balls).	16 wks	RT: 65%-80% 1RM	Obesity	WB FFM	AT: ↑ WB FFM (+1.7%) MT: ↓ WB FFM (+2.6%) C: NC WB FFM and ↓ WB FFM
Tolomio et al. ³⁶ 2010	MT: 58 C: 67	MT: 62 ± 5.0 C: 64 ± 5.3 ≥ 10 y		11 mos 3/wk	—	Osteopenic/osteoporotic	FN and H BMD FN and H T-score Ad-Sos, UBPI and T-score (osteosonography)	MT: ↓ FN T-Score, NC FN and H BMD, H T-score, Ad-Sos, UBPS and T-score (osteosonography) C: ↓ FN T-score, NC FN and H BMD, FN and H T-score, ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ Ad-Sos, ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ UBPI and ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ T-score (osteosonography)

↑ indicates significant increase ($P \leq 0.05$); ↓ indicates significant decrease ($P \leq 0.05$); ↑↑ indicates significant increase ($P \leq 0.001$); ↓↓ indicates significant decrease ($P \leq 0.001$); ↑↑↑ indicates significant increase ($P \leq 0.001$); ↓↓↓ indicates significant decrease ($P \leq 0.001$); — indicates no reported/no data.
Ad-Sos, amplitude-dependent speed of sound; AT, aerobic training participants; BT, balance training participants; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; C, control participants group; ext, extension; FFM, fat-free mass; Fle, flexion; FN, femoral neck; H, hip; HRK, heart rate reserve; LE, lower extremities; LM, lean mass; LS, lumbar spine; MT, multicomponent training participants; MM, muscle mass; NC, no changes within group; rep, repetition; RM, repetition maximum; RP, resting period; RT, resistance training participants; SE, stepping exercise; TK, trochanter; UBPI, Ultrasound Bone Profile Index; UBPS, ultrasound bone profile score; UE, upper extremities; VO₂max, maximum oxygen uptake; WB, whole body; WBVT, whole body vibration training participants; WU, warm-up.
^aExercise group are indicated where applicable.
^bData are presented as means, ranges or mean ± standard deviations.

TABLE 2. Characteristics of multicomponent training programs on bone and muscle mass in older women

Study, y	No. of participants ^a	Age (y) and time since menopause ^{a,b}	Training protocol	Protocol time and exercise frequency	Training intensity	Pathology	Measurements	Results
Chiu et al, ⁴⁰ 2009	MT: 8 C: 7	61-73 MT: 65.4 ± 3.5 C: 67.4 ± 3.8	MT: treadmill or cycle ergometer followed by static stretching (15min) and RT (45 min, 3 × 8 rep, abdominals, leg press, bench press, leg ext, shoulder press, sit up, seated row, triceps ext and biceps curl). 90-120s RP between each set.	6 mos 3/wk	RT: 80% 1RM	Overweight	FN and LS BMD	MT: NC FN and LS BMD C: NC FN BMD and † LS BMD
Englund et al, ³⁷ 2005	MT: 21 C: 19	66-87 MT: 72.8 ± 3.6 C: 73.2 ± 4.9	MT: RT (2 × 8-12rep for each muscle group), AT (walking and jogging), BT (static and dynamic), coordination, stretching and relaxation exercises.	12 mos 2/wk	-	Overweight	Arms, FN, LS, TR, WB and WT BMD WB BMC WB LM	MT: † Arms, † LS, †† TR, †† WB BMD, ††† WB BMC and ††† WB LM. NC FN and WT BMD. C: † Arms, † TR, † WB BMD, †† WB BMC, ††† WB LM and † WT BMD (8.4%). NC FN, LS and WT BMD
Korpeläinen et al, ⁴¹ 2006	MT: 84 C: 76	MT: 72.8 ± 3.6 C: 73.2 ± 4.9	MT (45min): jumping and BT (walking, knee bends, leg lifts, heel rises and drops, dancing, stamping, stair climbing and SE) 20min daily exercises at home	30 mos 3/wk 6 mos/y	-	Osteopenic/osteoporotic	FN BMC and BMD TR BMC and BMD Radius BMD Calcaneal BUA and SOS	MT: † TR BMC (-2.9%), † distal radius (-3.8%), and † ultradistal radius (-3.1%) BMD and † Calcaneal BUA and SOS C: † FN (-1.1%) and † TR (-1.6%), † distal radius (-3.1%) and † ultradistal radius (-3.4%) BMD, † TR BMC (-7.7%) and † Calcaneal BUA and SOS. NC FN BMC and BMD, and TR
Karinkanta et al, ⁴² 2007	RT: 37 BT: 35 MT: 36 C: 36	70-78 RT: 72.7 ± 2.5 BT: 72.9 ± 2.3 MT: 72.9 ± 2.2 C: 72.0 ± 2.1	RT: raising for a chair (using weight vest), squatting, leg presses, H abduction, H ext, calf rise and rowing using RT machines. BT: static and dynamic balance, agility training, jumps and other impacts, changes of direction exercises. MT: RT + BT	12 mos 3/wk	RT: from 50-60% to 75%-80% 1RM	Overweight	FN BMD and BMC Radius and tibia	MT: NC FN BMD and BMC, radius and tibia C: NC FN BMD and BMC, radius and † Tibial shaft BSI (2%)

(Continued on next page)

EFFECTS OF MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

TABLE 2. Continued

Study, y	No. of participants ^d	Age (y) and time since menopause ^{e,f}	Training protocol	Protocol time and exercise frequency	Training intensity	Pathology	Measurements	Results
Kwon et al, ²⁶ 2008	MT: 20 C: 20	70-80 MT: 77.4 ± 2.6 C: 77.0 ± 3.3	MT: stretching (20 min), low-impact AT (30 min), RT (3-10 rep, free weights) and BT	24 wks 3/wk	40%-75% HRR	-	FN, LS, TR, WB and WT BMD, WB, UE and LE MM	MT: ↑ TR BMD, ↑↑ WB, ↑ UE and ↑ LE MM, NC FN, LS, WB and WT BMD C: ↓↑ WB, ↓↑ UE, ↓↑ LE MM and ↑ TR BMD, NC LE MM, FN, LS, TR, WB and WT BMD
Marques et al, ³⁸ 2011	MT: 30 C: 30	60-95 MT: 70.1 ± 5.4 C: 68.2 ± 5.7 > 10 y	MT: 10 min light stretching and WU, 15 min of weight-bearing activities (marching in place, SE using a 15-cm-high bench, and heel-drops), 10 min muscular endurance exercises (UE and LE), 10 min BT and 10 min agility training	32 wks 2/wk	SE: speed of 120-125 bpm	Overweight	FN, LS and TR BMD, WB LM and FFM	MT: ↑ FN BMD (+2.8%), NC LS and TR BMD, WB LM and FFM C: ↓ FN BMD, NC FN, LS and TR BMD, WB LM and FFM
Park et al, ³⁹ 2008	MT: 25 C: 25	65-70 MT: 68.3 ± 3.6 C: 68.4 ± 3.4 > 5 y	MT: stretching (9 min), RT (10 min), weight-bearing exercise (23 min), BT (18 min) and posture correction training.	48 wks 3/wk	Weight-bearing exercise: 65%-75% of the MHR	-	FN, LS, TR, and WT BMD, WB LM	MT: ↑ FN and ↑ TR BMD, NC LS and WB LM C: ↓ FN and ↓ TR BMD, NC FN, LS, TR and WT BMD, and WB LM

↑ indicates significant increase ($P \leq 0.05$); ↓ indicates significant decrease ($P \leq 0.05$); ↑↑ indicates significant increase ($P \leq 0.01$); ↓↓ indicates significant decrease ($P \leq 0.01$); ↑↑↑ indicates significant increase ($P \leq 0.001$); ↓↓↓ indicates significant decrease ($P \leq 0.001$); ↑ indicates significant difference from MT ($P \leq 0.05$); ↓ indicates significant difference from MT ($P \leq 0.05$); ↑↑ indicates significant difference from MT ($P \leq 0.01$); ↓↓ indicates significant difference from MT ($P \leq 0.01$); ↑↑↑ indicates significant difference from MT ($P \leq 0.001$); ↓↓↓ indicates significant difference from MT ($P \leq 0.001$); — indicates not reported/no data.
 AT, aerobic training participants; BT, balance training participants; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; BSI, bone strength index; BUA, broadband ultrasound attenuation; C, control participants group; Ext, extension; FFM, fat-free mass; FN, femoral neck; H, hip; HRR, heart rate reserve; LE, lower extremities; LM, lean mass; LS, lumbar spine; MHR, maximal heart rate; MM, muscle mass; MT, multicomponent training participants; NC, no changes within group; rep, repetition; RM, repetition maximum; RP, resting period; RT, resistance training participants; SE, stepping exercise; SOS, speed of sound; TR, trochanter; UE, upper extremities; WB, whole body; WT, Ward's triangle; WU, warm-up.
^aExercise group are indicated where applicable.
^bData are presented as means, ranges or mean ± standard deviations.

MARÍN-CASCALES ET AL

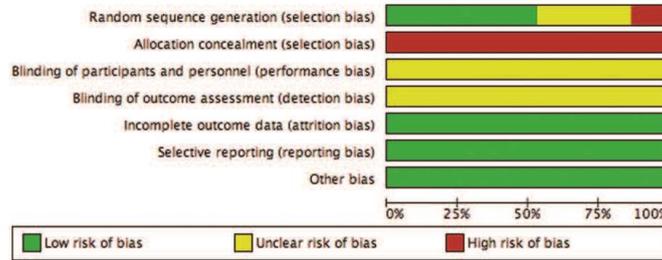


FIG. 2. Risk of bias graph.

	Random sequence generation (selection bias)	Allocation concealment (selection bias)	Blinding of participants and personnel (performance bias)	Blinding of outcome assessment (detection bias)	Incomplete outcome data (attrition bias)	Selective reporting (reporting bias)	Other bias
Bravo et al. (1996)	+	-	?	?	+	+	+
Chien et al. (2000)	-	-	?	?	+	+	+
Chuin et al. (2009)	?	-	?	?	+	+	+
Englund et al. (2005)	?	-	?	?	+	+	+
Karinkanta et al. (2007)	+	-	?	?	+	+	+
Korpelainen et al. (2006)	+	-	?	?	+	+	+
Kwon et al. (2008)	-	-	?	?	+	+	+
Marín-Cascales et al. (2015)	+	-	?	?	+	+	+
Marín Cascales et al. (2017)	+	-	?	?	+	+	+
Marques et al. (2011)	+	-	?	?	+	+	+
Multanen et al. (2014)	+	-	?	?	+	+	+
Park et al. (2008)	+	-	?	?	+	+	+
Park et al. (2015)	?	-	?	?	+	+	+
Rossi et al. (2016)	?	-	?	?	+	+	+
Tolomio et al. (2010)	?	-	?	?	+	+	+

FIG. 3. Risk of bias summary.

of high-impact training on bone in osteoporotic postmenopausal women. The exercise group that completed a program of aerobic training plus step-aerobic jumping exercises found a mean gain of 0.6% in BMC at the femoral neck, whereas the control group lost 1.2%. After 12 months, BMC at the femoral neck was significantly higher (1.6%) in the MT group than in the control group.

Older women

A combination of various types of exercise has been utilized in training programs by several authors to analyze the effects of these training protocols on body composition. In this systematic review, four studies^{26,37-39} assessed the effect of MT on muscle tissue, and seven studies^{26,37-42} reported outcomes in bone mass in older women (Table 2).

There was only one study that found positive adaptations in muscle after an MT program.²⁶ Kwon et al²⁶ showed improvements in MM of the whole body, and upper and lower limbs after 24 weeks of MT of stretching, low-impact aerobic, resistance training, and balance exercise. In the control group, MM of the whole body and upper limbs decreased significantly, and there were significant differences between groups in all MM variables. However, when Englund et al³⁷ evaluated the effects of MT on LM after one year of walking and jogging, resistance training, balance, coordination, stretching, and relaxation exercises, there was a significant decrease in LM between pre and post-testing in training and control groups. Marques et al³⁸ examined the effect of a MT program that was composed of stretching, weight-bearing activities, muscular endurance exercise, balance, and agility training in MM. After 32 weeks (two days per week of training frequency) of MT, no changes were observed in LM and FFM in the exercise group. These results agree with Park et al³⁹ that showed no adaptations in LM in the MT group (stretching, resistance training, weight-bearing exercise, balance, and posture correction training, three times per week for 48 weeks). Also, there were no changes between pre and post-testing in the muscle parameters in the control group.

Some studies have shown that MT can prevent bone demineralization in older women.^{26,37-39,41,42} Englund et al³⁷ observed increases in total BMC and BMD of the

EFFECTS OF MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

arms, lumbar spine, trochanter, and whole body in both MT-trained and untrained groups. In addition, there was a significant increment in BMD of the Ward's triangle (8.4%, $P < 0.01$) in the MT-trained compared with the control participants. Karinkanta et al⁴² reported that one year of MT with a frequency of three days per week, which consisted of resistance (raising for a chair, squatting, leg presses, etc) and balance training (static and dynamic balance, agility, jumps, etc), was not sufficient enough to increase bone mass in older women. However, the trained group showed a better tibial shaft bone strength index by 2% compared with the control group. Similarly, Kwon et al²⁶ observed an increase in trochanter BMD, and Park et al³⁹ confirmed an improvement in femoral neck and trochanter BMD in trained women. Moreover, Marques et al³⁸ showed significant group differences in femoral neck BMD, where the MT-trained group increased femoral neck BMD by +2.8%, the control group reported no changes in BMD. Korpelainen et al⁴¹ conducted a 30-month study with osteopenic and osteoporotic older women, using a program of six months of MT training (jumping and balance exercises, three times per week) per year, and demonstrated no positive results in the exercise group in BMD at the femoral neck or trochanter. In addition, the participants in the trained and control groups presented a decrease in BMC at the trochanter, but the loss was higher in the control group. The training program was not able to enhance bone mass at the calcaneus, and both groups showed a decrease in distal and ultradistal radius. Likewise, Chuin et al⁴⁰ observed no change in bone mass after a MT program, which consisted of aerobic activity, stretching, and resistance training for six months, three days per week. However, there was a significant decrease in lumbar spine BMD in the control group, and also a statistically significant difference between control and exercise groups.

DISCUSSION

Summary of findings

The main aim of this systematic review was to determine the effectiveness of MT programs on lean and bone mass at different body sites in postmenopausal and older women. The results show contradicting findings with combined training in postmenopausal and older women, as some studies observed increments in muscle and bone mass, whereas others reported no significant improvements in these parameters.

Five studies^{22,30-33} assessed the effect of MT interventions on MM, FFM, and LM in postmenopausal women. Among them, two articles^{22,33} found significant increases in the experimental groups that performed a multicomponent exercise program. However, the other three studies³⁰⁻³² did not obtain any adaptations in the MT groups. When comparing the studies that found positive changes, the combined-impact aerobic exercises and strength training appears to be an efficient MT method for enhancing MM in postmenopausal women. This is probably due to increases in protein synthesis from aerobic training⁴³ and promoting muscle fiber hypertrophy using high loads in resistance training.⁴⁴ Concerning

older women, four studies^{26,37-39} presented MM as an outcome variable. Of these studies, only one²⁶ reported pre-post improvements in body, upper, and lower limbs MM. Therefore, the effects of MT on MM in older women remain unclear. The absence of gains in MM may be related to the large methodological differences between programs. Hence, additional randomized controlled trials using specific MT programs are needed and may help clarify its benefits on MM in postmenopausal and older women.

With respect to bone mass in postmenopausal women, only three studies showed enhanced femoral neck BMD^{30,36} and BMC.³⁵ One study³⁴ showed that MT maintained femoral neck and lumbar spine BMD compared with controls that observed bone loss at the spine. However, no changes in BMD were observed in the other two articles.^{22,31} The lack of significant improvements in these studies may be explained by the fact that the exercise program was focused on the lower extremities, but whole-body BMD was measured. As osteogenic responses occur at loaded regions,¹⁷ the training protocol should be specific to areas (eg, the lumbar spine, femoral neck, and trochanter) that are most predisposed to fractures in women.

In this review, all of the included studies^{26,37-42} with older women analyzed the effect of MT on bone tissue. There were five records^{26,37-39,42} that showed BMD gains. In contrast, Chuin et al⁴⁰ did not show any significant effect on the bone, but did find a decrease in lumbar spine BMD in the control group. Korpelainen et al⁴¹ did not observe significant increases in the femoral neck and trochanter BMD in older women, but a decrement was shown at these regions in the control group after 30 months of intervention. Moreover, there were decreases in bone parameters in the calcaneus, distal, and ultradistal radius in both groups. This is the only long-term study in the present systematic review that found no significant impact on bone mass in the above mentioned sites in older women after MT. The lack of improvements may be explained by the noncontinuous nature of the training program. Women in the exercise group attended supervised training sessions for a 6-month period each year and trained unsupervised at home for 20 minutes for the remaining six months (ie, alternating supervised and unsupervised periods during the intervention study).

Although there are different MT protocols used to elicit changes in muscle and bone mass, walking is one of the most frequent types of aerobic activity employed for MT. Other activities such as isometric, strength, and resistance exercises, stretching or coordination, and relaxation movements are also typically included in the MT programs. Although the best training protocol for improving muscle and bone tissues remains to be clarified, studies that combine resistance, weight-bearing, aerobic, and high-impact (jogging, jumping, and stepping) training appear to be effective in increasing or preventing muscle and skeletal mass loss during the ageing process in women. It is worth noting that studies that showed enhancements in body parameters after MT included resistance training with high-intensity loads (between 70% and 80% of 1RM), with two to three sets per exercise and session.

Most of the aerobic training programs in the MT interventions showed positive effects on muscle and bone mass using an approximate volume of 30 minutes. The most utilized exercise frequency for MT was three times per week.

Even though positive effects on bone mass can be achieved after six months in some body sites, the success of the MT interventions is higher when lengthened to one year. However, not all MT programs have shown benefits for muscle and bone mass because of the high heterogeneity of the MT modes, the intensities and durations used, the ages and characteristics (baseline muscle and bone mass values) of the participants, and/or the anatomical sites examined. As there are disparities within the results of this systematic review regarding multicomponent exercise programs, further trials are needed to establish the most optimal MT for postmenopausal and older women.

Limitations

The main limitations of this systematic review were: the low number of studies included (eight focused on postmenopausal women and seven with older women) due to the few existing publications on MT intervention in women that examine muscle or bone mass as an outcome variable; and that some studies included participants with pathologies (overweight, obesity, osteopenia, or osteoporosis) that might have affected the results of muscle or bone mass.

CONCLUSIONS

There remains conflicting evidence regarding the effects of combined training methods in postmenopausal and older women in this systematic review, likely due to the different ages of the participants, various regions assessed, and diverse characteristics of the training methods between studies. Although it is not clear if multicomponent exercise protocols are able to improve muscle and bone mass in postmenopausal and older women, combining resistance training using high-intensity loads and impact-aerobic activities may be the most optimal strategy to enhance muscle and bone mass. However, further studies are needed to examine specific MT protocols and its effects on muscle and bone health at different anatomical locations in these women.

REFERENCES

- Patel HP, Syddall HE, Jameson K, et al. Prevalence of sarcopenia in community-dwelling older people in the UK using the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) definition: findings from the Hertfordshire Cohort Study (HCS). *Age Ageing* 2013;42:378-384.
- Marcus R. Role of exercise in preventing and treating osteoporosis. *Rheum Dis Clin North Am* 2001;27:131-141vi.
- Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, et al. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol* 1997;83:1581-1587.
- Calmels P, Vico L, Alexandre C, Minaire P. Cross-sectional study of muscle strength and bone mineral density in a population of 106 women between the ages of 44 and 87 years: relationship with age and menopause. *Eur J Appl Physiol Occupat Physiol* 1995;70:180-186.
- Riggs BL, Melton LJ 3rd. The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone* 1995;17 (5 Suppl):S05S-511S.
- Freiberger E, Sieber C, Pfeifer K. Physical activity, exercise, and sarcopenia: future challenges. *Wien Med Wochenschr* 2011;161:416-425.
- Walston JD. Sarcopenia in older adults. *Curr Opin Rheumatol* 2012;24:623-627.
- Lauretani F, Bandinelli S, Griswold ME, et al. Longitudinal changes in BMD and bone geometry in a population-based study. *J Bone Miner Res* 2008;23:400-408.
- Christenson ES, Jiang X, Kagan R, Schnatz P. Osteoporosis management in post-menopausal women. *Minerva Ginecol* 2012;64:181-194.
- Kanis JA, Johnell O, Oden A, Johansson H, McCloskey E. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporos Int* 2008;19:385-397.
- Blain H, Jaussent A, Thomas E, et al. Appendicular skeletal muscle mass is the strongest independent factor associated with femoral neck bone mineral density in adult and older men. *Exp Gerontol* 2010;45:679-684.
- Genaro PS, Pereira GA, Pinheiro MM, Szejnfeld VL, Martini LA. Influence of body composition on bone mass in postmenopausal osteoporotic women. *Arch Gerontol Geriatr* 2010;51:295-298.
- Schoenau E. From mechanostat theory to development of the "Functional Muscle-Bone-Unit". *J Musculoskelet Neuron Interact* 2005;5:232-238.
- Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:249-258.
- Kannus P, Sievanen H, Vuori I. Physical loading, exercise, and bone. *Bone* 1996;18 (1 Suppl):1S-3S.
- Frost HM. On our age-related bone loss: insights from a new paradigm. *J Bone Miner Res* 1997;12:1539-1546.
- Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Calbet JA. Exercise and bone mass in adults. *Sports Med* 2009;39:439-468.
- Boccalini DS, Serra AJ, dos Santos L, Murad N, Levy RF. Strength training preserves the bone mineral density of postmenopausal women without hormone replacement therapy. *J Aging Health* 2009;21:519-527.
- Brentano MA, Cadore EL, Da Silva EM, et al. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res* 2008;22:1816-1825.
- Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE, Donnelly M, Warren J, Elliot J. Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med* 2000;34:18-22.
- Romero-Arenas S, Martinez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging Dis* 2013;4:256-263.
- Marín-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 weeks of whole-body vibration versus multi-component training in post-menopausal women. *Rejuvenation Res* 2015;18:508-516.
- Aragao FR, Abrantes CG, Gabriel RE, Sousa MF, Castelo-Branco C, Moreira MH. Effects of a 12-month multi-component exercise program on the body composition of postmenopausal women. *Climacteric* 2014;17:155-163.
- Gómez-Cabello A, Ara I, Gonzalez-Aguero A, Casajus JA, Vicente-Rodríguez G. Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med* 2012;42:301-325.
- Kemmler W, von Stengel S, Engelke K, Haberle L, Kalender WA. Exercise effects on bone mineral density, falls, coronary risk factors, and health care costs in older women: the randomized controlled senior fitness and prevention (SEFP) study. *Arch Intern Med* 2010;170:179-185.
- Kwon Y, Park S, Kim E, Park J. The effects of multi-component exercise training on (V)over-dot-O(2)max, muscle mass, whole bone mineral density and fall risk in community-dwelling elderly women. *Japanese J Phys Fitness Sports Med* 2008;57:339-348.
- Martyn-St James M, Carroll S. A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *Br J Sports Med* 2009;43:898-908.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Int J Surg* 2010;8:336-341.
- Higgins JP, Altman DG, Gotzsche PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 2011;343:d5928.
- Chien MY, Wu YT, Hsu AT, Yang RS, Lai JS. Efficacy of a 24-week aerobic exercise program for osteopenic postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* 2000;67:443-448.

EFFECTS OF MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

31. Marin-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 weeks of whole body vibration versus multicomponent training on muscle strength and body composition in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Rejuvenation Res* 2017;20:193-201.
32. Park SM, Kwak YS, Ji JG. The Effects of Combined Exercise on Health-Related Fitness, Endotoxin, and Immune Function of Postmenopausal Women with Abdominal Obesity. *J Immunol Res* 2015;2015:830567.
33. Rossi FE, Fortaleza AC, Neves LM, et al. Combined training (aerobic plus strength) potentiates a reduction in body fat but demonstrates no difference on the lipid profile in postmenopausal women when compared with aerobic training with a similar training load. *J Strength Cond Res* 2016;30:226-234.
34. Bravo G, Gauthier P, Roy PM, et al. Impact of a 12-month exercise program on the physical and psychological health of osteopenic women. *J Am Geriatr Soc* 1996;44:756-762.
35. Multanen J, Nieminen MT, Hakkinen A, et al. Effects of high-impact training on bone and articular cartilage: 12-month randomized controlled quantitative MRI study. *J Bone Miner Res* 2014;29:192-201.
36. Tolomio S, Ermolao A, Lalli A, Zaccaria M. The effect of a multicomponent dual-modality exercise program targeting osteoporosis on bone health status and physical function capacity of postmenopausal women. *J Women Aging* 2010;22:241-254.
37. Englund U, Littbrand H, Sondell A, Pettersson U, Bucht G. A 1-year combined weight-bearing training program is beneficial for bone mineral density and neuromuscular function in older women. *Osteoporos Int* 2005;16:1117-1123.
38. Marques EA, Mota J, Machado L, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int* 2011;88:117-129.
39. Park H, Kim KJ, Komatsu T, Park SK, Mutoh Y. Effect of combined exercise training on bone, body balance, and gait ability: a randomized controlled study in community-dwelling elderly women. *J Bone Miner Metab* 2008;26:254-259.
40. Chuin A, Labonte M, Tessier D, et al. Effect of antioxidants combined to resistance training on BMD in elderly women: a pilot study. *Osteoporos Int* 2009;20:1253-1258.
41. Korpelainen R, Keinanen-Kiukkaanniemi S, Heikkinen J, Vaananen K, Korpelainen J. Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: a population-based randomized controlled 30-month intervention. *Osteoporos Int* 2006;17:109-118.
42. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, et al. A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: randomized, controlled trial. *Osteoporos Int* 2007;18:453-462.
43. Short KR, Vittone JL, Bigelow ML, Proctor DN, Nair KS. Age and aerobic exercise training effects on whole body and muscle protein metabolism. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004;286:E92-E101.
44. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* 2004;34:663-679.

ANEXO 4: Artículo 4

Marín-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 Weeks of Whole-Body Vibration Versus Multi-Component Training in Post-Menopausal Women. *Rejuvenation Res.* 2015 Dec;18(6):508-16.

REJUVENATION RESEARCH
Volume 18, Number 6, 2015
© Mary Ann Liebert, Inc.
DOI: 10.1089/rej.2015.1681

Effect of 12 Weeks of Whole-Body Vibration Versus Multi-Component Training in Post-Menopausal Women

Elena Marín-Cascales,¹ Jacobo A. Rubio-Arias,^{1,2} Salvador Romero-Arenas,² and Pedro E. Alcaraz^{1,2}

Abstract

The aims of this study were to analyze the effects of two different training protocols—vibratory platform and multi-component training—and to determine what kind of training creates greater adaptations on bone density and isokinetic strength of the knee extensors and the stabilizer muscles of the ankle joint in post-menopausal women. Thirty-eight women (59.8 ± 6.2 years) were randomly assigned to whole-body vibration group (WBVG), multi-component training group (MTG), or a control group (CG). The experimental groups performed incremental training for 12 weeks, three sessions/week. Significant differences were found in total fat mass and total lean mass in the training groups. In addition, both WBVG and MTG showed significant increases in isokinetic strength for knee extensors at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and at $270^\circ \cdot s^{-1}$. With respect to the ankle joint, a significant increase for eversion at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and inversion at $60^\circ \cdot s^{-1}$ was found in both training groups, and eversion at $120^\circ \cdot s^{-1}$ only in WBVG ($p=0.012$). There were no significant differences between WBVG and MTG in knee and ankle strength tests. Therefore, we found significant adaptations to whole-body vibration and multi-component training in the present study. However, the improvements were similar for both groups and we cannot claim that WBVG is better than MTG, or vice versa.

Introduction

ONE OF THE MAJOR CHANGES OCCURRING in developed countries is an increase in the number of people over the age of 60. Aging is associated with a decline in functional capacity and the loss of independence that can negatively affect daily living in elderly.¹ Aging of the population represents a serious public health problem that involves a significant economic cost.² During aging in women, menopause marks a period of changes in various body systems. As a consequence of the natural reduction of estrogen levels, emotional (depression, anxiety) and physiological disorders occur that may influence women's quality of life.^{3,4}

The deficit in lower body strength is considered the most relevant factor in the elderly, with post-menopausal women being the most affected.⁵ For example, muscular strength reduces by 15% per decade after 50 years old and by 30% after 70 years. The strength loss is one of the main symptoms of sarcopenia,⁶⁻⁸ with a major incidence in old women. Another disease associated with age and women is osteoporosis, and one of its symptoms is the decrease of bone mass, intensifying the risk for fall fractures.⁹ Estrogen deficiency in menopause induces instability between resorption and bone formation in such a way that the amount of bone removed

during the remodeling cycle is slightly higher than what is renewed.¹⁰ Women present less bone mineral density (BMD) than men in all age groups and suffer an accelerated loss during the 5 years after menopause as a result of hormonal changes that happen during this stage.^{11,12}

In this regard, neither body weight nor physical activity is independent of muscle mass, but it is true that muscle forces place greater loads on bones than do gravitational forces associated with weight. The formation and development of skeletal tissue is a continuous and dynamic process that involves the participation of hormonal, nutritional, behavioral, and environmental factors. The central piece of bone regulation is the feedback loop between bone deformation (tissue strain) and bone strength. During growth, this homeostatic system is continually forced to adapt to external challenges. The theoretical background for this approach is provided by the mechanostat theory, which proposes that bones adapt their strength to keep the strain caused by physiological loads close to a set point. Because the largest physiological loads are caused by muscle contractions, there should be a close relationship between bone strength and muscle force or size.¹³

Many strategies have been used against bone reduction, however, as reflected by Schoenau.¹³ Physical activity, which

¹Research Center for High Performance Sport, Universidad Católica de Murcia, Murcia, Spain.

²Department of Physical Activity and Sport Sciences, Universidad Católica de Murcia, Murcia, Spain.

produces muscle adaptations, is the most effective tool to prevent the effects of aging.¹⁴ With practice, both physical condition and quality of life improve¹⁵ without adversities from medicines and their lack of effectiveness. Strength training in older adults is the most efficient procedure for improvement of muscle mass and therefore bone mass, because the mechanical load that is produced on bone structure contributes to the osteogenesis process.¹⁶⁻²³

In this sense, between different methods for improving the strength, whole-body vibration (WBV) training contributes to an increase in BMD.²⁴⁻²⁷ It has been shown that vibration is an appropriate stimulus to generate bone formation. Tanaka et al.²⁸ and Kaspar et al.²⁹ studied its effect on bone and concluded that vibratory stimuli favor the proliferation of osteoblasts, producing improvements in BMD. On the other hand, the effects of WBV training programs are determined by neural adaptation and possible hormonal and biochemical changes. WBV exercises cause excitation of the primary endings of muscle spindles (whose afferent feedback stimulates increased discharge of α -motor neurons) as well as activation of Golgi tendon organs (GTO), which are sensitive to force development and whose activation results in inhibition of muscle action.³⁰ In addition, different studies provide improvements on the strength of the knee extensors.^{31,32} However, there is no agreement in the literature defining the program that determines the optimum vibration, such as a greater effectiveness when compared to traditional protocols. Thus, there is a need to continue research into this type of training and the effects it has on the different types of population.

Despite the fact that vibratory training may be an appropriate strategy for improvement of BMD with shortened working time, in the last years, training programs combining different exercise modalities (multi-component training) appear to be an effective training system to avoid loss of BMD,³³⁻³⁹ decrease body fat,³⁶ and improve strength levels.⁴⁰ In previous studies addressing multi-component training, the authors suggest that high-impact activities (such as jumps, climbing stairs, jogging, and hopping exercises) combined with dynamic maximum strength, balance, agility, or aerobic training is an effective way to maintain or increase muscle strength and to prevent bone fragility in post-menopausal women.^{4,41}

The effects of vibration and multi-component training on strength and body composition have been studied separately among different age groups, including post-menopausal women. However, there are no studies that have compared the effects of the vibration versus combined training on these variables. Thus, in view of the great methodological differences in relation with the ideal program as a natural therapy to prevent the loss of strength and BMD, the aims of this study were to: (1) Analyze the effects of two different training protocols (vibratory platform and multi-component training) and (2) determine what type of training creates greater adaptations on bone density and the isokinetic strength of the knee extensors and the stabilizer muscles of the ankle joint in post-menopausal women.

Methods

Experimental design

A quasi-experimental intra- and inter-subjects design with pre- and post-test, 12 weeks, with a control group, was

conducted. Participants were matched by BMD and were randomly allocated to three groups: Whole body vibration group (WBVG) ($n=28$), multi-component training group (MTG) ($n=23$), and control group (CG) ($n=13$).

Body composition measurements were performed, and later, isokinetic concentric strength of the knee extensors was measured and ankle function tests were executed. All tests were administered by the same investigator. All participants were instructed to maintain their normal daily routines and dietary intake.

Subjects

Sixty-four post-menopausal women (considering post-menopausal as the period comprising the years following the year after the cessation of menstruation) were recruited by non-probability convenience sampling. Exclusion criteria included: Presenting a high level of osteoporosis (BMD <70 grams/cm²), being treated for a disease that can affect bone structure or neuromuscular system, having orthopedic prosthetic implants in the lower limbs and/or spine, having herniated discs, suffering ocular diseases that affect the retina, suffering severe cardiovascular diseases, suffering from epilepsy, having a pacemaker or osteosynthesis material, practicing some type of physical activity regularly, and frequency of participation in the stipulated program lower than 90% (participants who missed more than 10% of the training sessions were excluded). Before the onset of the study, all subjects signed an informed consent document about how training and assessments would be developed. The study design was approved by the Human Subjects Ethics Committee of the Local University.

Bone mass density

Initially, the height and weight of the participants were obtained. Later, subjects were placed in the supine position on a table and bone mass density was measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA; XR-46, Norland Corp., Fort Atkinson, WI). The DEXA scanner was calibrated using a lumbar spine phantom. Participants had to maintain a static position for 8 min (duration of the test). Total bone, fat and lean (body mass - [fat mass + bone mass]) masses were assessed from the whole body scan. Areal BMD (BMD = grams · cm⁻²) was calculated using the formula BMD = BMC × area⁻¹. In addition, body mass index (BMI = height/weight²) was calculated.

Isokinetic strength

For isokinetic strength measurement, a Biodex System 3 Pro isokinetic dynamometer (Biodex Medical System, NY) was used. Concentric isokinetic strength was evaluated in the right knee and ankle joints. The dynamometer was calibrated prior to testing according to recommendations outlined by the manufacturer, and gravity correction was performed as described in the Biodex test manual. The axis of rotation of the dynamometer lever arm was aligned with the anatomical axis of the knee and ankle.

A specific warm-up was performed prior to tests (8 min on a cycle ergometer at moderate intensity, active and passive stretching, and joint mobility of the lower limbs). Each subject performed a familiarization at the test velocity

EFFECTS OF 12 WEEKS TRAINING IN POST-MENOPAUSAL WOMEN

3

to become accustomed to the movement. Participants were instructed to generate maximum force as fast and as hard as possible.

For isokinetic strength measurement in knee extension, the joint range was 90°, where 0° was up to the full extension. Participants sat on the seat and were held in with straps around distal trunk and thigh, to avoid movement of the body. The check consisted of one set of five maximal concentric knee flexion and extension repetitions at 60°·s⁻¹ and 270°·s⁻¹.

In addition, isokinetic strength in eversion and inversion was evaluated. For this, subjects remained seated at 90° for hip and knee joints. The thigh and foot were secured and supported so that the ankle was placed at 90° with regard to the leg (tibia perpendicular to the sole of the foot). Once the limits of the joint were marked, the ankle was placed from a neutral position, and an inversion movement followed by eversion was performed. The test consisted of one set of five maximal concentric ankle eversion and inversion repetitions at 60°·s⁻¹ and 120°·s⁻¹.

Between trials, a 2-min rest period was imposed. Verbal encouragement was given during the test. The peak concentric torque obtained for each test. Isokinetic strength was normalized relative to body mass (kgf·N·m⁻¹) (in newton-meters per kilogram).

Training

The total duration of the intervention phase was 12 weeks. The experimental groups were exposed to a training stimulus with a frequency of three sessions per week and a total volume of 36 sessions. Rest period between each training day was at least 24 hr and a maximum of 72 hr. Before training sessions, participants performed a specific warm-up consisting in 8 min on a cycle ergometer at moderate intensity followed by stretching and joint mobility of the lower limbs.

WBV training

The WBVG exercised on a sinusoidal vertical vibration platform (Power Plate Next Generation; Power Plate North America, Northbrook, IL). During sessions, subjects stood on the platform holding a half-squat (knee and hip angle 120°). The arms remained crossed and parallel to the floor with a shoulder flexion of 90°, without using the handholds of the platform during the training. Then, participants performed ankle plantar and dorsal flexion with the following work sequence (establishing a rhythm of 100 beats per minute [bpm]: 1 bpm for the concentric phase and 5 bpm for the eccentric phase). The amplitude (4 mm), working time (60 sec), and recovery time (60 sec) parameters remained constant for the 12 weeks of training. The training intensity was 35 Hz.⁴² Familiarization lasted for the first 2 weeks, being the working time of 45 sec. The training volume was increased by increasing the number of series per session (five sets at the beginning and increasing by eight sets the last weeks).

Multi-component training

After the warm-up and prior to aerobic activity, MTG participants performed a progressive program of vertical

jumps. During the first month, small reactive vertical jumps (without knee and ankle flexion) were executed. Later, subjects performed drop jumps progressively starting at a height of 5 cm and finishing at 10 cm at the end of the program (increases of 5 cm each month). The sets increased from 4×10 drop jumps to 6×10 each week. The drop jumps were the same each month, but the load progression (imposed by height) was undulatory (the load increased during 3 weeks and decreased during 1 week).

After drop jumps, the aerobic exercise took place.⁴³ The load increased progressively over the 12 weeks. Subjects walked at an intensity range between 50% and 60% of reserve heart rate (maximum heart rate – resting heart rate) and the volume ranged between 30 and 45 min. The training intensity was established through the gait speed after an initial test with training computer/heart rate monitor prior to training.

Statistical analyses

Statistical analysis of data was performed with SPSS 15.0 (Chicago, IL) in the MS Windows environment. A descriptive analysis was performed to detail and analyze the characteristics of the sample participating in the study.

For the inferential analysis, a Kolmogorov–Smirnov test was performed 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 analysis of variance (ANOVA) measurements (general linear model) were carried out for the entire sample. If there were statistically significant differences ($p \leq 0.05$) for the time factor, an ANOVA test was performed to assess repeated measures of each group to differentiate between pre-test and post-test. If there were statistically significant differences ($p \leq 0.05$) for time×, a group factor ANOVA and Tukey post hoc test were performed to see if there were significant differences between groups. Power ($1-\beta$) was determined for all variables and effect sizes were calculated using eta square (d).

Results

A total of 38 women completed training programs and all of the assessments. The distribution of the sample was homogeneous in terms of number of participants. Twenty-six subjects dropped out during the training period for personal reasons or health problems (Fig. 1). None of the drop outs left the program as a result of injuries or adverse responses to the treatment. The characteristics of the final subjects at baseline are represented in Table 1.

Bone mass density

There were no changes in total BMD in either group (Table 2). Significant differences were found in total fat mass (WBVG, $p=0.001$, $d=0.58$, $1-\beta=0.98$; MTG, $p=0.026$, $d=0.04$, $-\beta=0.11$) and total lean mass (WBVG, $p=0.001$, $d=0.60$; $-\beta=0.98$; MTG, $p=0.013$, $d=0.34$, $-\beta=0.67$) between pre- to post-test in the training groups. There was a significant decrease in body fat (%) only in the WBVG ($p=0.001$, $d=0.78$, $-\beta=1.0$). There were significant differences between the WBVG and CG in total fat mass ($p=0.001$) and lean mass ($p=0.016$).

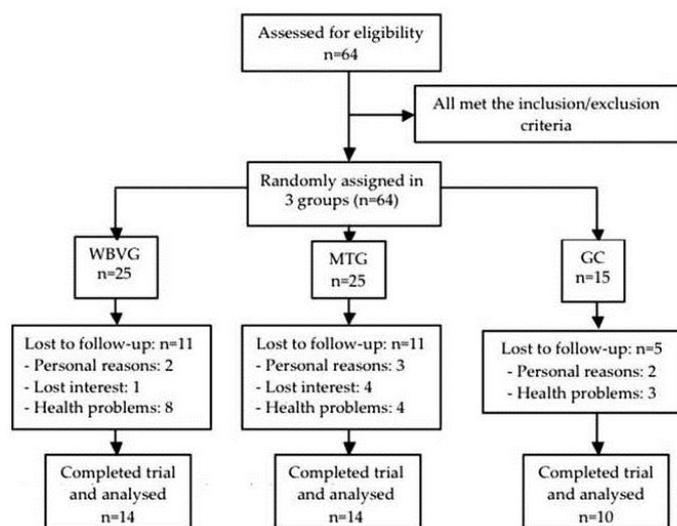


FIG. 1. Trial profile.

Isokinetic strength

Knee. Concentric isokinetic strength for knee extensor is presented in Table 3. In the training groups, an increase was found in the peak torque in extension at $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG, $p=0.021$, $d=0.25$, $1-\beta=0.49$; MTG, $p=0.011$, $d=0.34$, $1-\beta=0.67$) and extension at $270^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG, $p=0.002$, $d=0.46$, $1-\beta=0.87$; MTG, $p=0.001$, $d=0.62$, $1-\beta=0.99$). With respect to peak torque per body weight, there was an increase in extension at $270^\circ \cdot s^{-1}$ in the experimental groups (WBVG, $p=0.006$, $d=0.41$, $1-\beta=0.80$; MTG, $p=0.001$, $d=0.64$, $1-\beta=0.99$). Figure 2 presents relative gains in the peak torque between the pre-test and post-test for each group.

Ankle. Table 3 presents gains in peak torque for eversion and inversion for the experimental between the pre-test and post-test. In the training groups was found a significant increase for eversion at $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG, $p=0.001$, $d=0.64$, $1-\beta=0.99$; MTG, $p=0.003$, $d=0.36$, $1-\beta=0.71$), inversion at $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG, $p=0.015$, $d=0.42$, $1-\beta=0.78$; MTG, $p=0.044$, $d=0.20$, $1-\beta=0.39$), eversion at $120^\circ \cdot s^{-1}$ only in WBVG ($p=0.012$, $d=0.42$, $1-\beta=0.76$). In relation to relative gains in the peak torque, there were differences between pre- to post-test in the training groups during the concentric contraction of eversion at $60^\circ \cdot s^{-1}$ (WBVG,

$p=0.001$, $d=0.18$, $1-\beta=0.33$; MTG, $p=0.003$, $d=0.50$, $1-\beta=0.12$), inversion at $60^\circ \cdot s^{-1}$ only in WBVG ($p=0.021$, $d=0.45$, $1-\beta=0.82$) and eversion at $120^\circ \cdot s^{-1}$ only in WBVG ($p=0.027$, $d=0.38$, $1-\beta=0.70$). Figure 3 presents relative gains in the peak torque between the pre-test and post-test for each group.

There were no significant differences between the WBVG and MTG in knee and ankle strength tests. No significant differences were found in the CG between pre- and post-test in any of the strength measurements.

Discussion

The aims of the present study were to analyze the effects of two training protocols, WBV and MT, during 12 weeks on bone density, and isokinetic strength of the knee extensors and stabilizer muscles of the ankle joint, and to determine which training protocols produce greater adaptations of these variables in post-menopausal women.

Regarding the BMD variables, there were no significant changes in any of the experimental groups after training. No differences were found between groups. Some studies have proved that WBV is useful in bone tissue, which may represent an effective method for preventing the loss of BMD. Ruan et al.⁴⁴ studied the effect of 6 months of WBV in 66

TABLE 1. DESCRIPTIVE DATA BY TRAINING GROUPS

Variable	WBVG (n=14)	MTG (n=14)	CG (n=10)	Total (n=38)
Age (years)	60.1 (5.8)	57.7 (7.1)	62.4 (5.1)	59.8 (6.2)
Height (cm)	156.7 (5.2)	155.0 (4.4)	157.4 (4.2)	156.3 (4.7)
Weight (kg)	78.1 (13.5)	70.5 (10.1)	72.7 (10.1)	73.9 (11.7)
BMI ($kg \cdot m^{-2}$)	31.9 (5.6)	29.3 (3.9)	29.4 (4.7)	30.3 (4.9)

Values are given as mean (standard deviation [SD]).

BMI, body mass index; WBVG, whole-body vibration group; MTG, multi-component training group; CG, control group.

EFFECTS OF 12 WEEKS TRAINING IN POST-MENOPAUSAL WOMEN

5

TABLE 2. CHANGES IN BODY COMPOSITION PARAMETERS

Variable	WBVG (n=14)			MTG (n=14)			CG (n=10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Body fat (%)	45.8 (6.3)	43.6 (6.3)	-2.2**	41.8 (4.4)	41.1 (4.1)	-0.7	40.4 (4.7)	42.1 (4.6)	1.7
Fat mass (kg)	38.2 (1.2)	36.6 (1.2)	-1.6**	30.9 (6.7)	30.5 (6.2)	-0.4*	30.5 (7.6)	31.7 (7.4)	1.2 [†]
Lean mass (kg)	41.1 (3.3)	42.8 (3.4)	1.7**	39.8 (5.1)	40.6 (5.5)	1.1*	42.2 (4.4)	42.0 (5.7)	-0.1 [†]
BMD _{total} (g · cm ⁻²)	0.938 (0.095)	0.939 (0.113)	0.001	0.918 (0.103)	0.927 (0.090)	0.009	0.886 (0.091)	0.892 (0.097)	0.006

Values are given as mean (standard deviation [SD]).

*Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$).

**Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$).

[†]Significant difference from WBV ($p < 0.05$).

WBVG, whole-body vibration group; MTG, multi-component training group; CG, control group; BMD, bone mineral density; Δ, change.

post-menopausal women (five sessions per week). After vibration therapy, there were significant increases in BMD at the lumbar spine (4.3%) and femoral neck (3.2%) when compared with baseline. In contrast, Russo et al.⁴⁵ showed no changes in bone characteristics following 6 months of WBV training in older women. These findings suggest that the training protocols should be more long lasting and that an analysis of BMD should be performed in specific areas to try to determine more precisely the effect of vibratory training on BMD.

However, Tanaka et al.²⁸ evaluated the effects of broad frequency vibration on cultured osteoblasts. The results suggested that osteoblasts are more sensitive to low-amplitude, broad-frequency strain, and this kind of strain could sensitize osteoblasts to high-amplitude, low-frequency strain. This suggestion implies a potential contribution of stochastic resonance to the mechanical sensitivity of osteoblasts and modulating mechanical adaptation responses in bone. Kaspar et al.²⁹ investigated whether bone formation by human osteoblasts *in vitro* is stimulated at low strain levels. Furthermore, they identified those bone cell activities that are dependent on mechanical strain and responsible for an increased bone formation in reaction to mechanical loading. The results demonstrated that cyclic strain at physiologic magnitude leads to an increase of osteoblast activities related to matrix production, whereas those activities that are characteristic for the differentiated osteoblast and relevant for matrix mineralization are decreased.

On the other hand, multi-component training appears to be a useful tool in the prevention of osteoporosis because such programs cause an anabolic effect on bone mass. In this sense, Vainionpaa et al.⁴⁶ reported that a 12-month exercise program with walking and jumping training was able to improve bone parameters in women. Nevertheless, another study carried out by Binder et al.⁴⁷ showed that combined flexibility-coordination-movement speed-strength training of 6 months duration was not enough to enhance bone mass. The broad differences of data found between studies may be because most of research used a time of exposure to exercise and weekly frequency was greater than in current study. The large methodological differences in relation to multi-component training, with no uniformity between programs, hinder a real comparison between studies.

With regard to lean mass, there were statistically significant changes between pre- and post-training in the two ex-

perimental groups. There were also significant differences between the vibratory and control groups after 12 weeks. In this connection, Roghani et al.⁴⁸ also obtained significant increases in lean mass after 6 weeks of multi-component training that included walking and resistance exercises. In exchange, Yoo et al.,⁴⁹ who assessed the body composition of 112 students after 12 weeks of vibration exposure three times per week, obtained no significant increase in lean mass compared to the control group. Bosco et al.⁵⁰ found that exposure to vibration produces a sharp increase in blood levels of hormones such as testosterone and growth hormone. These endocrine changes would explain the increase in lean mass after vibration training. The practice of intense physical exercise long term causes changes in hormonal response,⁵¹ but WBV will produce a similar result with less practice time. As we grow older, a loss of muscle mass associated with attenuation of these anabolic hormones (especially in older women) occurs.⁵² The skeleton is a dynamic tissue associated with the muscular system. Therefore, an increase on muscle mass generates changes on bone mass. Along these lines, Calendo et al.⁵³ evaluated whether muscle activation and muscle strengthening caused by WBV has an effect on bone density. The study showed a positive correlation between muscle and bone mass. There was a significant increase on muscle activity that resulted in an improved bone density in the lumbar spine and the hip in post-menopausal women.

After 12 weeks of training, the experimental groups showed a significant decrease in total fat mass (WBVG = -2.2%; MTG = -0.7%), whereas it did not change (1.7%) in the CG. Furthermore, there were significant differences between WBVG and CG. Comparing our study with that by Milanese et al. (2012), similar results can be observed. Those authors assessed the body composition of 44 young women after 8 weeks of vibration training, obtaining a significant decrease in total body fat between pre- and post-test and without changes in body weight.⁵⁴ Nevertheless, other studies have not obtained favorable results for WBVT in decrease in fat mass, like Roelants et al.,³² who did not observe changes in body fat with a 24-week of vibration program, three times/week, in women. Despite the existence of conflicting results, in a more recent review about the effects of WBV training on weight loss, Cristi-Montero et al.⁵⁵ described as a possible explanation three pathways involved in weight loss—inhibition of adipogenesis and reduction of fat mass, increased energy expenditure, and an

TABLE 3. CHANGES IN ISOKINETIC PEAK TORQUE (N·M) FOR KNEE EXTENSORS AT ANGULAR VELOCITIES OF 60°·s⁻¹ AND 270°·s⁻¹, AND FOR ANKLE EVERSION AND INVERSION AT ANGULAR VELOCITIES OF 60°·s⁻¹ AND 120°·s⁻¹

Variable	WBVG (n = 14)			MTG (n = 14)			CG (n = 10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Knee extension at 60°·s ⁻¹	97.4 (13.2)	105.3 (16.4)	7.9 (14.0)*	90.4 (20.4)	99.2 (26.2)	8.8 (12.7)*	92.7 (17.8)	93.4 (16.1)	0.7 (7.7)
Knee extension at 270°·s ⁻¹	50.9 (8.8)	55.9 (7.2)	4.9 (5.5)**	45.6 (12.9)	52.9 (13.1)	7.3 (5.9)**	47.2 (7.1)	48.8 (6.9)	1.9 (5.6)
Ankle eversion at 60°·s ⁻¹	17.3 (4.9)	22.1 (6.5)	4.8 (3.8)**	15.7 (4.3)	19.0 (6.0)	3.4 (4.6)**	15.8 (4.6)	16.9 (2.6)	1.2 (3.0)
Ankle eversion at 120°·s ⁻¹	14.5 (4.3)	16.5 (4.6)	2.0 (2.5)*	13.1 (2.3)	14.4 (3.7)	1.3 (2.4)	12.0 (3.5)	12.9 (2.9)	0.9 (3.5)
Ankle inversion at 60°·s ⁻¹	16.6 (5.0)	19.0 (5.3)	2.4 (2.9)*	14.1 (5.3)	16.0 (5.1)	1.9 (3.9)*	15.1 (3.1)	15.7 (2.6)	0.6 (3.1)
Ankle inversion at 120°·s ⁻¹	12.7 (3.7)	13.8 (4.0)	1.1 (2.3)	12.6 (4.3)	13.3 (3.7)	0.7 (2.9)	12.0 (2.9)	13.3 (3.4)	1.3 (3.1)

Values are given as mean (standard deviation [SD]).

*Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$).

**Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$).

WBVG, whole-body vibration group; MTG, multi-component training group; CG, control group; Δ, change.

increase in muscle mass. An increase in muscle volume raises resting energy expenditure, which could help in reducing body weight and in fatty acid oxidation.

Another important finding was that the two training groups showed significant increases in isokinetic strength of the knee extensors muscles at 60°·s⁻¹ (WBVG=7.9%; MTG=8.8%) and 270°·s⁻¹ (WBVG=4.9%; MTG=7.3%) after 12 weeks. In addition, the experimental groups showed significant improvement for eversion and inversion movements at 60°·s⁻¹, and only WBVG for eversion at 120°·s⁻¹ in ankle joint between pre- and post-test. However, there were no differences between groups. These results are in line with those published by other authors who support that WBV increases the dynamic strength of the muscles of the lower extremities.^{32,56-58} Machado et al.⁵⁷ studied the effect of 10 weeks of WBV on strength (measured by maximal voluntary isometric contraction [MVIC]) in older women (age=65-90 years). The strength of the knee extensors and hip improved significantly when compared with baseline values.⁵⁷

Similar results were obtained by Roelants et al.,³² who proposed a training protocol of 24 weeks in post-menopausal women ($n=69$) in which three groups were established, one exposed to vibration, another to resistance training, and a third to control. The vibration group performed high squat, deep squat, wide-stance squat, and lunge exercises. On the other hand, the resistance group combined 20 min of cardiovascular exercises and 40 min strength training for knee extensors. Mid-tests were performed after 12 weeks of training. The isometric strength (MVIC) and dynamic strength of knee extensors were measured. Women in the two experimental groups improved isometric and isokinetic strength, whereas power showed a greater gain in the WBV group. With respect to gain strength through multi-component training programs, Cadore et al.⁵⁹ studied the effect of combined training protocol of 12 weeks duration in nonagenarians ($n=24$), two sessions per week. Each session encompassed resistance training with progressive loads, balance, and walking exercises. As in our research, the final evaluations showed beneficial results on the strength of the knee extensors. Similarly, in another study they found that a program of MT of 12 months, integrating weight-bearing exercises and aerobic activity, increased levels both maximal isometric force of the knee extensor muscles, and balance in older adults.⁴⁰

There are studies in the literature that evaluate the effects of long-term WBV training on reflex activity of the ankle stabilizer muscles. In recent research, a 6-week intervention, three sessions/week, in 44 healthy and physically active volunteers was performed. After training, there were no significant differences in reflex activity of muscles analyzed (peroneus longus, peroneus brevis, and anterior tibialis).⁶⁰ Similarly, Melnyk et al.⁶¹ studied the effect of 4 weeks of vibration training on the stabilizing muscles of the ankle joint. Despite using amplitude and stimulus frequency parameters similar to those of the present study, they found no significant results after treatment. In our study, the participants performed a program including dynamic vibration action that renders plantar flexion of ankle, raising the heels on vibration platform to take the position of dorsiflexion again later, keeping in both cases periarticular ankle muscle contraction.

In the current study, improvements were found in the isokinetic strength of the muscles involved in the movements of ankle inversion and eversion. The instability that adopts the ankle to make a dynamic pattern on the vibratory platform

EFFECTS OF 12 WEEKS TRAINING IN POST-MENOPAUSAL WOMEN

7

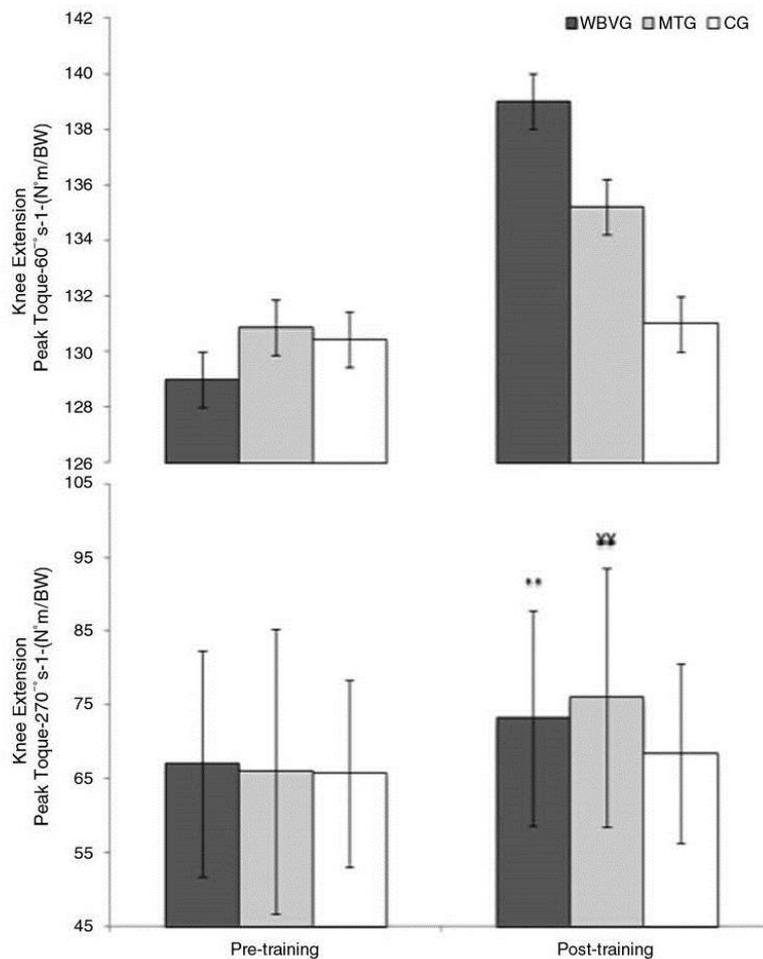


FIG. 2. Changes in isokinetic peak torque for knee extension at angular velocities of $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ and $270^{\circ} \cdot s^{-1}$ for each group. (*) Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$) in the whole-body vibration group (WBVG); (**) significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$) in the WBVG; (†) significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$) in the multi-component training group (MTG); (††) significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$) in the MTG.

could justify this strength gain. The literature shows that the vibratory stimulus generates greater adaptation training in the muscle group closer to the vibration platform.⁶² Increases in the strength of the knee extensors were associated with increased joint mobility.⁶³ The improvement in the strength deficit of the inversion muscles can be of great importance as a system of long-term prevention of sprains, falls, and induced injuries by these in older people.⁶⁴

No study has been found relative to the isokinetic strength gains of the ankle inversion and eversion musculature through multi-component exercise programs. In our training protocol, participants combined the aerobic exercise of walking with drop jumps. During the landing, the ankle adopts a dorsiflexion position to cushion the impact. Thus, this could justify the improvement on the strength evertors

and invertors of the ankle because their passive activation is necessary during the fall or imbalance occurs.⁶⁵ In this regard, Lin et al.⁶⁶ suggest the work of proprioception and strength of ankle stabilizers muscles by co-activation of agonist-antagonists such as preventive training with the aim of stabilizing the complex periarticular.

In summary, the present research shows that 12 weeks of WBV and MT significantly improve the strength of the knee and stabilizer muscles of the ankle joint. Furthermore, CG values remained constant throughout the study. The increased muscular strength of lower limbs decreases the likelihood of a fall, sprain, or fracture.⁶⁷ In this sense, these results are considered very important because falls are a major cause of morbidity and mortality in actual society, especially in post-menopausal women. In

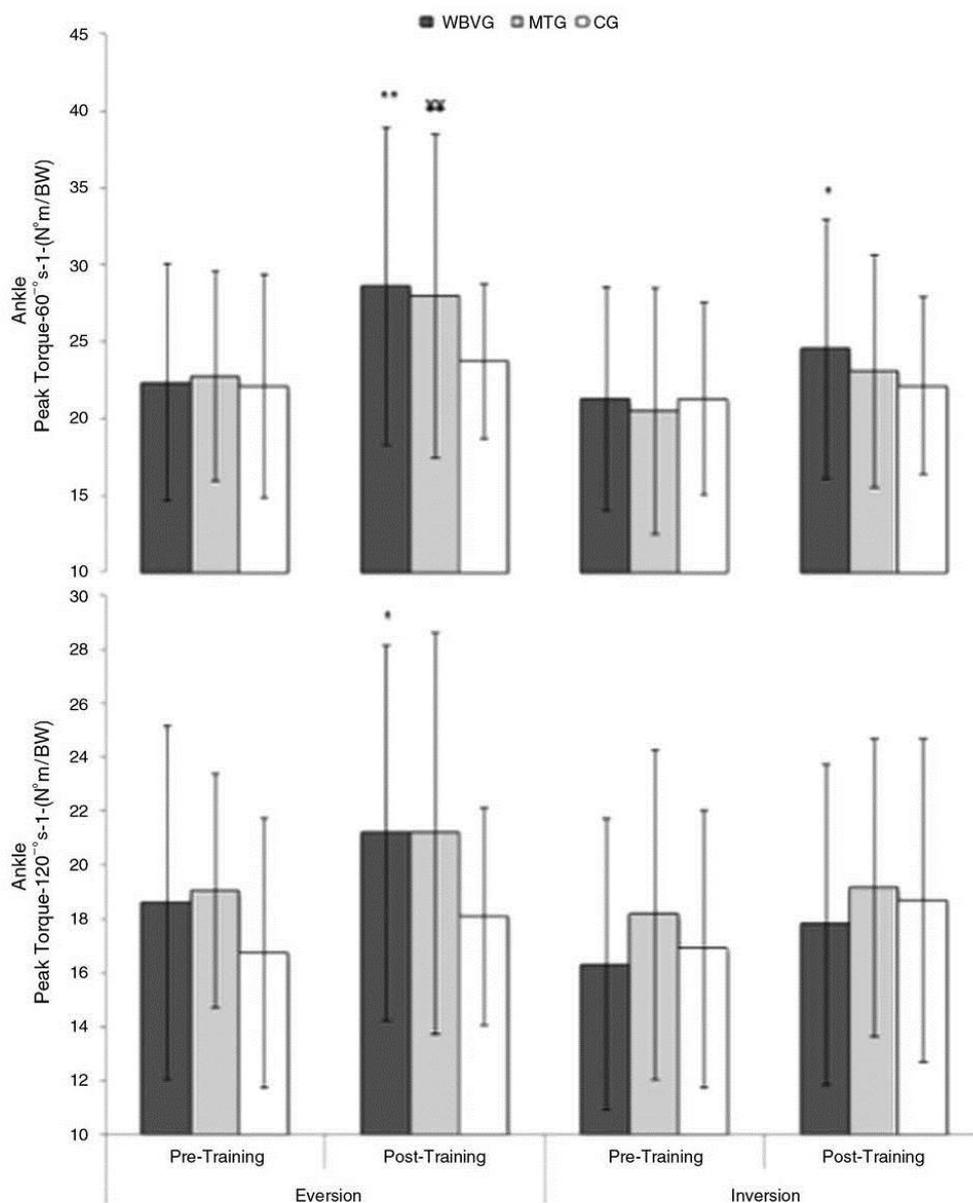


FIG. 3. Changes in isokinetic peak torque for eversion and inversion at angular velocities of $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ and $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ for each group. (*) Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$) in the whole-body vibration group (WBVG); (**) significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$) in the WBVG; (¥) significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$) in the multi-component training group (MTG); (¥¥) significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$) in the MTG.

addition, adaptations occurred in body composition (decreased fat mass and increased muscle mass). Thus, obesity and sarcopenia risks, diseases that commonly occur in older adults, would be reduced. Even though one of the aims of this study was to determine which training

protocol produces greater adaptations in body composition and strength, there were no significant differences between WBV and MT. The improvements were similar for both groups and the claim cannot be made that vibration is better than multi-component training. However,

EFFECTS OF 12 WEEKS TRAINING IN POST-MENOPAUSAL WOMEN

9

taking into account that training on a vibratory platform brings benefits with shortened session time and perceived exertion, this may be a good alternative to use in the elderly.

With the objective to find differences in the variables of strength and body composition between the training groups, more investigations are needed. The main limitations of the present study were: (1) High experimental drop-out over the 12-week study; (2) shortened duration of the treatment period that can explain why no results were obtained on BMD; (3) more specific measurement of BMD (lumbar spine and femoral neck); and (4) lack of assessments that have transferred to activities of daily life.

Acknowledgments

The authors thank the Universidad Católica de Murcia, located in Spain, for financing this research (grant no. pmafi/05/12). The authors also express gratitude to all the subjects

who volunteered to participate in this study and made this project possible.

Author Disclosure Statement

No competing financial interests exist.

Address correspondence to:

Elena Marín-Cascales
Centro de Investigación en Alto Rendimiento
Deportivo—UCAM (CIARD-UCAM)
Universidad Católica San Antonio de Murcia
Campus de los Jerónimos, s/n
30107, Guadalupe, Murcia
Spain

E-mail: elenamcascales@gmail.com

Received: February 4, 2015

Accepted: May 12, 2015

References

- Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* Jul 2009;41(7):1510-1530.
- Stevens JA, Corso PS, Finkelstein EA, Miller TR. The costs of fatal and non-fatal falls among older adults. *Inj Prev.* Oct 2006;12(5):290-295.
- McKinlay SM, Brambilla DJ, Posner JG. The normal menopause transition. *Maturitas.* Jan 1992;14(2):103-115.
- Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, et al. Maintenance of exercise-induced benefits in physical functioning and bone among elderly women. *Osteoporos Int.* Apr 2009;20(4):665-674.
- Granacher U, Zahner L, Gollhofer A. Strength, power, and postural control in seniors: considerations for functional adaptations and for fall prevention. *Eur J Sport Sci.* 2008;8(6):325-340.
- Doherty TJ, Vandervoort AA, Brown WF. Effects of ageing on the motor unit: a brief review. *Can J Appl Physiol.* Dec 1993;18(4):331-358.
- Vandervoort AA. Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve.* Jan 2002;25(1):17-25.
- Evans WJ. What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* Nov 1995;50 Spec No:5-8.
- Lauretani F, Bandinelli S, Griswold ME, et al. Longitudinal changes in BMD and bone geometry in a population-based study. *J Bone Miner Res.* Mar 2008;23(3):400-408.
- Serrano S, Mariñoso M. Bases histológicas de la histomorfometría ósea. In: Serrano S, Aubia J, Mariñoso M, (eds.): *Patología Osea Metabólica*. Barcelona: Doyma; 1990, pp. 55-70.
- Yuen KW, Kwok TC, Qin L, et al. Characteristics of age-related changes in bone compared between male and female reference Chinese populations in Hong Kong: a pQCT study. *J Bone Miner Metab.* Nov 2010;28(6):672-681.
- Gomez-Cabello A, Ara I, Gonzalez-Aguero A, et al. Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med.* Apr 1 2012;42(4):301-325.
- Schoenau E. From mechanostat theory to development of the "Functional Muscle-Bone-Unit". *J Musculoskelet Neuronal Interact.* Jul-Sep 2005;5(3):232-238.
- ACSM. ACSM Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* Jun 1998;30(6):975-991.
- Bravo G, Gauthier P, Roy PM, et al. A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: its impact on bone, functional fitness, and well-being. *Arch Phys Med Rehabil.* Dec 1997;78(12):1375-1380.
- Bocalini DS, Serra AJ, dos Santos L, et al. Strength training preserves the bone mineral density of postmenopausal women without hormone replacement therapy. *J Aging Health.* Jun 2009;21(3):519-527.
- Brentano MA, Cadore EL, Da Silva EM, et al. Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res.* Nov 2008;22(6):1816-1825.
- de Matos O, Lopes da Silva DJ, Martinez de Oliveira J, Castelo-Branco C. Effect of specific exercise training on bone mineral density in women with postmenopausal osteopenia or osteoporosis. *Gynecol Endocrinol.* Sep 2009;25(9):616-620.
- Kerr D, Ackland T, Maslen B, et al. Resistance training over 2 years increases bone mass in calcium-replete postmenopausal women. *J Bone Miner Res.* Jan 2001;16(1):175-181.
- Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, et al. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A

- randomized controlled trial. *JAMA*. Dec 28 1994;272(24):1909-1914.
21. Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE, et al. Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med*. Feb 2000;34(1):18-22.
 22. Romero-Arenas S, Martinez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging Dis*. 2013;4(5):256-263
 23. Romero-Arenas S, Pérez-Gómez J, Alcaraz PE. Circuit training. A useful tool for preventing the effects of aging? *Cultura_Ciencia_Deporte*. 2011;6(18).
 24. Gusi N, Raimundo A, Leal A. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2006;7:92.
 25. Rubin C, Recker R, Cullen D, et al. Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J Bone Miner Res*. Mar 2004;19(3):343-351.
 26. Totosy de Zepetnek JO, Giangregorio LM, Craven BC. Whole-body vibration as potential intervention for people with low bone mineral density and osteoporosis: a review. *J Rehabil Res Dev*. 2009;46(4):529-542.
 27. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, et al. 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*. Mar 2004;19(3):352-359.
 28. Tanaka SM, Li J, Duncan RL, et al. Effects of broad frequency vibration on cultured osteoblasts. *J Biomech*. Jan 2003;36(1):73-80.
 29. Kaspar D, Seidl W, Neidlinger-Wilke C, et al. Dynamic cell stretching increases human osteoblast proliferation and CICP synthesis but decreases osteocalcin synthesis and alkaline phosphatase activity. *J Biomech*. Jan 2000;33(1):45-51.
 30. Issurin VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness*. Sep 2005;45(3):324-336.
 31. Melnyk M, Kofler B, Faist M, et al. Effect of a whole-body vibration session on knee stability. *Int J Sports Med*. Oct 2008;29(10):839-844.
 32. Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc*. Jun 2004;52(6):901-908.
 33. Heinonen A, Kannus P, Sievanen H, et al. Randomised controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk factors for osteoporotic fractures. *Lancet*. Nov 16 1996;348(9038):1343-1347.
 34. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H, et al. A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: randomized, controlled trial. *Osteoporos Int*. Apr 2007;18(4):453-462.
 35. Kukuljan S, Nowson CA, Bass SL, et al. Effects of a multi-component exercise program and calcium-vitamin-D3-fortified milk on bone mineral density in older men: a randomised controlled trial. *Osteoporos Int*. Jul 2009;20(7):1241-1251.
 36. Marques EA, Mota J, Machado L, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int*. Feb 2011;88(2):117-129.
 37. Park H, Kim KJ, Komatsu T, et al. Effect of combined exercise training on bone, body balance, and gait ability: a randomized controlled study in community-dwelling elderly women. *J Bone Miner Metab*. 2008;26(3):254-259.
 38. Tolomio S, Ermolao A, Lalli A, Zaccaria M. The effect of a multicomponent dual-modality exercise program targeting osteoporosis on bone health status and physical function capacity of postmenopausal women. *J Women Aging*. 2010;22(4):241-254.
 39. Korpelainen R, Keinänen-Kiukaanniemi S, Heikkinen J, et al. Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: a population-based randomized controlled 30-month intervention. *Osteoporos Int*. Jan 2006;17(1):109-118.
 40. Mian OS, Thom JM, Ardigo LP, et al. Effect of a 12-month physical conditioning programme on the metabolic cost of walking in healthy older adults. *Eur J Appl Physiol*. Jul 2007;100(5):499-505.
 41. Chien MY, Wu YT, Hsu AT, et al. Efficacy of a 24-week aerobic exercise program for osteopenic postmenopausal women. *Calcif Tissue Int*. Dec 2000;67(6):443-448.
 42. Marin PJ, Rhea MR. Effects of vibration training on muscle strength: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*. Feb 2010;24(2):548-556.
 43. McCarthy JP, Agre JC, Graf BK, et al. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*. Mar 1995;27(3):429-436.
 44. Ruan XY, Jin FY, Liu YL, et al. Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chin Med J (Engl)*. Jul 5 2008;121(13):1155-1158.
 45. Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil*. Dec 2003;84(12):1854-1857.
 46. Vainionpaa A, Korpelainen R, Leppaluoto J, Jamsa T. Effects of high-impact exercise on bone mineral density: a randomized controlled trial in premenopausal women. *Osteoporos Int*. Feb 2005;16(2):191-197.
 47. Binder EF, Brown M, Sinacore DR, et al. Effects of extended outpatient rehabilitation after hip fracture: a randomized controlled trial. *JAMA*. Aug 18 2004;292(7):837-846.
 48. Roghani T, Torkaman G, Movassegh S, et al. Effects of short-term aerobic exercise with and

- without external loading on bone metabolism and balance in postmenopausal women with osteoporosis. *Rheumatol Int.* Feb 2013;33(2):291-298.
49. Yoo J, Joh H, Do H, et al. Effects of whole body vibration exercise on body weight and body composition in young adults. *Korean J Fam Med.* 2009;30 (2):112-119.
50. 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.
51. Viru A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med.* Apr 1992;13(3):201-209.
52. Hakkinen K, Pakarinen A. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand.* Jun 1993;148(2):199-207.
53. Calendo LR, Taeymans J, Rogan S. [Does muscle activation during whole-body vibration induce bone density improvement in postmenopausal women?-- A systematic review]. *Sportverletz Sportschaden.* Sep 2014;28(3):125-131.
54. Milanese C, Piscitelli F, Simoni C, et al. Effects of whole-body vibration with or without localized radiofrequency on anthropometry, body composition, and motor performance in young nonobese women. *J Altern Complement Med.* Jan 2012;18(1):69-75.
55. 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.
56. 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.
57. Machado A, Garcia-Lopez D, Gonzalez-Gallego J, Garatachea N. Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Scand J Med Sci Sports.* Apr 2010;20(2):200-207.
58. Bosco C, Colli R, Intorini E, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol.* Mar 1999;19(2):183-187.
59. Cadore EL, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, et al. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr).* Apr 2014;36(2):773-785.
60. Martinez F, Rubio JA, Ramos DJ, et al. Effects of 6-week whole body vibration training on the reflex response of the ankle muscles: a randomized controlled trial. *Int J Sports Phys Ther.* Feb 2013;8(1):15-24.
61. Melnyk M, Schloz C, Schmitt S, Gollhofer A. Neuromuscular ankle joint stabilisation after 4-weeks WBV training. *Int J Sports Med.* Jun 2009;30(6):461-466.
62. Roelants M, Verschueren 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.
63. Burnfield JM, Josephson KR, Powers CM, Rubenstein LZ. The influence of lower extremity joint torque on gait characteristics in elderly men. *Arch Phys Med Rehabil.* Sep 2000;81(9):1153-1157.
64. Fox J, Docherty CL, Schrader J, Applegate T. Eccentric plantar-flexor torque deficits in participants with functional ankle instability. *J Athl Train.* Jan-Mar 2008;43(1):51-54.
65. McCaw ST, Cerullo JF. Prophylactic ankle stabilizers affect ankle joint kinematics during drop landings. *Med Sci Sports Exerc.* May 1999;31(5):702-707.
66. Lin WH, Liu YF, Hsieh CC, Lee AJ. Ankle eversion to inversion strength ratio and static balance control in the dominant and non-dominant limbs of young adults. *J Sci Med Sport.* Jan 2009;12(1):42-49.
67. Pizzigalli L, Filippini A, Ahmaidi S, et al. Prevention of falling risk in elderly people: the relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. *J Strength Cond Res.* Feb 2011;25(2):567-574.

ANEXO 5: Artículo 5

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. *Rejuvenation Res.* 2017 Jan 19.

Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial

Elena Marín-Cascales,¹ Pedro E. Alcaraz,^{1,2} and Jacobo A. Rubio-Arias^{1,2}

Abstract

The purposes of this study were to analyze the impact of 24 weeks of vibratory and multicomponent training (MT) and to determine what type of training creates greater adaptations on body composition and isokinetic strength of the knee and ankle joints in postmenopausal women. Thirty-eight women (60.0 ± 6.3 years) were randomly assigned to whole body vibration group (WBVG), multicomponent training group (MTG), or a control group. A significant decrease in total fat mass was observed in experimental groups. There were no changes in total lean mass and total bone mineral density in both groups. WBVG and MTG showed significant increases in isokinetic strength for knee extensors at $60^\circ/s$ and at $270^\circ/s$. Regarding the ankle joint, there were significant increments in strength for plantar flexion at $60^\circ/s$ in WBVG and at $120^\circ/s$ in the two trainings groups. MTG showed a significant increase in strength for dorsiflexion at $60^\circ/s$. With respect to eversion and inversion, WBVG and MTG improved strength at $60^\circ/s$. Also, the WBVG showed increased strength in the ankle evertors at $120^\circ/s$ and both groups showed increased strength in the ankle invertors at $120^\circ/s$. Twenty-four weeks of whole body vibration or MTs result in positive modifications in total fat mass. These trainings are effective in improving knee extension and stabilizer muscles of the ankle joint strength.

Keywords: aging, isokinetic strength, menopause, DEXA, BMD

Introduction

HORMONAL DEFICITS DURING POSTMENOPAUSE have a profound effect on health status in women, particularly since women spend around 30 years in postmenopause. The relationship between the loss in muscle mass and strength during the menopausal transition has been studied by different authors. Rolland et al.¹ showed that women experience a 0.6% decrease in muscle mass per year after menopause. Nevertheless, the decrements in muscle mass depend not only on age and menopause status² but also other factors that influence this loss, such as low physical activity,³ inflammatory effects,⁴ and lower leg strength.⁵

After menopause, the cycle of bone formation and resorption undergoes an “uncoupling” process, which leads to an increase in osteoclastic resorption activity and, in turn, a net loss of bone mass. In addition, there is a decrease in calcium absorption during the first phase of menopause.⁶

During menopausal period, bone mineral density (BMD) reduces by 10%,⁷ which suggests that menopause has an effect on bone tissue and may explain why there is a major incidence of fractures in women. Thus, muscle and bone loss are two main factors that occur after menopause.

To attenuate the aging effects, especially in postmenopausal women, various modes of physical activity or training programs are currently being used. Different studies have shown that multicomponent training (MT), the combination of different exercise modalities, is a suitable method to prevent loss of BMD and to improve muscle strength in older women.^{8,9} It has been demonstrated that mechanical stress can improve bone mass in premenopausal women,¹⁰ but not in postmenopausal women.¹¹ Nevertheless, there remains some controversy regarding the osteogenic potential to improve BMD using MT. In addition, there are many different protocols of MT; thus, further studies are necessary to elucidate the potential benefits this modality of exercise has in postmenopausal women.

¹Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain.

²Department of Physical Activity and Sport Sciences, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain.

On the contrary, whole body vibration training (WBVT) on a platform has been suggested to be an appropriate intervention to improve muscle strength and body composition to counteract the loss of bone mass and muscle.^{9,12} The mechanical stimulus generated by this training method is transmitted to the body where, in turn, it stimulates the sensory receptors (muscle spindles). The activation of the sensory receptors results in the activation of the α -motoneurons to contract the muscle, and it has been suggested that this mechanism via vibration is comparable to that of the tonic vibration reflex.^{13,14} Different studies have determined the impact of WBVT on BMD and muscle strength.¹⁵⁻¹⁷ Tsuji et al.¹⁸ studied the effect of 8 weeks of WBVT on lower limb muscular strength in women (aged=50-73 years) and showed significant improvements when compared with baseline parameters.¹⁸ Marín-Cascales et al.⁹ examined the effects of 12 weeks of vibratory exercise training in a group of 14 postmenopausal women, who performed static and dynamic exercises involving the muscles of the lower extremities. The study showed increases in isokinetic strength in the knee extensors and stabilizer muscles of the ankle joint, whereas there were no changes observed in bone density.⁹ Lai et al.¹⁵ investigated a longer high-frequency and low magnitude whole body vibration (WBV) intervention (6 months) of 5 minutes natural full standing posture, three times per week. The results showed increments in BMD of the lumbar spine in a group of 28 postmenopausal women after 6 months of vibration therapy.¹⁵ Moreover, taking into account that ~3-4 months is needed to complete the bone remodeling cycle (bone resorption, formation, and mineralization),¹⁹ exercise training programs should last for at least 6-8 months to ensure that structural property changes are achieved. Although BMD improvements have been shown, the most effective WBVT program is yet to be determined in postmenopausal women.⁹

Although previous studies have examined the effects of WBVT and MT on strength and body composition in postmenopausal women, the effectiveness of these training programs remains unclear, and it is not known whether WBVT has a greater effect on these variables than MT. Therefore, the aims of the current study were to analyze the impact of 24 weeks of vibratory and MT, and to determine what type of training creates greater adaptations on body composition and isokinetic strength of the knee extensors and the stabilizer muscles of the ankle joint in postmenopausal women.

Materials and Methods

Experimental design

A quasi-experimental of 24 weeks, intra- and inter-subjects design with pre- and post-test, with control group (CG) was conducted. Participants were matched by BMD and were randomly allocated to three groups: whole body vibration group (WBVG) ($n=25$), multicomponent training group (MTG) ($n=25$), and CG ($n=15$). Software: Research Randomizer, www.randomizer.org/form.htm was used as a method to randomize subjects.

The test session began with body composition measurements. After the first tests, the isokinetic concentric strength of the knee and ankle extensors, flexors, invertors, and

evertors was measured. All isokinetic tests were administered by the same investigator. All participants were instructed to maintain their normal daily routines and eating habits. Participants in CG did not train and performed only pre- and post-test at 24 weeks.

Subjects

Sixty-five postmenopausal women were recruited by non-probability convenience sampling. Participants were excluded if they had a high level of osteoporosis (BMD <70 g/cm²), were being treated for a disease that can affect bone structure or neuromuscular system, had orthopedic prosthetic implants in the lower limbs and/or spine, had herniated discs, had ocular diseases that affected the retina, had severe cardiovascular diseases, had epilepsy, had a pacemaker or osteosynthesis implant, had practiced some type of physical activity regularly, and had a lower than 90% attendance to the stipulated program. Before the onset of the study, all subjects signed an informed consent document about training, and assessments would be developed. The design was approved by the Human Subjects Ethics Committee of the Local University.

Body composition

Subjects were placed in a supine position on the table and proceeded to record body composition and bone mass density measurements by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) (XR-46; Norland Corp., Fort Atkinson, WI). Total bone, fat and lean masses were assessed by the whole body scan. Areal BMD (g/cm²) was calculated using the formula BMD=BMC/area.

Isokinetic strength measurements

For isokinetic strength measurements, a Biodex System 3 Pro isokinetic dynamometer (Biodex Medical System, NY) was used. Concentric isokinetic strength was evaluated in the right knee and ankle joints.

A specific warm-up was performed before tests. Each subject performed a familiarization at the test velocity to become accustomed to the movement, before commencing the test. Participants were instructed to generate maximum force as fast and as hard as possible.

For isokinetic strength measurement in knee extension, the joint range was 90°, where 0° was up to the full extension. Participants sat on the seat and were held in with straps around the distal trunk and thigh, so as to avoid the movement of the body. The check consisted of one set of five maximal concentric knee flexion and extension repetitions at 60°/s and 270°/s.

In addition, isokinetic strength in dorsal and plantar flexion and eversion and inversion was measured. For this, subjects remained seated at 90° for hip and knee joints. The thigh and foot were secured and supported so that the ankle was placed at 90° with regard to the leg (tibia perpendicular to the sole of the foot). The test consisted of one set of five maximal concentric ankle plantar/dorsal flexion and eversion/inversion repetitions at 60°/s and 120°/s.

In between trials, a 2-minute rest period was imposed. The peak concentric torque was obtained for each test.

VIBRATION VS. MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

3

TABLE 1. CHARACTERISTICS OF TRAINING PROGRAMMES

Month		First	Second	Third	Fourth	Fifth	Sixth
WBVG	Sets per session	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11
	Working time	45" to 1'	1'	1'	1'	1'	1'
	Frequency (Hz)	35	35	35	40	40	40
	Amplitude (mm)	4	4	4	4	4	4
	Recovery time (minutes)	1	1	1	1	1	1
	Sessions per week	3	3	3	3	3	3
MTG	Height of drop jump (cm)	—	5	10	15	20	25
	Walking time (minutes)	35	40	45	50	55	60
	Reserve heart rate (%)	50	55	60	65	70	75
	Sessions per week	3	3	3	3	3	3

MTG, multicomponent training group; WBVG, whole body vibration group.

Isokinetic strength was normalized relative to body mass ($N \cdot m/kg$) (in Newton-meters per kilogram).

Training

The total duration of the intervention phase was 24 weeks. The experimental groups were exposed to a training stimulus with a frequency of 3 sessions per week and a total volume of 72 sessions. Rest period between each training day was at least 24 hours and a maximum of 72 hours. Before training sessions, participants performed a specific warm-up consisting of 8 minutes on a cycle ergometer at moderate intensity followed by active stretching and joint mobility of the lower limbs. The characteristics and the progression of training programs are presented in Table 1.

WBV training. The WBVG exercised on a sinusoidal vertical vibration platform (Power Plate Next Generation;

Power Plate North America, Northbrook, IL). During sessions, subjects stood on the platform holding a half-squat (knee and hip angle 120°). The arms remained crossed and parallel to the floor with a shoulder flexion of 90° . Then, participants performed ankle plantar and dorsal flexion with the following work sequence (establishing a rhythm of 100 bpm: 1 bpm for the concentric phase and 5 bpm for the eccentric phase). The amplitude (4 mm), working time (60 seconds), and recovery time (60 seconds) parameters remained constant for the 24 weeks of training. The training intensity was increased by increasing the frequency (35–40 Hz). The familiarization lasted the first 2 weeks, being the working time of 45 seconds. The training volume was increased by increasing the number of sets per session (5 sets at the beginning and increasing by 1 or 2 sets per month to 11 sets the last weeks) (Table 1).

Multicomponent training. MT consisted of a series of drop jumps and aerobic activity for 24 weeks. During the first

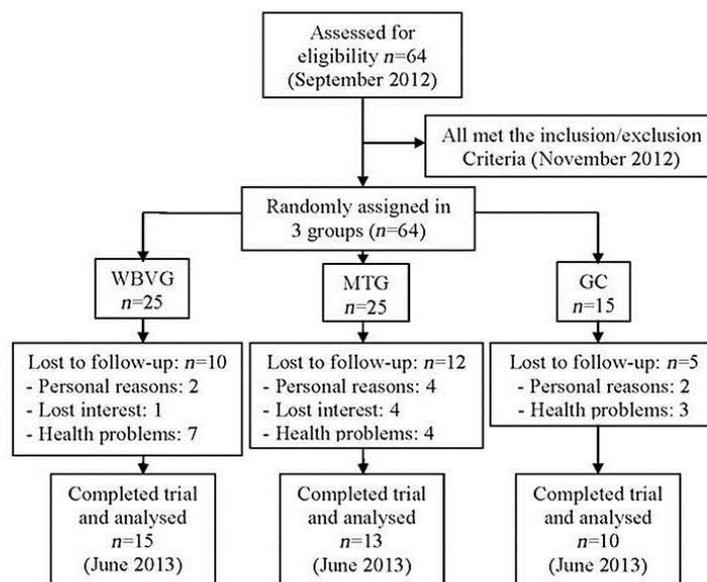


FIG. 1. Trial profile. CG, control group; MTG, multicomponent training group; WBVG, whole body vibration group.

month, small reactive vertical jumps (without knee and ankle flexion) were executed. Later, subjects performed drop jumps progressively starting at a height of 5 cm and finishing at 25 cm at the end of the program (increases of 5 cm each month). The sets increased from 4×10 drop jumps to 6×10 each week. The drop jumps were the same each month, but the load progression (imposed by height) was undulatory (the load increased during 3 weeks and decreased during 1 week).

Later, aerobic exercise occurred. The load increased progressively over the 24 weeks. Subjects walked at an intensity range between 50% and 75% of reserve heart rate (Maximum Heart Rate – Resting Heart Rate) and the volume ranged between 30 and 60 minutes (Table 1). The gait speed used to establish the exercise intensity was determined before initial testing using a computer/heart rate monitor.

Statistical analyses

Statistical analyses of data were performed with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, version 19; SPSS, Inc., Chicago, IL) in the Windows environment. A descriptive analysis was performed to detail and analyze the characteristics of the sample participating in the study. Chi-square statistic was performed to analyze the homogeneity of the sample (number of participants).

For the inferential analysis, a Kolmogorov–Smirnov test was performed 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 ANOVA (General Linear Model) was performed for the entire sample. If there was a significant effect of time ($p \leq 0.05$), then an ANOVA test was performed to determine where the significant differences occurred for each group. If there was a significant interaction effect (time×group) ($p \leq 0.05$), a Tukey *post hoc* test was performed to determine where the significant differences occurred between groups.

Results

At the end of the protocol, the number of subjects was 38. Therefore, our data are based on the following sample: WBVG ($n=15$), MTG ($n=13$), and CG ($n=10$). The distribution of the sample was homogeneous in terms of number of participants. The characteristics of the final subjects at baseline were as follows: age (WBVG, 59.6 ± 5.9 years; MTG, 58.4 ± 7.4 years; CG, 62.4 ± 5.1 years), height (WBVG, 154.1 ± 4.3 cm; MTG, 155.8 ± 7.0 cm; CG, 155.4 ± 3.6 cm), and body mass (WBVG, 77.1 ± 13.5 ; MTG, 71.5 ± 9.9 ; CG, 72.6 ± 10.0). Twenty-seven subjects dropped out during the training period for personal reasons or health problems (Fig. 1). None of the dropouts left the program as a result of injuries or adverse responses to the intervention.

Body composition

There was a significant decrease in body fat (%) in WBVG ($p=0.044$), in total fat mass (kg) in MTG ($p=0.009$), and an increase in total fat mass in CG ($p=0.041$) between pre- and post-test. There were no differences in body mass index, total lean mass, and total BMD in pre- and post-test in all groups

TABLE 2. CHANGES IN BODY COMPOSITION PARAMETERS

Variable	WBVG (n=15)			MTG (n=13)			CG (n=10)		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ
Body fat (%)	46.0 (6.1)	44.9 (6.1)	-1.1 (0.5) ^a	42.2 (4.2)	41.2 (3.3)	-1.0 (0.6)	40.4 (4.7)	41.3 (5.1)	0.9 (0.7)
Fat mass (kg)	37.8 (11.7)	36.8 (11.6)	-1.0 (0.0)	31.6 (6.3)	29.9 (5.9)	-1.7 (2.0) ^b	30.5 (7.6)	31.7 (7.4)	1.2 (0.0) ^{a,c,d}
Lean mass (kg)	40.5 (3.9)	41.3 (4.4)	0.8 (0.6)	39.9 (5.2)	39.9 (6.1)	-0.1 (0.6)	42.2 (4.4)	42.0 (5.7)	-0.1 (0.7)
BMD _{total} (g/cm ²)	0.924 (0.105)	0.927 (0.119)	0.002 (0.03)	0.918 (0.103)	0.927 (0.098)	0.000 (0.02)	0.886 (0.091)	0.892 (0.097)	0.006 (0.013)

Data are presented as mean (SD) for pre- and postvalues and as mean (SEM) for change.

^aSignificant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$).

^bSignificant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$).

^cSignificant difference from WBVG ($p \leq 0.05$).

^dSignificant difference from MTG ($p \leq 0.001$).

Δ, change; BMD, bone mineral density; CG, control group; SD, standard deviation; SEM, standard error of the mean.

VIBRATION VS. MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

5

(Table 2). In addition, there were significant differences in post-total fat mass between WBVG and CG ($p=0.028$), and between MTG and CG ($p=0.001$).

Isokinetic strength

Knee. In the training groups was found a significant increase in the peak torque in knee extension at 60°/s and at 270°/s between pre- and post-test. Also, there were significant differences between MTG and CG in knee extension at 270°/s.

Ankle. There were significant improvements for plantar flexion at 60°/s in WBVG and at 120°/s in the two trainings

groups between pre- and post-test. The MTG showed a significant increase for dorsiflexion at 60°/s. With respect to eversion and inversion, WBVG and MTG improved isokinetic strength at 60°/s. Only WBVG presented changes in eversion at 120°/s, and there was a significant increase in WBVG and MTG in inversion at 120°/s. Figure 2 presents relative gains in the peak torque between pre- and post-test for each group.

There were no significant differences between WBVG and MTG in knee and ankle strength tests. No significant differences were found in CG between pre- and post-test in any of the strength measurements. Table 3 presents the concentric isokinetic knee extensor strength, as well as the

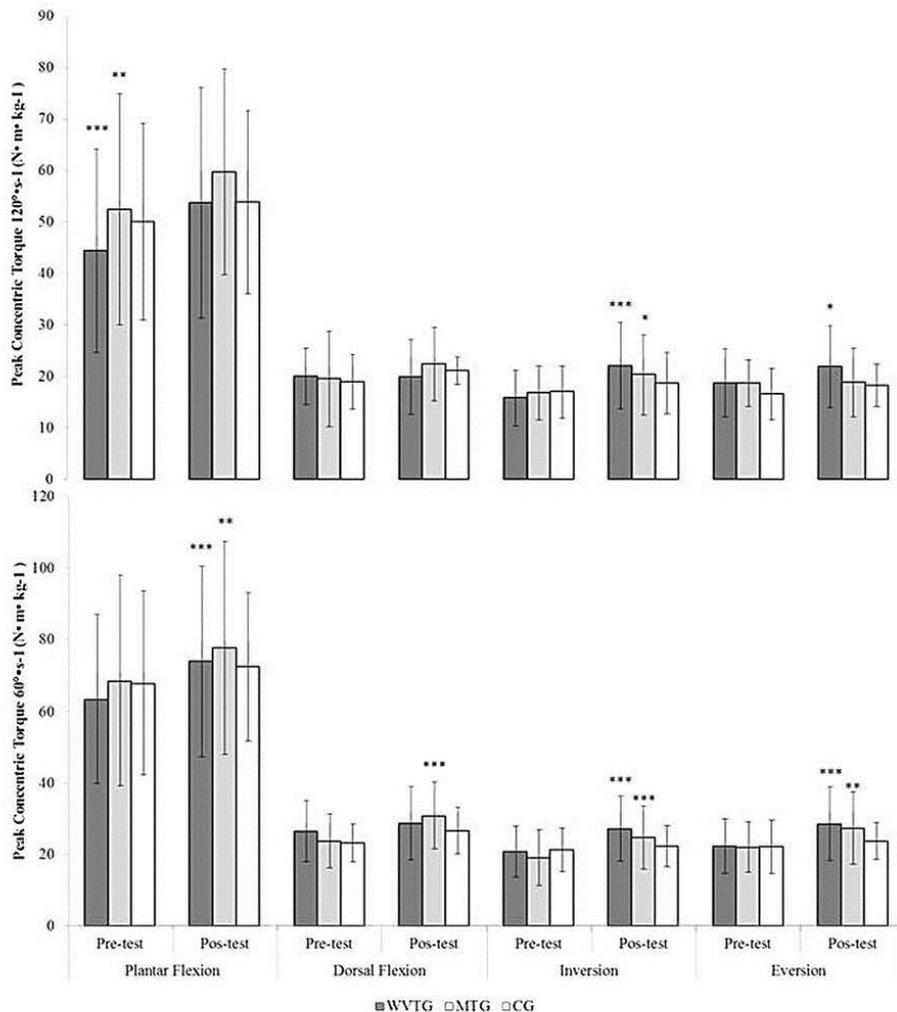


FIG. 2. Changes in peak concentric torque (N·m/kg) for ankle dorsiflexion, plantar flexion, eversion, and inversion. *Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$). **Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$). ***Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.001$).

TABLE 3. CHANGES IN ISOKINETIC STRENGTH FOR KNEE EXTENSORS AND ANKLE JOINT

Variable	WBVG (n=15)		MTG (n=13)		CG (n=10)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Knee						
Extension at 60°/s (N·m)	95.8 (14.2)	105.1 (14.2)	94.3 (18.7)	106.8 (22.2)	92.7 (17.8)	93.4 (16.9)
Extension at 270°/s (N·m)	50.0 (9.1)	55.2 (9.1)	47.3 (13.0)	56.2 (11.6)	47.2 (7.1)	48.8 (6.9)
Extension at 60°/s (N·m/kg)	128.0 (28.7)	139.7 (29.5)	134.1 (35.5)	150.3 (30.4)	130.4 (33.2)	131.0 (30.6)
Extension at 270°/s (N·m/kg)	66.6 (14.8)	72.9 (14.3)	67.3 (20.5)	79.3 (19.2)	65.7 (12.7)	68.4 (12.2)
Ankle						
Dorsal flexion at 60°/s (N·m)	19.4 (4.9)	21.3 (6.2)	17.1 (6.0)	21.6 (5.3)	16.8 (4.0)	19.1 (4.4)
Dorsal flexion at 120°/s (N·m)	14.8 (3.3)	14.6 (4.4)	13.7 (5.5)	15.6 (3.9)	13.5 (3.4)	15.2 (2.0)
Plantar flexion at 60°/s (N·m)	46.1 (13.0)	53.8 (14.0)	47.8 (16.6)	53.9 (15.3)	48.4 (15.9)	51.5 (11.3)
Plantar flexion at 120°/s (N·m)	32.5 (12.3)	39.2 (13.5)	36.8 (13.5)	41.9 (11.2)	35.5 (10.7)	38.3 (9.6)
Eversion at 60°/s (N·m)	16.9 (4.8)	21.9 (6.7)	15.5 (4.5)	19.1 (5.6)	15.8 (4.6)	17.0 (2.6)
Eversion at 120°/s (N·m)	14.1 (4.3)	16.6 (5.3)	13.2 (2.7)	13.2 (3.4)	11.9 (3.6)	13.1 (3.0)
Inversion at 60°/s (N·m)	15.9 (4.5)	20.7 (5.9)	13.6 (5.5)	17.5 (6.4)	15.3 (3.2)	15.6 (2.6)
Inversion at 120°/s (N·m)	12.0 (3.5)	16.5 (5.2)	12.1 (4.2)	14.3 (4.3)	12.0 (3.1)	13.3 (3.6)

Data are presented as mean (SD) for pre- and postvalues and as mean (SEM) for change.

^aSignificant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.001$).

^bSignificant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.01$).

^cSignificant difference from MTG ($p \leq 0.05$).

^dSignificant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$).

gains in peak torque for plantar and dorsal flexion and for eversion and inversion between pre- and post-test.

Discussion

The aims of the present study were to evaluate the impact of two training protocols, WBVT and MT, during 24 weeks on the changes in body composition and isokinetic strength of the knee extensors and the stabilizer muscles of the ankle joint, and to determine which training protocol produces greater adaptations of these variables in postmenopausal women.

With respect to total BMD, there were no significant changes in WBVG after treatment. No differences were found between groups. To determine the effect of vibration training, Leung et al.²⁰ conducted a study to test the long-term effects of low-magnitude, high-frequency vibration on fall and fractures rates, muscle performance, and bone quality in postmenopausal females (older than 60 years). Women were randomly assigned to a CG or to the WBVT group (five times per week at 35 Hz) for 18 months. There were no changes in total hip and lumbar spine BMD in the vibration group, which is in accordance with our findings. However, Verschueren et al.¹⁶ showed a significant increase in BMD of the hip and maintained a constant lumbar spine BMD using the similar frequency and amplitude as the present study. Thus, there is a need to examine the optimum vibration load in this population to improve BMD, as well as to perform specific measurements of BMD.

Interestingly, MTG also showed no significant differences in total BMD. MT can be a strategic option to help prevent osteoporosis by increasing bone mass. Movaseghi and Sadeghi²¹ analyzed 3 years of a moderate multicomponent exercise training in a group of postmenopausal women (57 years old) who performed different exercise modalities that included static and dynamic stretching, aerobic exercises (using fitness ball, steps, dumbbells, bar, and elastic-resistant bands for the lower and upper extremities), exercises with machines (such as treadmill walking and slow running without any incline), recumbent cycling (with no or little resistance), and elliptical training. They reported an improvement in BMD and bone mineral content (BMC) of the femoral neck region and lumbar spine. In contrast, Karinkanta et al.²² showed that combined resistance and balance-jumping training did not increase femoral neck bone mass after 12 months in elderly women. Similarly, Stewart et al.²³ demonstrated that a mixed protocol, including resistance and aerobic exercises, had no effect on total BMD in men but reduced total BMD in women. As there are a variety of different training protocols used in WBVT and MT, it is difficult to compare between studies and determine which protocol produces the best adaptations.

There was a significant decrease in percent body fat mass in WBVG (-1.1%), decrease in total fat mass (kg) in MTG, and an increase in total fat mass (kg) in CG following 24 weeks of training. There were significant differences between experimental groups compared to CG in percent body fat mass. These results agree with a previous work carried out by Fjeldstad et al.,²⁴ who concluded that 8 months of WBVT (frequency 15–40 Hz and amplitude 3 mm) reduced total fat mass in postmenopausal women. Following these results, Garatachea et al.²⁵ found that WBVT increased

VIBRATION VS. MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

7

energy consumption in young men and suggested that vibration training may induce changes in the metabolic rate in the legs, which may explain the improvements in oxygen consumption in the lower extremities.²⁵ A recent review presented a plausible explanation for this phenomenon in that the increase in energy expenditure may be associated with the inhibition of adipogenesis and increase in muscle mass.²⁶ As intramuscular fat increases following menopause,²⁷ it would be interesting to examine the effect WBVT has on intramuscular fat mass.

After 24 weeks of the training intervention, there were no significant changes in total lean mass in both training groups. These results are similar to those found by Beck and Norling¹² who evaluated the effect of 8 months of WBVT on lean mass in postmenopausal women. On the contrary, Kukuljan et al.²⁸ assessed the body composition after 12 months of MT program of high-intensity progressive resistance with weight-bearing impact exercise in older adults (50–79 years) and obtained significant improvements in lean mass. Even though some investigations indicate the existence of estrogen receptors on muscle tissue that might contribute to the synthesis of muscle mass,²⁹ its loss is associated with the attenuation of anabolic hormones such as testosterone or growth hormone blood concentrations, especially in elderly women.³⁰ In the present study, the absence of improvement in lean mass may be explained by lower levels of these hormones in postmenopausal women. In addition, it is possible that the subjects in this study presented a higher anabolic resistance.³¹ This may lead to an inability of the muscle to maintain adequate protein synthesis and an imbalance between muscle protein anabolism and break down.³² This phenomenon has been shown to increase with aging,³³ and thus can explain the lack of muscle mass gain. It is well known that there is a positive correlation between muscle mass and bone mass (an improvement in muscle mass produces changes in bone tissue).³⁴ Therefore, the absence of BMD increments in the current study could also be explained by the lack of significant differences on muscle mass gain, possibly due to an insufficient training stimulus (intensity) in WBVT and MT.

In contrast, WBVG showed significant improvements in isokinetic strength of the knee extensor muscles at 60°/s and 270°/s after 24 weeks. In addition, WBVG showed significant increases for ankle plantar flexion and inversion at both speeds. Ankle eversion improved in WBVG at 60°/s and 120°/s between pretest and post-test. These findings are in accordance with those of several researchers, which confirmed that WBVT increases the dynamic strength of the lower extremity muscles.¹⁷ Ebid et al.³⁵ investigated the effects of 8 weeks of lower limb WBVT on leg muscle strength in adults. After vibratory training, there was a significant improvement in knee extensor and ankle plantar flexor strength compared with the CG. Interestingly, our results reveal an improvement in dorsiflexion and inversion in WBVG after 24 weeks of training. To our knowledge, this study is the first to examine gains in ankle dorsiflexors using WBVT. In healthy, physically active participants, Martínez et al.³⁶ found no significant changes on the reflex response mechanism following 6 weeks of vibration training in any of the ankle muscles involved (peroneus longus, peroneus brevis, and anterior tibialis). Also, Melnyk et al.³⁷ observed no changes in the reflex activity of the long peroneal and

tibialis anterior following 4 weeks of WBVT in 26 young adults (age 25.6±2.5 years). However, in a previous study, we observed increases in strength during eversion and inversion in postmenopausal women.⁹ Previous research has reported that strength gains following WBVT are the result of the tonic vibration reflex, provoking length changes in the muscle that stimulate the muscle spindles.³⁸ The literature shows that the vibratory stimulus generates greater training adaptations in muscle groups that are nearer to the vibration platform.³⁹ Moreover, several authors have suggested that WBVT activates the fast twitch fibers, which are responsible for explosive actions and produce higher values of strength.¹⁷ This would explain the increases in strength observed in the present study, where the force was generated at higher speeds (120°/s and 270°/s).

In relation to strength gains, MTG showed significant increases in knee extensors at 60°/s and 270°/s. There were also improvements in strength during plantar flexion and inversion in MTG at both speeds. Ankle dorsiflexion and eversion increased at 60°/s in MTG. Kang et al.⁴⁰ analyzed the impact of a 4-week protocol that combined balance and strengthening and stretching exercises in elderly women. The participants in the experimental group showed a significant increase in strength of the upper and lower body. Only one study has investigated isokinetic strength gains of the ankle musculature using multicomponent exercise programs, and observed improvements in isokinetic strength of the ankle evertors and invertors following a 12-week protocol consisting of aerobic exercise and drop jumps in postmenopausal women.⁹ The present study showed increases in isokinetic strength in all the major ankle muscles responsible for ankle dorsiflexion/plantarflexion and eversion/inversion. The increase in dorsiflexor strength may be explained by its role in absorbing the impact produced by drop jumps. The improvement in plantar flexion strength may be due to the action of the ankle joint when walking during the intervention.

In conclusion, 24 weeks of WBVT or MT are feasible and result in decrease in total fat mass in healthy postmenopausal women. This decrement attenuates the risk of obesity in this population. In addition, significant increases in muscle strength of the knee extensors and stabilizer muscles of the ankle joint may reduce the overall risk of falls and fractures in older women. As the changes were similar between the two experimental groups, we cannot conclude that vibration training is better than a multicomponent protocol. Further investigations are needed to confirm these short-term findings and to explore the most favorable load and protocol for treating the symptoms of postmenopause.

The main limitations of the current research were (1) the high experimental dropout over the course of the 24-week study, thereby reducing the sample size, (2) a lack of specific measurements of BMD (lumbar spine and femoral neck), and (3) assessments that have transfer with activities of daily life.

Acknowledgments

We gratefully acknowledge the help of Salvador Romero for conducting the DEXA measurements. For this work, we have received funding from the following organization: Catholic University of Murcia, No. pmafi/05/12.

Author Disclosure Statement

No competing financial interests exist.

References

1. Rolland YM, Perry HM 3rd, Patrick P, Banks WA, Morley JE. Loss of appendicular muscle mass and loss of muscle strength in young postmenopausal women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2007;62:330–335.
2. Tanko LB, Movsesyan L, Mouritzen U, Christiansen C, Svendsen OL. Appendicular lean tissue mass and the prevalence of sarcopenia among healthy women. *Metabolism* 2002;51:69–74.
3. Hansen RD, Allen BJ. Habitual physical activity, anabolic hormones, and potassium content of fat-free mass in postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 2002;75:314–320.
4. Schaap LA, Pluijm SM, Deeg DJ, Visser M. Inflammatory markers and loss of muscle mass (sarcopenia) and strength. *Am J Med* 2006;119:526.e9–e17.
5. Kenny AM, Dawson L, Kleppinger A, Iannuzzi-Sucich M, Judge JO. Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in nonobese women who are long-term users of estrogen-replacement therapy. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003;58:M436–M440.
6. Bullamore JR, Wilkinson R, Gallagher JC, Nordin BE, Marshall DH. Effect of age on calcium absorption. *Lancet* 1970;2:535–537.
7. Gamero P, Sornay-Rendu E, Duboeuf F, Delmas PD. Markers of bone turnover predict postmenopausal forearm bone loss over 4 years: The OFELY study. *J Bone Miner Res* 1999;14:1614–1621.
8. Carvalho MJ, Marques E, Mota J. Training and detraining effects on functional fitness after a multicomponent training in older women. *Gerontology* 2009;55:41–48.
9. Marín-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 weeks of whole-body vibration versus multi-component training in post-menopausal women. *Rejuvenation Res* 2015;18:508–516.
10. Vainionpää A, Korpeläinen R, Leppaluoto J, Jamsa T. Effects of high-impact exercise on bone mineral density: A randomized controlled trial in premenopausal women. *Osteoporos Int* 2005;16:191–197.
11. Sugiyama T, Yamaguchi A, Kawai S. Effects of skeletal loading on bone mass and compensation mechanism in bone: A new insight into the “mechanostat” theory. *J Bone Miner Metab* 2002;20:196–200.
12. Beck BR, Norling TL. The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture. *Am J Phys Med Rehabil* 2010;89:997–1009.
13. Burke D, Schiller HH. Discharge pattern of single motor units in the tonic vibration reflex of human triceps surae. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1976;39:729–741.
14. Hagbarth KE, Eklund G. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Res* 1966;2:201–203.
15. Lai CL, Tseng SY, Chen CN, et al. Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: A randomized controlled trial. *Clin Interv Aging* 2013;8:1603–1609.
16. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, 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* 2004;19:352–359.
17. Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1033–1041.
18. Tsuji T, Yoon J, Aiba T, Kanamori A, Okura T, Tanaka K. Effects of whole-body vibration exercise on muscular strength and power, functional mobility and self-reported knee function in middle-aged and older Japanese women with knee pain. *Knee* 2014;21:1088–1095.
19. Frost HM. The skeletal intermediary organization. *Metab Bone Dis Relat Res* 1983;4:281–290.
20. Leung KS, Li CY, Tse YK, et al. Effects of 18-month low-magnitude high-frequency vibration on fall rate and fracture risks in 710 community elderly—A cluster-randomized controlled trial. *Osteoporos Int* 2014;25:1785–1795.
21. Movaseghi F, Sadeghi H. Effect of three-year multi-component exercise training on bone mineral density and content in a postmenopausal woman with osteoporosis: A case report. *Iran J Public Health* 2015;44:701–704.
22. Karinkanta S, Heimonen A, Sievanen H, et al. A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: Randomized, controlled trial. *Osteoporos Int* 2007;18:453–462.
23. Stewart KJ, Bacher AC, Hees PS, Tayback M, Ouyang P, Jan de Beur S. Exercise effects on bone mineral density relationships to changes in fitness and fatness. *Am J Prev Med* 2005;28:453–460.
24. Fjeldstad C, Palmer JJ, Bemben MG, Bemben DA. Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. *Maturitas* 2009;63:79–83.
25. Garatachea N, Jimenez A, Bresciani G, Marino NA, Gonzalez-Gallego J, de Paz JA. The effects of movement velocity during squatting on energy expenditure and substrate utilization in whole-body vibration. *J Strength Cond Res* 2007;21:594–598.
26. Cristi-Montero C, Cuevas MJ, Collado PS. Whole-body vibration training as complement to programs aimed at weight loss. *Nutr Hosp* 2013;28:1365–1371.
27. Forsberg AM, Nilsson E, Werneman J, Bergstrom J, Hultman E. Muscle composition in relation to age and sex. *Clin Sci (Lond)* 1991;81:249–256.
28. Kukuljan S, Nowson CA, Bass SL, et al. Effects of a multi-component exercise program and calcium-vitamin-D3-fortified milk on bone mineral density in older men: A randomized controlled trial. *Osteoporos Int* 2009;20:1241–1251.
29. Maltais ML, Desroches J, Dionne JJ. Changes in muscle mass and strength after menopause. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2009;9:186–197.
30. Hakkinen K, Pakarinen A. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 1993;148:199–207.
31. Rennie MJ, Wilkes EA. Maintenance of the musculoskeletal mass by control of protein turnover: The concept of anabolic resistance and its relevance to the transplant recipient. *Ann Transplant* 2005;10:31–34.
32. Short KR, Nair KS. The effect of age on protein metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2000;3:39–44.
33. Breen L, Phillips SM. Interactions between exercise and nutrition to prevent muscle waste during ageing. *Br J Clin Pharmacol* 2013;75:708–715.

VIBRATION VS. MULTICOMPONENT TRAINING IN WOMEN

9

34. Calendo LR, Taeymans J, Rogan S. Does muscle activation during whole-body vibration induce bone density improvement in postmenopausal women?—A systematic review. *Sportverletz Sportschaden* 2014;28:125–131.
35. Ebid AA, Ahmed MT, Mahmoud Eid M, Mohamed MS. Effect of whole body vibration on leg muscle strength after healed burns: A randomized controlled trial. *Burns* 2012; 38:1019–1026.
36. Martínez F, Rubio JA, Ramos DJ, Esteban P, Mendizabal S, Jimenez F. Effects of 6-week whole body vibration training on the reflex response of the ankle muscles: A randomized controlled trial. *Int J Sports Phys Ther* 2013; 8:15–24.
37. Melnyk M, Schloz C, Schmitt S, Gollhofer A. Neuromuscular ankle joint stabilisation after 4-weeks WBV training. *Int J Sports Med* 2009;30:461–466.
38. Johnston RM, Bishop B, Coffey GH. Mechanical vibration of skeletal muscles. *Phys Ther* 1970;50:499–505.
39. Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res* 2006;20:124–129.
40. Kang S, Hwang S, Klein AB, Kim SH. Multicomponent exercise for physical fitness of community-dwelling elderly women. *J Phys Ther Sci* 2015;27:911–915.

Address correspondence to:

*Pedro E. Alcaraz
Research Center for High Performance Sport
Catholic University of Murcia
Campus de los Jerónimos, s/n
Guadalupe
Murcia 30107
Spain*

E-mail: palcaraz@ucam.edu

Received: September 11, 2016

Accepted: December 19, 2016

ANEXO 6: Artículo 6

Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 weeks of Whole-body Vibration Versus Multi-component training on Regional Bone Mass in Postmenopausal Women: A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology*. En revisión.

Manuscript Details

Manuscript number	EXG_2017_246
Title	Effects of 24 weeks of Whole-body vibration Versus Multi-component training on Regional Bone Mass in Postmenopausal Women
Article type	Research Paper

Abstract

Purposes: The aims of this study were to investigate the effect of 24 weeks of whole body vibration and multi-component training on lumbar spine and femoral neck bone mass, and to define what type of training produces greater adaptations in postmenopausal women. **Methods:** A total of 38 women volunteered to participate in the study. Participants were randomly assigned to one of the study groups: whole body vibration group (WBVG), multi-component training group (MTG) or control group (CG). The experimental groups performed a progressive training for 24-weeks, 3 sessions/week. Bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC) at the lumbar spine and femoral neck were assessed by Dual-energy X-ray absorptiometry. **Results:** After 24 weeks, the lumbar spine BMD of WBVG had significantly increased by 5% ($p = 0.042$). Also, there was a trend towards significant pre-post improvements in lumbar BMD in MTG ($p = 0.059$). At the femoral neck, the training groups resulted in no statistical significance on bone mass. The trainings led to no changes in any of the BMC parameters. **Conclusions:** This study showed that 24 weeks of supervised whole body vibration training can effectively improve lumbar spine BMD in postmenopausal women, thus, demonstrating that this type of training can counteract the rapid loss of bone mass after the cessation of menstruation. As there were no differences between groups, it is not possible to determine which training protocol is better.

Keywords	Whole-body vibration; combined training; bone density; osteoporosis; exercise; menopause.
Manuscript category	Musculoskeletal System and Exercise
Corresponding Author	Elena Marín-Cascales
Order of Authors	Elena Marín-Cascales, Jacobo Rubio-Arias, Pedro E. Alcaraz
Suggested reviewers	German Vicente-Rodriguez, Ignacio Ara, Alejandro Gonzalez-Aguero

Submission Files Included in this PDF

File Name [File Type]

Cover Letter.docx [Cover Letter]

Research highlights.docx [Highlights]

Manuscript.docx [Manuscript File]

Figure 1.tif [Figure]

Figure 2.tif [Figure]

To view all the submission files, including those not included in the PDF, click on the manuscript title on your EVISE Homepage, then click 'Download zip file'.

Abstract

Purposes: The aims of this study were to investigate the effect of 24 weeks of whole body vibration and multi-component training on lumbar spine and femoral neck bone mass, and to define what type of training produces greater adaptations in postmenopausal women.

Methods: A total of 38 women volunteered to participate in the study. Participants were randomly assigned to one of the study groups: whole body vibration group (WBVG), multi-component training group (MTG) or control group (CG). The experimental groups performed a progressive training for 24-weeks, 3 sessions/week. Bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC) at the lumbar spine and femoral neck were assessed by Dual-energy X-ray absorptiometry. **Results:** After 24 weeks, the lumbar spine BMD of WBVG had significantly increased by 5% ($p = 0.042$). Also, there was a trend towards significant pre-post improvements in lumbar BMD in MTG ($p = 0.059$). At the femoral neck, the training groups resulted in no statistical significance on bone mass. The trainings led to no changes in any of the BMC parameters. **Conclusions:** This study showed that 24 weeks of supervised whole body vibration training can effectively improve lumbar spine BMD in postmenopausal women, thus, demonstrating that this type of training can counteract the rapid loss of bone mass after the cessation of menstruation. As there were no differences between groups, it is not possible to determine which training protocol is better.

Keywords: Whole-body vibration, combined training, bone density, osteoporosis, exercise, menopause.

Introduction

With the global population life expectancy increasing over the years, a higher prevalence of chronic diseases in the elderly has been observed (1). Conditions like osteoporosis, associated with greater incidence of fractures, are one of the main health-related concerns and result in important health problems (2). The estimated number of osteoporotic fractures is approximately 9.0 million worldwide per year, of which 61% are women (3). The most common osteoporotic fractures occurs on the proximal femur, spine and wrist (4). Hip fracture is largely a consequence of low bone mineral density (BMD) and results in more physical incapacity compared with all other types of fracture (4), with an estimated incidence of 2.6 million by the 2025 (5). The loss of estrogen's protective effects on skeletal structure after menopausal transition intensifies the decline in bone density, which is the result of a sudden imbalance between resorption and new bone formation (6).

Many breakthroughs for treating low bone density in women have focused on medical treatments or supplementation, like calcium and vitamin D, bisphosphonates, calcitonin, teriparatide and hormone replacement therapy, among others. However, trials examining their usefulness have found conflictive findings and have encountered certain side effects in the long-term (6). As an alternative to pharmacologic therapies that is readily available to the population, it is well established that physical exercise is an effective lifestyle approach to improve and maintain bone properties, as well as positively affect quality of life (7).

¹ BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; CG, control group; DEXA, dual-energy X-ray absorptiometry; MT, multi-component training; MTG, multi-component training group; WBV, whole body vibration; WBVG, whole body vibration group.

Traditional strength training has been shown to increase BMD levels at the spine and femoral neck because of the weight imposed on the skeleton during the training sessions (8). However, the effect on bone in response to training is different between age groups and sex. In fact, Bassey et al. (9) compared the effects of jumping exercise on BMD in premenopausal and postmenopausal women. They found significant increases in femoral neck bone mass after 5 months of this type of intervention in premenopausal women, whereas no changes were observed in postmenopausal women. A study examining sex differences on bone mass showed that 24 weeks of high-intensity free-weight exercise programme increased spine and trochanter BMD in healthy older men but not in women (10), suggesting that the women may have needed more long-term training to obtain a significant bone mass increase (10). These studies indicate that women, particularly after the menopause period, attain less improvement on bone mass and highlight the need to conduct further research on how bone adapts to resistance training in postmenopausal women.

Most recently, Multi-component training (MT) has emerged as a training method aimed, in particular, at developing bone mass (11, 12). This method consists on combining different exercise modalities in the same workout. Previous studies addressing MT have shown that coupling high-impact aerobic activities with strength training is effective in eliciting or maintaining bone mass in older adults (7, 13). However, there is no agreement in the literature regarding whether MT results in increments on bone mass in postmenopausal women (14-16). In fact, Tolomio et al. (17) demonstrated enhanced femoral neck T-score and physical function capacity in postmenopausal women following 11 months of a multi-component dual-modality exercise program, which included combined resistance training, aerobic exercise, balance, and joint mobility activities. Multanen et al. (18) found an improvement in bone

mineral content (BMC) at the femoral neck, but no changes were observed in lumbar spine, after 12 months of aerobic training combined with step-aerobic jumping exercises.

Another neuromuscular training designed to increase bone mass that has been receiving attention in recent years is the Whole-body vibration training (WBV), which consists of a mechanical stimulus that is characterized by oscillatory action (19). In WBV, the subject stands on a platform to maintain a static position or to perform of dynamic exercises in such way that the vibrating stimulus is delivered through the kinematic chain of the body to the muscles and bones (20). The skeletal system's response to WBV results in an anabolic effect on bone tissue (21), that is, increasing bone mass following this type of training (22). It is known that vibration training produces micro trauma to the bone which is later restored by the osteoblast cells (23). Some studies have examined the effects of WBV on bone mineral levels (15, 24, 25). Zaki et al. (26) conducted a study using 8 months of WBV (10 sets of 1 min vibration and a frequency of 16 Hz, 3 times per week) and showed significant improvements in bone mass at the lumbar spine in obese postmenopausal women after training (26). In contrast, a meta-analysis by Slatkovska et al. (27) observed an significant positive effect of WBV on BMD of the hip, but not of the lumbar spine. For this reason, it is necessary to develop more training methods with specific recommendations to prevent osteoporosis.

Considering the controversy with regard to osteogenic potential of these training protocols and given the femoral neck and lumbar spine are two of the most sensitive area of fracture, the aims of this study were to investigate the effect of 24 weeks of WBV and MT on lumbar spine and femoral neck bone mass, and to define what type of training produces greater adaptations in postmenopausal women.

1. Methods

2.1. Experimental design

A randomized controlled trial of 24 weeks, intra and inter-participants design with pre, and post-test, with control group was conducted. Participants were matched by BMD and were randomly assigned to one of three groups: Whole Body Vibration Group (WBVG) (n = 25), Multi-component Training Group (MTG) (n = 25) and Control Group (CG) (n = 15). The Software Research Randomizer (Version 4.0, Lancaster, Pennsylvania) was used as a method to randomize subjects.

2.2. Subjects

Sixty-five postmenopausal women volunteered were recruited by non probability convenience sampling. Participants were included in the study if they reached menopause at least 3 years before the beginning of the experimental procedures. Exclusion criteria were if the participant: 1) presented a high level of osteoporosis ($BMD < 70 \text{ g/cm}^2$); 2) was being treated for a disease that can affect bone structure or neuromuscular system; 3) had orthopedic prosthetic implants in the lower limbs and / or spine; 4) had herniated discs; 5) suffered ocular diseases that affected the retina; 6) suffered severe cardiovascular diseases; 7) had epilepsy; 8) had a pacemaker or osteosynthesis implant; 9) practiced some type of physical activity regularly; and 10) had a lower than 90% attendance to the stipulated program. All the participants gave written informed consent to participate in the study prior to inclusion. The study protocol was approved by the Human Ethics Committee of the Local University.

2.3. Bone Mineral Density Measurements

The BMD ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) and BMC (g) measurements were determined before the start of trainings and at 24 weeks of treatment in lumbar spine (L1-L4) and left femoral neck by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) (XR-46, Norland Corp., Fort Atkinson, WI, USA), using standard protocols. Participants were placed in the supine position on the table. Prior to each testing session the DXA scanner was calibrated using a lumbar spine phantom. The bone data were obtained by the manual method according to the recommendations outlined by the manufacturer. The intraclass correlation coefficient was excellent (ICC = 0.89; CI = 95 %).

2.4. Training

Participants in WBVG and MTG completed supervised training 3 times per week separated by at least 24 hours for 24 weeks. The total training volume was 72 sessions. Each session started with a specific warm-up, consisting in 8 min of bicycling at moderate intensity followed by active stretching, and joint mobility of the lower limbs. The characteristics and the progression of training programs are presented in Table 1.

Table 1 near here

2.4.1. Whole Body Vibration (WBV) Training

The participants in the WBVG performed the vibration training on a sinusoidal vertical vibration platform (Power Plate Next Generation; Power Plate North America, Northbrook, IL, USA). During each session, the participants stood with their feet positioned side-by-side on the platform and the flexion angle of the knee and hip was set at 120° . The arms were crossed and the shoulder flexed at 90° to maintain the arms parallel to the floor. The WBVG performed dynamic calf raises by lifting their heels maximally from the platform. A

metronome was used to control the rhythm of the exercises using a frequency of 100 b.p.m.: 1 b.p.m for the concentric phase and 5 b.p.m. for the eccentric phase. During the first two weeks of training, the WBVG performed 5 sets of 45 s vibration. The training volume progressively increased by incrementing the number of series per session (adding 1 or 2 sets per month until 11 sets were reached for the last weeks). The resting period between sets was 60 s. The amplitude (4 mm) and working time (60 s) parameters remained constant for the 24 weeks of training. The training load was increased by increasing the frequency (35-40 Hz).

2.4.2. Multi-Component Training

The MT comprised of a sets of drop jumps and aerobic activity. During the first four weeks of protocol, small reactive vertical jumps (without knee and ankle flexion) were performed. For the remaining sessions, participants executed drop jumps progressively beginning at a height of 5 cm and finishing at 25 cm at the end of the exercise protocol (increases of 5 cm each month). The sets increased from 4 x 10 drop jumps to 6 x 10 each week. The drop jumps were the same each month but the load progression (imposed by the drop height) was undulatory (the load increased during 3 weeks and decreased during one week). The aerobic exercise was performed after drop jumps. The load increased progressively over the 24 weeks. Participants walked at an intensity range between 50-75% of reserve heart rate and the volume ranged between 30-60 min. The gait speed used to establish the exercise intensity was determined prior to initial testing using a computer/heart rate monitor.

2.5. Statistical analyses

Statistical analysis of data was performed with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, version 19, SPSS Inc, Chicago, Illinois) in the Windows environment. A descriptive

analysis was performed to detail and analyze the characteristics of the sample participating in the study. Chi-square statistic was performed to analyze the homogeneity of the sample (number of participants).

For the inferential analysis, a Kolmogorov-Smirnov test was performed to establish the normality of sampling distribution and analysis of runs to observe the independence of observations. In order to determine the effect of independent variables on the dependent variable repeated measures ANOVA (General Linear Model) was performed for the entire sample. If there was a significant effect of time ($p \leq 0.05$), then an ANOVA test was performed to determine where the significant differences occurred for each group. If there was a significant interaction effect (time \times group) ($p \leq 0.05$), a Tukey post hoc test was performed to determine where the significant differences occurred between groups. The effect size (ES) was calculated using Cohen's d (28). ESs were considered negligible (< 0.2), small (0.2–0.50), moderate (0.50–0.80), and large (> 0.80).

2. Results

At the end of the study, a total of 38 completed the program. Therefore, our data are based on the following sample: WBVG ($n = 15$), MT ($n = 13$) and CG ($n = 10$). No significant differences were detected in terms of number of participants among groups. Participant characteristics, which completed all test, are given in Table 2. Figure 1 shows the flow of participants in the trial. Twenty-seven women withdrew from training period in the course of the study. None of the drop-outs left the program as a result of injuries or adverse responses to the treatment.

Table 2 near here

Figure 1 near here

3.1. Bone Outcomes

As shown in Table 3, the lumbar spine BMD significantly increased 5% above baseline in WBVG ($p = 0.042$; $ES = 0.24$) after 24-weeks vibration treatment. Also, there was a trend towards significant pre-post improvements in lumbar spine BMD in MTG ($p = 0.059$; $ES = 0.17$). With respect to BMC of the lumbar spine, no significant pre-post changes in training groups (WBVG: $p = 0.244$; $ES = 0.39$; and MTG: $p = 0.243$; $ES = 0.38$) were observed.

Twenty-four weeks of WBV or MT resulted in no statistical effect on femoral neck BMD (WBVG: $p = 0.296$; $ES = 0.06$; and MTG: $p = 0.935$; $ES = 0.0$) and BMC (WBVG: $p = 0.522$; $ES = 0.04$; and MTG: $p = 0.416$; $ES = 0.08$) compared with baseline values (Table 3).

No significant differences were found in CG between pre and post-test in any of the bone measurements. There was no significant change in bone parameters at lumbar spine and femoral neck between groups (Figure 2).

Table 3 near here

Figure 2 near here

3. Discussion

This study was conducted to determine the effects of 24 weeks of two different training protocols, WBV and MT, on lumbar spine and femoral neck BMD in postmenopausal women. The main findings indicate that WBV is effective in increasing BMD at the lumbar spine and that, even though MT presents no significant pre-post differences, a trend towards significance can be identified for this specific training. Surprisingly, there were no significant differences in BMD at this site between WBVG and CG but a moderate magnitude of change

(ES = 0.73) was obtained. Also, for MTG, the post intervention values were not significantly different from CG and the training effect was small (ES = 0.39). Regarding femoral neck bone mass, there were no significant pre-post changes in both training interventions. Again, no significant differences were found between experimental and control groups.

The present study showed that BMD at the lumbar spine was significantly increased following WBV (5-11 min; 35-40 Hz; 4 mm; 3 days per week). This is accordance with the data presented by Lai et al. (29) that reported increments of the BMD of the lumbar spine by 2.0% with 24 weeks of WBV (30 Hz; 3.2 g; 3 times per week; in a natural full-standing posture for 5 min) in postmenopausal women. In addition, Beck and Norling (30) observed that a lower intensity WBV (15 min; 30 Hz; 0.3 g) or a higher intensity (6 min; 12.5 Hz; 1 g), which only included static exercises twice-weekly, maintained bone mass parameters compared with controls that showed bone loss at the trochanter (-6%, $p = 0.03$) and lumbar spine (-6.6%, $p = 0.02$). However, Bembem et al. (31) demonstrated no changes in lumbar spine, proximal femur and forearm bone metabolism following an 8-month program of WBV (1-3 sets of 15 to 60 s; 30-40 Hz, 2-4 mm peak to peak) using dynamic movements during vibration combined with resistance training in postmenopausal women. When comparing WBV protocols, it seems that the improvements in bone mass may be associated with longer sessions' duration. It is suggested that the interventions with a cumulative dose (total time in which the participants stand on vibration plate) over 1000 min were correlated to positive results in BMD (24).

Regarding the femoral neck BMD, no significant differences were obtained after WBV. Nevertheless, some studies have found improvements with WBV (32, 33). Verschueren et al. (32) observed the effects of a WBV program using static and dynamic knee-extensors exercises (35-40 Hz; 2.28-5.09 g) and found hip BMD increased significantly by 0.9%.

Rubin et al. (34) reported a 2.2% and 1.5% increase of BMD at the femoral neck and at the spine, respectively, in postmenopausal women following a 13-month WBV (30 Hz; 0.2 g; two 10 min treatments/day; 86% compliance). In our study, lumbar BMD was increased after WBV, but there were no significant differences in the femoral neck. Several studies have shown that the effectiveness of WBV on BMD depends on a combination of variables, which could explain the discrepancies in the literature. For example, it appears that the mechanotransduction may have a differing effect among the body regions because of the nonlinearity of the musculoskeletal system and the different body positions used on the vibration platform (20, 35). The absence of improvement in femoral neck BMD in the current study may be explained by the upright posture of the body in which the vibration is conducted along the body's longitudinal axis. While the lumbar spine is aligned with the direction of the transmitted vibration, in the case of the femoral neck, the vibration transmitted is received at a given angle. Thus, the lumbar site likely received a greater vibration stimulus compared with the femoral neck, thereby achieving a stronger effect on the bone cells (33). When applying WBV programs it seems that higher vibration frequency, between 20 and 50 Hz, provides a more intense training stimulus that can adequately transfer energy to the spine (29) and hip (33, 35).

In relation to MTG, the lumbar spine BMD showed a trend towards significant pre-post improvements (by 3.2%) at 24 weeks ($p = 0.059$). Although no significant changes in femoral neck were observed, BMD at this site was maintained. Several studies have examined whether MT would increase bone mass and ameliorate osteoporosis in postmenopausal women. Marques et al. (36) indicated that 32 weeks of progressive MT (2 sessions/week) consisting of weight-bearing activities (marching in place, stepping exercise and heel-drops), muscular endurance, balance and agility exercises, was able increase femoral neck BMD in

older women. Interestingly, Kemmler et al. (13) showed that 18 months of high-intensity training (combined aerobic and strength exercises, 4 days/week) increased lumbar spine and femoral neck BMD in women (68.9 y.o.) compared with a general wellness program (13). Compared with the present research, Marques et al. (36) and Kemmler et al. (13) used a longer training period and combined strength with aerobic training in their MT programs, which appear to be the most useful in increasing or preventing skeletal mass loss during the ageing process (7). Moreover, in the current study, the lack of significant improvement in bone mass may be attributable to our higher baseline levels. The skeleton's response to training seems to be dependent on BMD values and greater increments could be obtained if the initial values are lower. Consequently, the studies that include women with different conditions (i.e., with healthy BMD values, osteopenia or osteoporosis) may contribute to the variability among their results. Even though further trials are needed to study MT protocols that specifically focus on the most predisposed regions of fracture, such as the spine and femoral neck, the variety of training programs may also explain the discrepancies observed between studies.

Although pre-post changes were identified in BMD at the lumbar spine following WBV, there were no significant post-interventions differences in bone parameters between experimental groups. Hence, the claim cannot be made that WBV is better than MT, or vice versa. However, the trend towards significant pre-post improvements after MT found in lumbar spine BMD could be considered a promising result that allows us to speculate that both training protocols may be a suitable option to promote positive adaptations on bone mass in postmenopausal women.

There are some limitations to the present study that should be addressed. Firstly, the final sample size was small because of the high experimental withdrawals. Secondly, the fact that

MT interventions have used different training methods makes it difficult to compare across them and could explain the inconsistency of the findings.

4. Conclusions

This study concluded that the 24 weeks of supervised WBV can effectively improve lumbar spine BMD in postmenopausal women. However, MT resulted in no significant increase in bone mass. As there were no differences between groups, it is not possible to determine which training protocol is better. Nevertheless, our results are encouraging as lumbar spine BMD did improve with WBV, thus, demonstrating that this type of training can counteract the rapid loss of bone mass after the cessation of menstruation. Additionally, WBV may be a good strategy to use in postmenopausal women, where benefits can be achieved with less time compared to other training modes and compliance in inactive people may be higher. Specific training protocols are needed to enhance bone mass and to prevent fractures, as the optimum regulation of the vibration characteristics can generate a good osteogenic effect on bone density in postmenopausal women.

Acknowledgments

The authors are thankful to all the women participants and their power of endurance to complete the study. The authors would like to acknowledge the help of Salva Romero for conducting the DXA measurements and Linda Chung for her help in revising the written manuscript. This study was funded by the Catholic University of Murcia (UCAM, Murcia, Spain) No. PMAFI/05/12, and by the predoctoral award from UCAM. The researchers have no conflicts of interest.

References

1. United Nations DoEaSA, Population Division. Global levels and trends in mortality World Mortality Report 2013. p. 11-25.
2. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Johansson H, McCloskey E. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporos Int.* 2008 Apr;19(4):385-97.
3. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int.* 2006 Dec;17(12):1726-33.
4. Cummings SR, Melton LJ. Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures. *Lancet.* 2002 May 18;359(9319):1761-7.
5. Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int.* 1997;7(5):407-13.
6. Christenson ES, Jiang X, Kagan R, Schnatz P. Osteoporosis management in postmenopausal women. *Minerva Ginecol.* 2012 Jun;64(3):181-94.
7. Gomez-Cabello A, Ara I, Gonzalez-Aguero A, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G. Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med.* 2012 Apr 01;42(4):301-25.
8. Mosti MP, Kaehler N, Stunes AK, Hoff J, Syversen U. Maximal strength training in postmenopausal women with osteoporosis or osteopenia. *J Strength Cond Res.* 2013 Oct;27(10):2879-86.

9. Bassey EJ, Rothwell MC, Littlewood JJ, Pye DW. Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J Bone Miner Res.* 1998 Dec;13(12):1805-13.
10. Ryan AS, Ivey FM, Hurlbut DE, Martel GF, Lemmer JT, Sorkin JD, et al. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *Scand J Med Sci Sports.* 2004 Feb;14(1):16-23.
11. Kukuljan S, Nowson CA, Bass SL, Sanders K, Nicholson GC, Seibel MJ, et al. Effects of a multi-component exercise program and calcium-vitamin-D3-fortified milk on bone mineral density in older men: a randomised controlled trial. *Osteoporos Int.* 2009 Jul;20(7):1241-51.
12. Villareal DT, Binder EF, Yarasheski KE, Williams DB, Brown M, Sinacore DR, et al. Effects of exercise training added to ongoing hormone replacement therapy on bone mineral density in frail elderly women. *Journal of the American Geriatrics Society.* 2003;51(7):985-90.
13. Kemmler W, von Stengel S, Engelke K, Haberle L, Kalender WA. Exercise effects on bone mineral density, falls, coronary risk factors, and health care costs in older women: the randomized controlled senior fitness and prevention (SEFIP) study. *Arch Intern Med.* 2010 Jan 25;170(2):179-85.
14. Martyn-St James M, Carroll S. A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *Br J Sports Med.* 2009 Dec;43(12):898-908.
15. Marin-Cascales E, Rubio-Arias JA, Romero-Arenas S, Alcaraz PE. Effect of 12 Weeks of Whole-Body Vibration Versus Multi-Component Training in Post-Menopausal Women. *Rejuvenation Res.* 2015 Dec;18(6):508-16.

16. Marin-Cascales E, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. *Rejuvenation Res.* 2017 Jan 19.
17. Tolomio S, Ermolao A, Lalli A, Zaccaria M. The effect of a multicomponent dual-modality exercise program targeting osteoporosis on bone health status and physical function capacity of postmenopausal women. *J Women Aging.* 2010;22(4):241-54.
18. Multanen J, Nieminen MT, Hakkinen A, Kujala UM, Jamsa T, Kautiainen H, et al. Effects of high-impact training on bone and articular cartilage: 12-month randomized controlled quantitative MRI study. *J Bone Miner Res.* 2014 Jan;29(1):192-201.
19. Rauch F, Sievanen H, Boonen S, Cardinale M, Degens H, Felsenberg D, et al. Reporting whole-body vibration intervention studies: recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions.* 2010 Sep;10(3):193-8.
20. Kiiski J, Heinonen A, Jarvinen TL, Kannus P, Sievanen H. Transmission of vertical whole body vibration to the human body. *J Bone Miner Res.* 2008 Aug;23(8):1318-25.
21. Turner CH, Robling AG. Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003 Jan;31(1):45-50.
22. Rubin C, Turner AS, Mallinckrodt C, Jerome C, McLeod K, Bain S. Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone.* 2002 Mar;30(3):445-52.
23. Burr DB, Martin RB, Schaffler MB, Radin EL. Bone remodeling in response to in vivo fatigue microdamage. *J Biomech.* 1985;18(3):189-200.

24. Fratini A, Bonci T, Bull AM. Whole Body Vibration Treatments in Postmenopausal Women Can Improve Bone Mineral Density: Results of a Stimulus Focussed Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016;11(12):e0166774.
25. Gomez-Cabello A, Gonzalez-Aguero A, Morales S, Ara I, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G. Effects of a short-term whole body vibration intervention on bone mass and structure in elderly people. *J Sci Med Sport*. 2014 Mar;17(2):160-4.
26. Zaki ME. Effects of whole body vibration and resistance training on bone mineral density and anthropometry in obese postmenopausal women. *J Osteoporos*. 2014;2014:702589.
27. Slatkovska L, Alibhai SM, Beyene J, Cheung AM. Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*. 2010 Dec;21(12):1969-80.
28. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (Rev. ed.). New York: Academic. 1977.
29. Lai CL, Tseng SY, Chen CN, Liao WC, Wang CH, Lee MC, et al. Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Clin Interv Aging*. 2013;8:1603-9.
30. Beck BR, Norling TL. The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*. 2010 Dec;89(12):997-1009.
31. Bemben DA, Palmer IJ, Bemben MG, Knehans AW. Effects of combined whole-body vibration and resistance training on muscular strength and bone metabolism in postmenopausal women. *Bone*. 2010 Sep;47(3):650-6.

32. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, 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.* 2004 Mar;19(3):352-9.
33. Ruan XY, Jin FY, Liu YL, Peng ZL, Sun YG. Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chin Med J (Engl).* 2008 Jul 5;121(13):1155-8.
34. Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K. Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J Bone Miner Res.* 2004 Mar;19(3):343-51.
35. Rubin C, Pope M, Fritton JC, Magnusson M, Hansson T, McLeod K. Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003 Dec 1;28(23):2621-7.
36. Marques EA, Mota J, Machado L, Sousa F, Coelho M, Moreira P, et al. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int.* 2011 Feb;88(2):117-29.

Figure Legends

Figure 1. Trial profile. WBVG = whole body vibration group; MTG = multi-component training group; CG = control group.

Figure 2. Percentage of change on bone mass and effect size comparison between groups; a) Lumbar spine BMD; b) Lumbar spine BMC; c) Femoral neck BMD; and d) Femoral neck BMC. Bars indicate as SD. BMC = bone mineral content; BMD = bone mineral density; CG = control group; MTG = multi-component training group; and WBVG = whole-body vibration group.

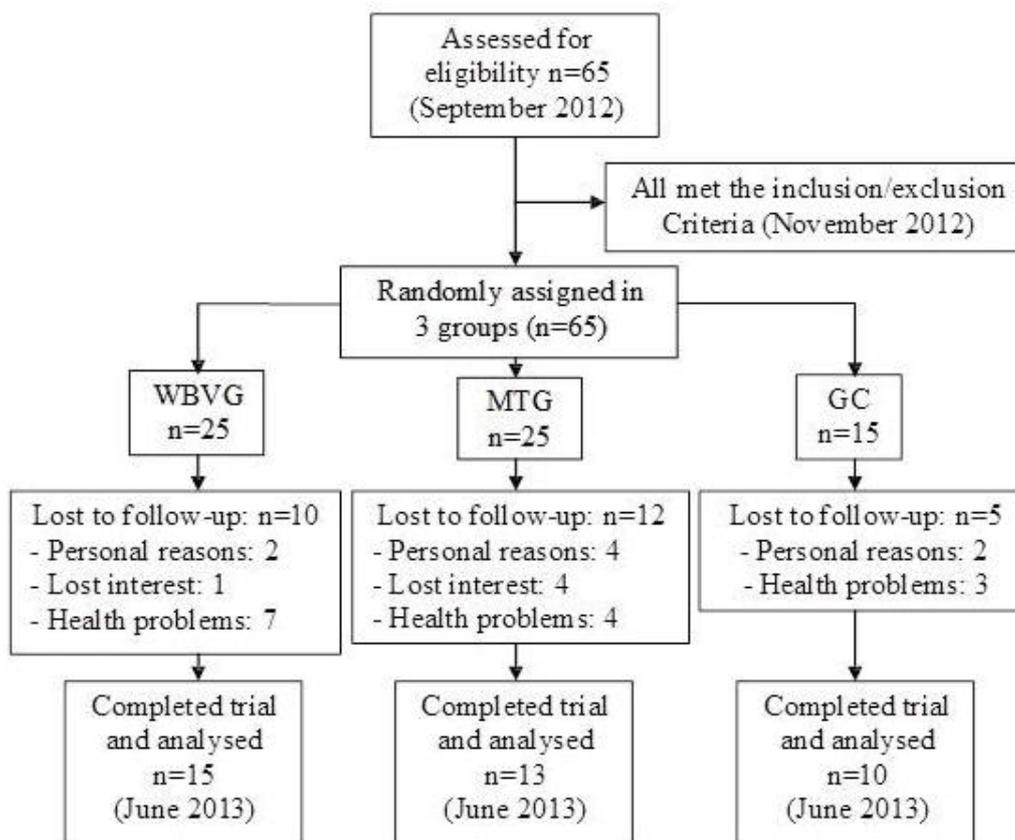


Figure 1. Trial profile. WBVG = whole-body vibration; MTG = multi-component training; CG = control group.

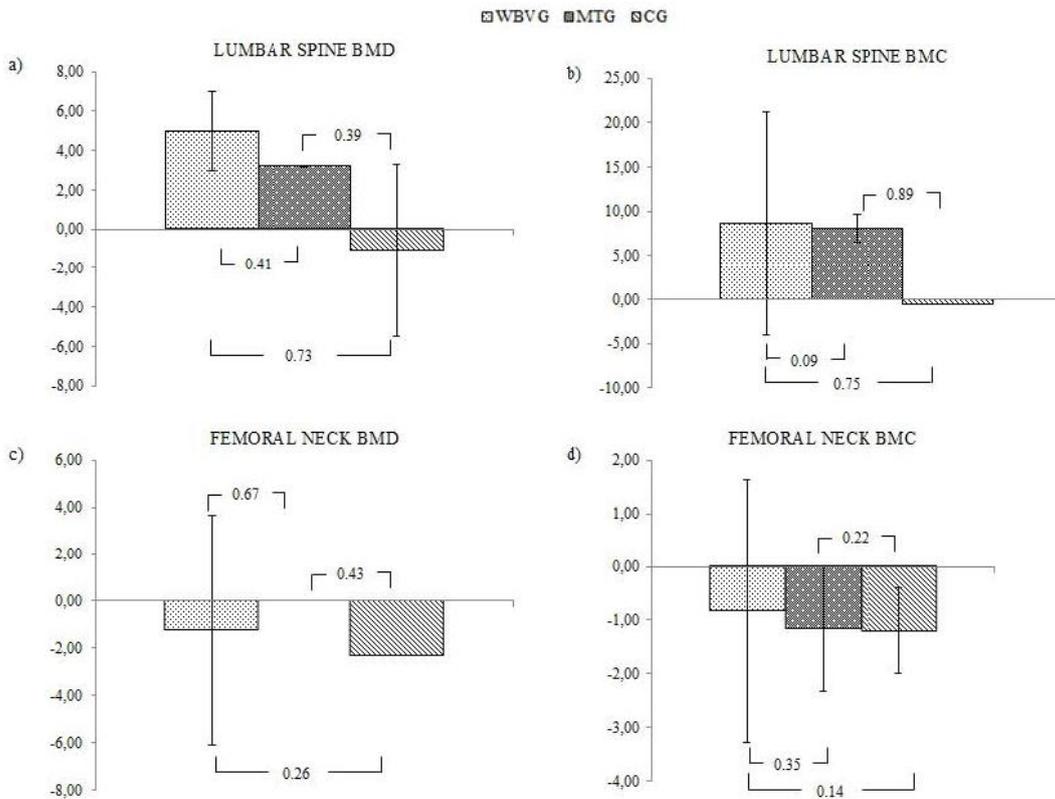


Figure 2. Percentage of change of bone mass and effect size comparison between groups. a) lumbar spine BMD; b) lumbar spine BMC; femoral neck BMD; d) femoral neck BMC. Bars indicate as SD. BMC = bone mineral content; BMD = bone mineral density; CG = control group; MTG = multi-component training; WBVG = whole-body vibration.

Table 1
Characteristics of training programs.

	Month	First	Second	Third	Fourth	Fifth	Sixth
WBVG	Sets per session	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
	Working time	45''- 1'	1'	1'	1'	1'	1'
	Frequency (Hz)	35	35	35	40	40	40
	Amplitude (mm)	4	4	4	4	4	4
	Recovery time (min)	1	1	1	1	1	1
	Sessions per week	3	3	3	3	3	3
MTG	Height of drop jump (cm)	-	5	10	15	20	25
	Walking time (min)	35	40	45	50	55	60
	Reserve Heart Rate (%)	50	55	60	65	70	75
	Sessions per week	3	3	3	3	3	3

WBVG = whole-body vibration group; MTG = multi-component training group.

Table 2

Descriptive data by training groups. Values are given as mean (SD).

Variable	WBVG (n = 15)	MTG (n = 13)	CG (n = 10)	Total (n = 38)
Age (years)	59.6 (5.9)	58.4 (7.4)	62.4 (5.1)	60.0 (6.3)
Height (cm)	154.1 (4.3)	155.8 (7.0)	155.4 (3.6)	155.0 (4.9)
Body mass (Kg)	77.1 (13.5)	71.5 (9.9)	72.6 (10.0)	74.0 (11.5)
BMI (kg·m ⁻²)	31.4 (5.7)	29.7 (3.7)	29.4 (4.8)	30.3 (4.8)

BMI = body mass index; WBVG = whole body vibration group; MTG = multi-component training group; CG = control group.

Table 3
Changes in bone parameters. Data are presented as mean (SD).

	Pre	SD	Post	SD	ES	p	MD (I-J)	95 % CI	
								Lower Bound	Upper Bound
WBVG (n = 15)									
Lumbar Spine BMD (g/cm ²)	1.00	0.20	1.05	0.22	0.24	0.042*	-0.047	-0.091	-0.002
BMC (g)	57.32	11.90	62.26	19.15	0.39	0.244	-4.947	-12.191	2.298
Femoral Neck BMD (g/cm ²)	0.82	0.16	0.81	0.12	0.06	0.296	0.012	-0.011	0.035
BMC (g)	2.44	0.43	2.42	0.37	0.04	0.522	22.20	-47.501	91.901
MTG (n = 13)									
Lumbar Spine BMD (g/cm ²)	0.94	0.17	0.97	0.17	0.17	0.059*	-0.026	-0.075	0.022
BMC (g)	56.32	11.33	60.87	12.19	0.38	0.243	-4.553	-12.335	3.229
Femoral Neck BMD (g/cm ²)	0.89	0.12	0.89	0.12	0.00	0.935	0.001	-0.024	0.026
BMC (g)	2.58	0.35	2.55	0.38	0.08	0.416	30.385	-44.486	105.256
CG (n = 10)									
Lumbar Spine BMD (g/cm ²)	0.91	0.15	0.90	0.19	0.06	0.660	0.012	-0.043	0.067
BMC (g)	50.69	11.39	50.42	11.38	0.02	0.263	-4.975	-13.847	3.397
Femoral Neck BMD (g/cm ²)	0.86	0.11	0.84	0.11	0.17	0.236	0.017	-0.011	0.045
BMC (g)	2.50	0.33	2.47	0.35	0.09	0.374	37.900	-47.466	123.266

BMC = bone mineral content; BMD = bone mineral density; CG = control group; ES = effect size; MTG = multi-component training group; WBVG = whole body vibration group; CI = Confidence Interval for Difference

*Significant difference from pre- to post-training ($p \leq 0.05$).

‡Trend towards significant pre-post difference.

