Article

Entrenamiento con Vibración de Cuerpo Completo en Sujetos Obesos: Una Revisión Sistemática

Matteo Zago, Paolo Capodaglio, Cristina Ferrario, Marco Tarabini y Manuela Galli

RESUMEN

Objetivo
(i) determinar los resultados del entrenamiento con vibración de cuerpo completo (WBVT) en individuos obesos, y los ámbitos de intervención que producen tales efectos; (ii) identificar el uso potencial inadecuado o perjudicial del WBVT. **Diseño**
Revisión sistemática. **Fuentes de datos**
Medline, Scopus, Web of Science, PEDro y Scielo hasta julio de 2018. **Criterios de elegibilidad**
Artículos completos que evalúan el efecto del WBVT sobre la composición corporal, el estado cardiovascular y el rendimiento funcional en adultos obesos. Se excluyeron los artículos con puntuación PEDro <4. **Valoración y síntesis de los estudios**
Se evaluó el riesgo de sesgo y la calidad de los informes del WBVT con la escala PEDro (estudios controlados aleatorios) o la checklist TREND (estudios no aleatorios) y una checklist de 14 ítems, respectivamente. Se calculó la aceleración ponderada, la exposición diaria y la g de Hedges ajustada. **Resultados**
Incluimos 18 artículos publicados entre 2010 y 2017. Las intervenciones típicas consistieron en tres sesiones/semana de ejercicios (sentadillas, elevaciones de gemelos) realizados en plataformas que vibraban a 25-40 Hz (amplitud: 1-2 mm); según la norma ISO 2631-1:1997, la exposición diaria era "insegura" en 7/18 estudios. Las intervenciones que duraron ≥6 semanas mejoraron la función autónoma cardíaca y redujeron la tensión arterial central/periférica en las mujeres obesas; 10 semanas de tratamiento con WBVT produjeron una reducción significativa del peso/masa grasa, mejorías en la fuerza de las piernas como en el entrenamiento de la fuerza y una mejor regulación de la glucosa cuando se agregó a la dieta hipocalórica. Ningún artículo evidenció pérdidas de masa magra. Se informaron casos aislados de efectos adversos. **Resumen**
Hasta la fecha, el WBVT es una terapia de intervención complementaria prometedora para las mujeres obesas; se requieren estudios a largo plazo que incluyan cohortes más grandes y participantes masculinos para demostrar los beneficios asociados de seguridad y salud. El uso terapéutico del WBVT en el tratamiento de pacientes obesos aún no está estandarizado y debe estar respaldado por un amplio conocimiento sobre la causalidad entre los parámetros de vibración y los resultados.

INTRODUCCIÓN

La obesidad es un problema de salud grave y creciente que incrementa el riesgo de enfermedades debilitantes y mortales [1,2]. En los individuos obesos, la hipertrigliceridemia y la resistencia a la insulina llevan a una alteración de la glucosa en ayunas, altos niveles de azúcar en sangre, inflamación y acumulación de tejido adiposo visceral (VAT) [3]. Estos elementos

contribuyen a varios resultados cardiovasculares adversos, en parte debido a la disfunción autónoma cardíaca [4-7]: hipertensión, aumento del equilibrio simpatovagal y de la tensión arterial, reducción de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HR), disfunción endotelial y, con el tiempo, aumento del riesgo de enfermedad coronaria, accidente cerebrovascular y muerte cardiovascular [3,4,8,9]. Las complicaciones cardiovasculares se asocian a menudo con la sarcopenia de las piernas (pérdida de masa muscular), con la consiguiente inestabilidad postural y un mayor riesgo de caídas [10-12]. La menopausia y el envejecimiento tienen un impacto adicional en la salud de los individuos obesos, agravando el estado cardiovascular [13-15], la acumulación del VAT, la sarcopenia y la reducción de la densidad mineral ósea [16].

En los individuos obesos, incluso una pérdida de peso modesta (5-10% del peso corporal) ayuda a aliviar el riesgo cardiovascular [3]. Por lo tanto, la pérdida de peso y del VAT son los principales objetivos del tratamiento, que se logran convencionalmente mediante modificaciones en la dieta [3,17,18], corrección de la conducta y/o prescripción de ejercicios [19-21]. Sin embargo, la tasa de éxito de la terapia para la obesidad es muy baja: la dieta puede funcionar a corto plazo, pero la restricción alimentaria grave por sí sola reduce la masa muscular y conduce a una disminución del estado físico [22]; el ejercicio tradicional, como el entrenamiento aeróbico y de fuerza, mejora la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la fuerza física y la composición corporal [23,24]. Sin embargo, la mayoría de las personas obesas mantienen un estilo de vida sedentario y son reacias a inscribirse y persistir en programas de ejercicio convencionales debido a limitaciones físicas, molestias musculoesqueléticas y falta de auto-motivación [25].

En las últimas dos décadas, el entrenamiento con vibración de cuerpo completo (WBVT) surgió como una modalidad de ejercicio alternativa para el entrenamiento de la fuerza [26-28]. El WBVT implica hacer ejercicio en una plataforma vibratoria. Las vibraciones generan mecánicamente variaciones rápidas en la longitud del complejo músculo-tendón [29], estimulando el trabajo muscular excéntrico-concéntrico repetitivo y las contracciones musculares reflejas [30,31]. El WBVT fue reconocido por primera vez como una alternativa al ejercicio de fuerza por su capacidad de aumentar la fuerza y la potencia en el músculo esquelético [28,32]. Las pruebas de que las vibraciones corporales ralentizan la acumulación de grasa y reducen la adipogénesis en ratas [33,34] sugieren un posible uso clínico del WBVT en el tratamiento de la obesidad. De hecho, el WBVT mejoró la composición corporal [35,36], la fuerza muscular [28] y la función cardiovascular en varias poblaciones, incluidos los individuos obesos [37,38].

Hasta la fecha, ninguna revisión sistemática ha resumido los resultados del WBVT en sujetos obesos: aunque el WBVT está ganando cada vez más interés como prescripción de ejercicios para los pacientes obesos, no existe un consenso claro acerca de la exposición a la vibración (es decir, amplitud, frecuencia, duración) y el ejercicio realizado en la plataforma para obtener efectos positivos y evitar el sobreentrenamiento o las lesiones [39]. Por lo tanto, esta revisión sistemática se dirigió a (i) definir los resultados del WBVT en individuos obesos y qué contexto de combinación de vibración y ejercicio permite lograr tales efectos, y (ii) identificar las lagunas de conocimiento que pueden conducir al uso inadecuado del WBVT con los consiguientes efectos perjudiciales.

MÉTODOS

Esta revisión sistemática se realizó utilizando los ítems de referencia para revisiones sistemáticas y metaanálisis: (PRISMA) [40].

Estrategia de Búsqueda

En julio de 2018 se realizó una búsqueda sistemática de la bibliografía en las siguientes bases de datos electrónicas (desde 1990): Web of Science, PubMed MEDLINE, Scopus, Mendeley, PEDro, Scielo. Las consultas personalizadas, incluyendo palabras clave y lógica booleana con operadores AND/OR, se introdujeron en los motores de búsqueda de esta forma: ("whole-body vibration" OR "vibrating platforms" OR "vibration training") AND ("obese" OR "obesity"), con el tipo de documento ajustado a "Article".

La búsqueda se limitó a artículos originales completos escritos en inglés y a investigaciones sobre sujetos humanos. Se realizaron búsquedas manuales en las bibliografías de los artículos identificados en busca de elementos complementarios pertinentes.

Criterios de Elegibilidad y Selección de Estudios

Se incluyeron ensayos controlados aleatorios, estudios cuasiexperimentales y series de casos observacionales. Se utilizó el método PICO (P = Pacientes, I = Intervención, C = Comparación, O = Resultados) para definir los criterios de inclusión: P

= adultos obesos (edad ≥18 años) con índice de masa corporal (IMC) ≥30 kg•m-2; se incluyeron estudios con pocos participantes pre-obesos si la muestra total del IMC era en promedio ≥30 kg•m-2; también se incluyeron estudios que evaluaban pacientes obesos con comorbilidades documentadas (por ejemplo, Diabetes Mellitus); I = entrenamiento con vibración de cuerpo completo; C = (1) comparación entre pre- y post-intervención, (2) comparación con ninguna vibración de cuerpo completo bajo la misma condición de ejercicio, o con otras formas de actividad física/intervención; O = composición corporal y estado cardiovascular (resultados primarios), y/o medidas de rendimiento biomecánico/funcional (resultados secundarios).

Se excluyeron los estudios que no se centraron principalmente en la evaluación del WBVT, los estudios que evaluaron los efectos agudos durante el WBVT, los estudios en animales, los estudios que incluyeron participantes con sobrepeso (no obesos) o no adultos, los estudios que utilizaron la vibración focal en lugar de la vibración de cuerpo completo. Dos examinadores (CF y MZ) exploraron de forma independiente los títulos y los resúmenes de los registros identificados y tomaron la decisión sobre la retención de los ítems de forma ciega. Cualquier desacuerdo entre los examinadores se resolvió mediante una discusión técnica en la que participó un tercer examinador (MT).

Calidad Metodológica

Se utilizó la escala de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) [41] para evaluar si los ensayos controlados aleatorios seleccionados eran científicamente sólidos (9-10 = excelente, 6-8 = bueno, 4-5 = regular y <4 = deficiente). Cuando la puntuación no estaba disponible en la base de datos PEDro, los artículos fueron evaluados de forma independiente por dos investigadores (MZ y CF, Tabla S1). Se excluyeron los artículos con una puntuación de PEDro deficiente. La calidad de los estudios no aleatorios (cuasiexperimentales y series de casos) se evaluó con la checklist Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs (TREND) [42].

La calidad de la información sobre la vibración de cuerpo completo se evaluó utilizando la checklist de la Sociedad Internacional de Interacciones Músculo-Esqueléticas y Neuronales [43], que consta de 13 ítems relativos al protocolo de vibración más un ítem relativo a la supervisión recibida durante el WBVT [44] (Tabla S3).

Síntesis y Análisis de Datos

Se desarrolló un formulario estandarizado de extracción de datos y evaluación para recolectar las características clave de cada estudio: autores/año, diseño del estudio, demografía de los participantes en el WBVT, composición corporal (IMC), estado y comorbilidades, detalles de la intervención (frecuencia de vibración, aceleración y desplazamiento, duración y naturaleza de los ejercicios realizados), principales resultados del WBVT agrupados en los siguientes dominios: (i) composición corporal, (ii) parámetros cardiovasculares y (iii) concentraciones hormonales, fuerza y cambios funcionales. Para cada estudio, la aceleración ponderada se obtuvo multiplicando la amplitud de la vibración por el coeficiente (a la frecuencia del estímulo) de la curva de ponderación, y la exposición diaria se calculó de acuerdo con la norma ISO 2631-1:1997, Anexo B [45].

Después de revisar los resultados de los estudios seleccionados, se decidió que un metaanálisis no era apropiado porque los protocolos de tratamiento y las medidas de resultado variaban sustancialmente entre los estudios. Para estimar el tamaño del efecto de las intervenciones que arrojaron resultados significativos, se calculó la g de Hedges ajustada a partir de los datos proporcionados en los artículos examinados; los efectos pequeños, medianos y grandes correspondieron a g = 0,2, g = 0,5 y g = 0,8, respectivamente [46].

RESULTADOS

Resultados de la Búsqueda Bibliográfica

Se recuperó un total de 134 registros de las bases de datos electrónicas. Se agregaron once ítems inspeccionando las listas de referencias y los artículos de revisión. Después de eliminar 68 duplicados, la selección de títulos y resúmenes llevó a excluir 49 trabajos. De los 28 artículos restantes, 10 no cumplieron con los criterios de inclusión. Las razones principales de la exclusión fueron: estudios que evaluaban los efectos agudos del WBVT o estudios sobre los participantes con IMC inferior a 30 kg•m-2; se excluyó un artículo debido a la mala calidad metodológica (puntuación PEDro<4). Dieciocho artículos publicados entre 2010 y 2017 fueron incluidos en la revisión [26,47-63]: 16 fueron ensayos controlados aleatorios, uno un estudio cuasiexperimental [60] y uno un estudio observacional de series de casos [54]. El proceso de selección se resume en la Fig. 1.

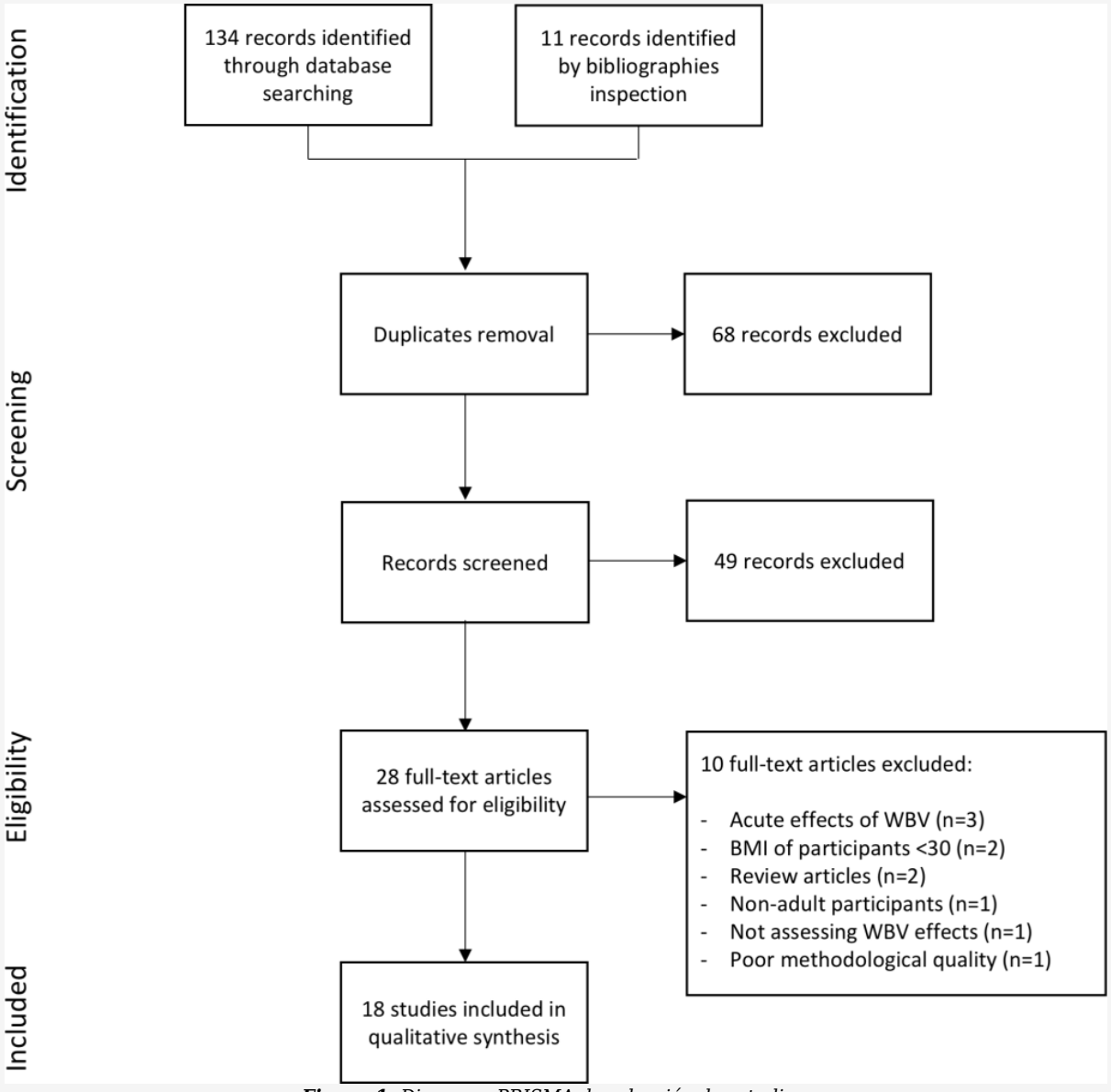

Figura 1. *Diagrama PRISMA de selección de estudios.*

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.g001

Descripción de los Estudios Incluidos

Población de Estudio

El tamaño de la muestra de participantes obesos varió de n = 7 a n = 40 (rango de edad media: 20 a 59 años). Un total de 321 sujetos estuvieron involucrados, pero no pudimos excluir sujetos que se superponían en estudios realizados por el mismo grupo de investigación. Dieciséis de los dieciocho trabajos se centraron en mujeres obesas (Tabla 1); seis de ellos investigaron el efecto del WBVT post-menopausia [26,49,50,52,57,59]. Cuatro estudios evaluaron una muestra masculina pequeña (n = 4-10 [45,48,52,53]). La mayoría de los estudios incluyeron participantes obesos sin patologías adicionales, aparte de [62] y [61] que incluyeron pacientes diagnosticadas con Diabetes Mellitus tipo 2 y fibromialgia, respectivamente; Wong et al. [49] y Figueroa et al. [48] incluyeron mujeres pre-hipertensas e hipertensas con presión arterial sistólica (PA) braquial superior a 120 mmHg.

Tabla 1. *Calidad de los trabajos examinados y demografía de los participantes sometidos a un entrenamiento con vibración de cuerpo*

completo (WBVT), combinado con otro tratamiento, si corresponde.

Author and reference	Year	PEDro score (0–10)	WBV score (0–14)	WBV sample size (females)	Age (years)	BMI (kg·m^{-2})	Status / comorbidities
Vissers et al. [58]	2010	4	6	18 (9)	43.3±9.6	30.8±3.4	Healthy
Figueroa et al. [56]	2012	5	9	10 (10)	21.0±2.0	29.9±0.8	Healthy, sedentary
Miyaki et al. [60]	2012	4	7	12 (12)	42.0±2.0	32.0±1.0	Healthy
Wilms et al. [51]	2012	4	9	7 (7)	43.1±3.5	37.4±1.3	Healthy
Adsuar et al. [61]	2013	7	7	18 (18)	53.0±1.2	29.6±4.2	Diagnosed with Fibromyalgia
Sañudo et al. [62]	2013	5	7	20 (10)	72.0±8.0	31.0±6.9	Type 2 Diabetes Mellitus
Milanese et al. [53]	2013	4	5	13 (13)	46.8±7.8	5.7±0.7	Healthy
Zaki [57]	2014	7	6	40 (40)	57.3±5.3	35.5±6.5	Healthy, postmenopausal
Bellia et al. [63]	2014	6	8	12 (8)	42±4.0	33.1±2.8	Healthy
Figueroa et al. [26]	2014	5	8	15 (15)	56.0±3.0	32.8±3.6	Healthy, postmenopausal
So et al. [54]	2014	5	6	16 (16)	43.3±5.5	31.2±4.0	Healthy, sedentary
Figueroa et al. [48]	2014	6	6	WBV-n: 12 (12) WBV-h: 12 (12)	WBV-n: 58.0 ±1.0 WBV-h: 56.0 ±1.0	WBV-n: 34.6 ±0.9 WBV-h: 33.7 ±1.5	Prehypertension (WBV-n) or stage 1 (WBV-h) hypertension, sedentary
Figueroa et al. [59]	2015	7	8	14 (14) WBV+L: 13 (13)	58.0±1.0 WBV+L: 58.0 ±1.0	35.0±0.9 WBV+L: 33.8 ±1.1	Healthy, postmenopausal, sedentary WBV+L: L-Citrulline supplementation, 6 g/day
Wong et al. [50]	2016	6	8	14 (14) WBV+L: 13 (13)	58.0±4.0 WBV+L: 58.0 ±4.0	35.0±3.4 WBV+L: 32.7 ±3.1	Healthy, postmenopausal, sedentary WBV+L: L-Citrulline supplementation, 6 g/day
Wong et al. [49]	2016	4	10	12 (12)	59.0±1.0	33.7±1.2	Postmenopausal, stage 1 hypertension, sedentary
Severino et al. [52]	2016	5	8	13 (13)	58.0±1.0	34.6±1.3	Healthy, postmenopausal, sedentary
Yang et al. [47]	2017	6	6	12 (4)	26.0±7.3	34.4±1.9	Healthy
Alvarez-Alvarado et al. [55]	2017	6	9	25 (25)	20.0±1.0	30.7±0.7	Healthy

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.t001

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.t001

Los grupos de control incluyeron participantes que no hacían ejercicio, participantes que coincidían en siete trabajos [26,48,49,52,53,55,61], mujeres que recibían entrenamiento de fuerza [57], dieta hipocalórica [63] y un programa general de ejercicios [51], o que estaban sujetas a restricciones dietéticas combinadas con entrenamiento aeróbico [54]; dos estudios investigaron los efectos de una combinación de WBVT y suplementación de L-Citrulina [50,59].

Intervención

El WBVT consistió principalmente en una serie de ejercicios realizados en la plataforma, concretamente, sentadillas (con diferentes grados de flexión de rodilla) y elevación de gemelos (Tabla 2); dos estudios prescribieron sesiones estáticas en bipedestación con un ángulo de flexión de rodilla que oscilaba entre 20 y 45 grados [47,61]. Las intervenciones duraron de 6 a 12 semanas, con una frecuencia de tres sesiones por semana en 13/18 estudios. Un único ensayo evaluó el efecto de una intervención de 24 semanas y los efectos relacionados a largo plazo [58]. Las plataformas utilizaron vibraciones verticales sincronizadas aplicadas en 9/18 estudios y vibraciones alternas (o rotatorias) laterales en 2/18 estudios; siete estudios no proporcionaron el tipo de vibración. La frecuencia de vibración osciló entre 12,5 y 60 Hz, mientras que la opción más común fue entre 25 y 40 Hz, con un desplazamiento de pico a pico (amplitud) de 1-2 mm. Los episodios de ejercicios duraron de 30 a 60 s, con una relación trabajo:pausa de 1:1 a 1:2. Según la norma ISO 2631-1:1997, la exposición diaria fue "tolerable" en 5/18 estudios, "insegura" en 7/18 estudios y no disponible debido a la falta de datos en los estudios restantes.

Tabla 2. *Detalles del entrenamiento con vibración de cuerpo completo (VV: Vibración vertical; RV: Vibración rotativa; NA: No disponible).*

Reference	Frequency (Hz) and type of vibration	Peak-to-peak displacement (mm), peak acceleration (g)	Weighted vibration ($m \cdot s^{-2}$) and exposure	Posture and exercises performed on the plate	Number of repetitions x exercise time + rest period, intervention frequency and duration
[58]	30 to 40, VV	NA	Unpredictable	Static, then dynamic exercises like squatting, deep squatting, calf-raises, lunges, curl-ups, push-ups.	(10 to 22) x (30 to 60) s + (30 to 60) s rest, NA/week for 24 weeks
[56]	25 to 30, NA	1 to 2 mm, 2.83 to 4.86 g	19.4 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	Static and dynamic semi-squats (60˚ knee flexion), wide-stand semi-squats and calf-raises. External load (5–10% body weight) in the last two weeks.	(30 to 60) s per exercise + (30 to 60) s rest, 3/week for 6 weeks
[60]	30–35, VV	2 mm	12.7 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	High squats; deep squats; wide-stance squats and lunges.	30 x 30 s + 30 s rest for 30 min, 3/week for 12 weeks
[51]	30, VV	2 mm	12.7 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	Week 1: lunges, biceps curls and shoulder relaxation exercises. These were complemented in week 2 by exercises for the sural muscle and one leg stands, in week 3 by exercises for the abdominal side muscles, triceps curls and side crunches and in week 4 by press-ups, exercises for the lower abdominal muscles and the pelvis muscles.	(5 to 16) x 30 s + 30 s rest, 3/week for 6 weeks
[61]	12.5, RV	NA	Unpredictable	Standing, 45˚ of knee flexion.	6 x (30 to 45) s + 60 s rest, 3/week for 12 weeks
[62]	12 to 16, NA	4 mm	36.0 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	8 dynamic and static exercises: lunge, step up and down, squat, calf raises, pivot, shoulder abduction with elastic bands, shoulder abduction with elastic bands while squatting, arm swinging with elastic bands.	8 exercises x (30 to 60) s + 30 s rest, 3/week for 12 weeks
[53]	40 to 60, VV	2 to 5 mm	4 $m \cdot s^{-2}$, tolerable	20 sequential unloaded static leg and arm exercises	20 x (30 to 60) s + 15 s rest, 2/week for 10 weeks
[57]	16, RV	NA	Unpredictable	NA	(3 to 10) x 60 s + 60 s rest, 3/week fr 8 weeks
[63]	30, VV	2 mm	12.7 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	Squat, 70˚ knee flexion	10 x 60 s +60 s rest, 3/week for 8 weeks
[26]	25–30, NA	1 mm	5.1 $m \cdot s^{-2}$ tolerable	Dynamic and static semi-squats and lunges with a 120˚ knee flexion angle, squats with a 90˚ knee flexion angle and calf-raises.	(1 to 2 exercise set) x (30 to 45) s x 60 s rest, 3/week for 6 weeks
[54]	30–35, NA	NA	Unpredictable	Squats, wide-stance squats, deep squats, lunges, push-ups, triceps dips, and front plank.	(12 to 24 exercises) x 30 s + 30 s rest, 3/week for 12 weeks
[48]	25 to 40, NA	1 to 2 mm	5.1 $m \cdot s^{-2}$, tolerable	Squats with a 90˚ and 120˚ knee flexion angle, wide-stand semi-squats, and calf raises.	(1 to 6) x (30 to 60) s + (30 to 60) s rest, 3/week for 12 weeks
[59]	25 to 40, VV	1 to 2 mm	5.1 $m \cdot s^{-2}$, tolerable	Squat, normal stance, 90˚ and 120˚ of knee flexion; squat, wide-stance, 120˚ of knee flexion; calf-raises.	(1 to 5) x (30 to 60) s + (30 to 60) rest, 3/week for 8 weeks
[50]	25 to 40, NA	1 to 2 mm	5.1 $m \cdot s^{-2}$, tolerable	Squat, normal stance, 90˚ and 120˚ of knee flexion; squat, wide-stance, 120˚ of knee flexion; calf-raises.	(1 to 5) x (30 to 60) s + (30 to 60) rest, 3/week for 8 weeks
[49]	25 to 40, VV	4.3 to 21.3 g	42.0 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	Squats at 90˚ and 120˚ knee flexion angle with normal stance, squat at 120˚ knee angle with wide stance, calf raises with maximal heel elevation.	(1 to 5) x (30 to 60) s + (30 to 60) s rest, NA/week for 8 weeks
[52]	25 to 40, NA	1 to 2 mm	5.1 $m \cdot s^{-2}$, tolerable	Squats at 90˚ and 120˚ knee flexion angles (normal stance), squat at 120˚ knee (wide-stance); calf raises with maximal plantar flexion.	(3 to 7) x (30 to 60) s + 30 to 60 s, NA/week for 8 weeks
[47]	25, VV	3.9 mm	31.2 $m \cdot s^{-2}$, unsafe	Standing, 20˚ of knee flexion, upright trunk.	5 x 60 s + 60 s rest, 3/week for 6 weeks
[55]	30 to 35, VV	NA	Unpredictable	Squats at a 90˚ knee flexion angle, semi-squats at 120˚ knee angle, wide-squat at 90˚ knee angle and calf-raises.	(2 to 8) x exercise, (30 to 60) s + (60 to 45) s rest, NA/week for 6 weeks

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.t002

La exposición ponderada se comparó con los límites de la norma ISO 2631-1:1997[45].

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.t002

Calidad de los Estudios Incluidos

De los 16 trabajos RCT incluidos, 9 se consideraron con una calidad metodológica "aceptable" y 7 con una calidad metodológica "buena" de acuerdo con la puntuación de PEDro. La elegibilidad (ítem 1 de la escala PEDro e ítem 3 de la checklist TREND) se cumplió con 12/18 estudios (Tablas S1 y S2); todos los estudios presentaron comparaciones entre grupos y estimaciones de puntos/variabilidad (ítems 10-11 de la escala PEDro e ítem 17 de la checklist TREND); 16

artículos asignaron aleatoriamente a los sujetos; 17 artículos informaron demografía y antropometría similares al inicio del estudio. Más bien, sólo unos pocos estudios pudieron disponer de evaluadores ciegos.

La calidad de los informes del WBVT alcanzó una vez 10/14 [49] y fue en promedio 7,5/14 (Tabla S3). Todos los estudios seleccionados informaron explícitamente el modelo de plataforma y la frecuencia de vibración, pero pocos artículos detallaron la aceleración pico (n = 2), la precisión de los parámetros de vibración (n = 0), el calzado (n = 0) y los dispositivos de apoyo (n = 5).

Resumen de las Pruebas

Se evaluó un amplio espectro de resultados (Tabla 3). Trece trabajos evaluaron los parámetros de composición corporal. La medición de la composición corporal se realizó con absorciometría de rayos X de doble energía en ocho estudios [48,50,53,54,57,59,60,63], con impedancia bioeléctrica en tres estudios [51,58,62] y con pletismografía por desplazamiento de aire en un solo estudio [52]. El peso corporal de los participantes disminuyó después del tratamiento en ocho estudios [53,57,58,60-63] y permaneció sin cambios en cinco [26,50-52,59]; el IMC y la masa grasa disminuyeron más en los pacientes con el WBVT que en los controles expuestos a entrenamiento aeróbico y restricción dietética [51]. La pérdida de peso varió de 5% (~1 kg, efecto pequeño) [53,58,61] a 10% (efecto grande) [54,60]. De manera similar, la masa grasa se redujo del 2% al 6% (efectos pequeños a grandes) en siete estudios [51-54,59,60,62] y no cambió en [26]; Bellia et al. encontraron una mayor reducción de la masa grasa en los participantes después del WBVT que en los participantes sometidos a dieta hipocalórica [63]. Ningún trabajo evidenció una pérdida adversa de masa magra. Por el contrario, un aumento de la masa magra fue observado por Miyaki et al. [60]; Figueroa et al. [59] encontraron que la masa magra de las piernas aumentó un 2% después del WBVT y la suplementación con L-citrulina durante 6 semanas. La modificación del área VAT se midió en dos estudios que informaron efectos muy pequeños [58] a muy grandes [54] (aproximadamente 10 y 50 cm2, respectivamente). La circunferencia de la cintura disminuyó de 2-10 cm (efectos medianos a grandes) en cuatro estudios [51,53,57,60]. El análisis de la impedancia corporal reveló un efecto de mejora del WBVT en el ángulo de fase bioeléctrico [51], en comparación con los controles sometidos a ejercicios generales de fuerza. La densidad mineral ósea de la cadera y de la columna lumbar aumentó con un pequeño efecto hasta 0,05 g•cm-2 después de 8-10 semanas de WBVT [53], de manera similar al ejercicio de fuerza [57].

Tabla 3. *Resultados del entrenamiento con vibración de cuerpo completo.*

	Domain		
Reference	Body composition	Cardiovascular parameters	Hormonal, hematic and functional parameters
[58]	BW decreased (g = 0.05, p<0.05) and was maintained in the long-term (g = 0.53, p<0.05); visceral adipose tissue decreased (g = 0.01, p<0.05).		
[56]		Systemic arterial stiffness decreased: systolic aortic BP decreased (g = 1.96 and g = 2.24, p<0.05). Sympathovagal balance improved: total power increased (g = 2.60, p<0.05), Low Frequency decreased (g = 3.45). HR decreased (g = 5.00, p<0.05).	
[60]	BW (g = 2.34, p<0.05), % fat mass (g = 1.8, p<0.05), waist circumference (g = 3.92, p<0.05) decreased; % lean body mass increased (g = 0.74, p<0.05).	Systolic (g = 2.43, p<0.05) and diastolic (g = 2.35, p<0.05) BP, mean arterial pressure (g = 2.55, p<0.05), HR decreased (g = 3.16, p<0.05). Carotid-femoral (g = 2.62, p<0.05) and brachial-ankle (g = 2.25, p<0.05) PWV decreased.	Triglycerides (g = 2.22, p<0.05), total (g = 3.41, p<0.05) and LDL cholesterol decreased (g = 2.83, p<0.05); Peak oxygen uptake increased (g = 4.12, p<0.05).
[51]	BW did not change (g = 0.04, p<0.05); waist circumference (g = 0.83, p<0.05) and % fat mass decreased (g = 0.50, p<0.05). Phase angle enhanced (g = 0.67, p<0.05).		Resting energy expenditure increased (g = 0.87, p<0.05).
[61]	BW decreased (g = 0.04, p<0.05).		
[62]	BW (g = 0.16, p<0.05), waist circumference (g = 0.48, p<0.05), waist to hip ratio (g = 0.65, p<0.05), % of body fat (g = 0.24, p<0.05) reduced.	Blood flow velocity increased (g = 0.32, p<0.05), maximum diastolic velocity (g = 0.83, p<0.05) and pulsatility index (g = 0.06, p<0.05) decreased.	
[53]	BW (g = 0.15, p = 0.033), total body (g = 0.17, p = 0.033) and trunk (g = 0.86, p = 0.004) fat mass reduced; body circumferences but the wrist decreased (g~1, p<0.01). Bone mineral density slightly increased (g = 0, p<0.001).		Strength increase: leg press (g = 3.31, p<0.001), leg extension (g = 5.29, p = 0.003).
[57]	BMI (g = 0.67, p = 0.040) and waist to hip ratio reduced (g = 0.14, p = 0.014); bone mineral density improved (g = 0.32, p = 0.004).		
[63]	BW (g = 0.58, p<0.05), total fat mass and % fat mass decreased (g = 2.10, p<0.05).		Fasting insulin (g = 0.93, p<0.05) and ISI (g = 2.26, p<0.05) improved more in WBV. Slightly decreased leptin levels (g = 0.38, p<0.05); increase in adiponectin levels (g = 1.33, p<0.05).
[26]	BW, % body fat and lean mass of arms and legs did not change (p>0.05).	Brachial/aortic systolic (g = 0.83, p<0.001) and diastolic (g = 0.70 p = 0.008) BP decreased. Pulse pressure, augmented pressure, augmentation index (g = 0.93, p = 0.008), augmentation index adjusted to 75 bpm (g = 1.06, p = 0.002), second systolic peak and systolic tension time index decreased (g = 0.93, p<0.001).	Leg muscle strength increased (g = 0.28, p<0.001).
[54]	BW (g = 0.81, p = 0.055), visceral adipose tissue (g = 1.36, p = 0.049) and total fat mass (g = 1.17, p = 0.041) decreased.		Hand-grip, single-leg balance (g = 2.37, p<0.05) and the sit-and-reach test (g = 4.74, p<0.05) increased.
[48]		Ankle systolic BP decreased in the WBV-high group (g = 5.75, p<0.05), compared with no changes in the WBV-normal group (p>0.05). Brachial/aortic systolic BP, leg and brachial-ankle PWV similarly decreased in the WBV-high (g = 3.79, p<0.05) and WBV-normal group (g = 2.75, p<0.05).	
[59]	% Body fat decreased in both groups (g = 0.74, p). Lean mass index increased only in WBV+L (g = 1.00).	Leg and brachial-ankle PWV decreased (g = 2.75 and p<0.05 WBV, g = 2.35 and p<0.01, WBV+L). Aortic PWV decreased (g = 3.00 and p<0.01, WBV +L).	
[50]		Brachial/aortic systolic (g = 0.79 and p<0.05 WBV, g = 0.89 and p<0.01 WBV+L) and diastolic BP (g = 0.59 and p<0.05 WBV, g = 0.77 and p<0.05 WBV+L), and mean arterial pressure (g = 0.63 WBV, g = 1.00 WBV+L, p<0.05) decreased. Brachial and aortic pulse pressure decreased in WBVT+L group. AIx decreased and transit time of the reflected wave increased (g = 0.69 WBV, g = 1.10, p<0.05).	Nitric oxide concentration increased (g = 0.66 WBV, g = 0.59 WBV+L, p<0.05).
[49]	No significant changes in BW (p>0.05).	Normalized Low Frequency to normalized High Frequency ratio decreased (g = 0.75, p<0.05). Brachial systolic (g = 2.26, p<0.01) and diastolic (g = 1.70, p<0.01) BP decreased. HR, Ln of total power and of High Frequency and Low Frequency did not differ (p>0.05)	No significant changes in PASE score and dietary composition (p>0.05).
[52]	% body fat decreased (g = 1.25). No significant changes in BW (p>0.05).	HR, Ln low frequency to Ln High Frequency ratio (g = 1.80, p<0.01), and normalized Low Frequency decreased (g = 1.45, p<0.01). R-R intervals (g = 1.17, p<0.05), Ln High Frequency and normalized High Frequency increased.	No significant changes in PASE score and dietary composition; Muscle strength increased (g = 3.48, p<0.01).
[47]			Knee extension strength increased (g = 0.50, p<0.001); dynamic stability improved.
[55]		Reduction in reflexion time (g = 1.67, p<0.05). Carotid-femoral PWV reduced (g = 1.26, p<0.05). Brachial-ankle and femoral ankle PWV (g = 3.79, p<0.01), aortic systolic BP, augmented pressure and AIx adjusted to 75 bpm (g = 3.50, p<0.01) reduced.	Leg muscle strength increased (g = 5.07, p<0.001)

AIx: augmentation index; BP: blood pressure; BW: body weight; HR: heart rate; Ln: natural logarithm; PASE: Physical Activity Scale for the Elderly; PWV: pulse wave velocity; RMS: root mean square.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.t003

Se informó el tamaño de efecto de la g de Hedges ajustada y la significación estadística para cada variable.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.t003

Doce estudios investigaron la respuesta cardiovascular al WBVT. Diez artículos informaron cambios en la tensión arterial: la PA sistólica/diastólica disminuyó con un gran efecto en [26,49,55,56,60]; Figueroa et al. [48] observaron una reducción de gran efecto en la PA sistólica del tobillo sólo en el grupo hipertenso. La Velocidad de la Onda de Pulso (PWV) de la carótida-femoral y/o del tobillo-brazo también disminuyó en 40-100 cm•s-1 (efectos grandes) [26,55,59,60]. La velocidad del flujo sanguíneo aumentó en 35 ml•min-1 con un efecto pequeño a mediano [62]. El índice de aumento (AIx y AIx ajustado a 75 lpm, indicadores de reflexión de onda calculados como diferencia entre el segundo y el primer pico sistólico de la presión del pulso aórtico) se redujo (efectos grandes) [48,49,55]. Wong et al. encontraron que el tiempo de tránsito de la onda de reflexión aumentó más en el grupo suplementado con L-Citrulina (efecto grande) que después del WBVT solo [50]. Se informaron efectos positivos del WBVT en la mejora de la modulación autónoma cardíaca mediante la disminución del equilibrio simpatovagal y/o la disminución de la frecuencia cardíaca en reposo (5-10 lpm), de forma consistente con grandes efectos en mujeres jóvenes [56], sanas [52], y en mujeres post-menopáusicas en pre-estadio o estadio 1 hipertensivo [49]: la relación de potencia de frecuencia respiratoria baja-a-alta (o una combinación de las mismas) mejoró en [49,52,56]; la potencia total no cambió de forma significativa en [49,52], pero se incrementó en [56]; los intervalos R-R disminuyeron, con un gran efecto [52].

Tres estudios encontraron cambios en las concentraciones de hormonas y lípidos hemáticos después de la intervención: Bellia et al. informaron una disminución del nivel de insulina en ayunas (-30 pmol•l-1, efecto grande), una ligera disminución de los niveles de leptina (efecto medio) y un aumento de los niveles de adiponectina (efecto grande) [63]. Miyaki et al. describieron una reducción en la concentración de colesterol LDL y de triglicéridos (efecto grande) [60]. La concentración de óxido nítrico (NOx) aumentó con efectos medios en [49].

La fuerza muscular de piernas mejoró después de 6 a 12 semanas de WBVT en mujeres obesas no entrenadas pre- y post-menopáusicas en un 8% a 18% (efectos grandes) [47,52,53,55], e incluso hasta un 40% [52]; So et al. revelaron una mejora de gran efecto en el agarre de la mano (2,1±3,0 kg), el equilibrio de una sola pierna (11,0±15,4 s) y la capacidad de estiramiento sit-and-reach (6,5±4,8 cm) en el grupo que se sometió al WBVT y a dieta [54]; Yang et al. encontraron una mayor estabilidad dinámica en términos de una mayor disminución de la tasa de caída en el WBVT (-45%) que en el grupo con placebo (-25%) [47]. Miyaki et al. informaron un aumento en el consumo máximo de oxígeno (efecto grande); Wilms et al. encontraron un efecto positivo del WBVT para mejorar el gasto energético en reposo (efecto grande) [51].

DISCUSIÓN

Seis a doce semanas de WBVT en individuos obesos generalmente condujeron a una reducción de la masa grasa y a mejoras cardiovasculares. Sin embargo, los resultados de los estudios examinados son diversos y a veces inconsistentes o no concluyentes. Por lo tanto, deben interpretarse a la luz de las cohortes e intervenciones específicas.

Resultados del Entrenamiento de Vibración

Las vibraciones sinusoidales estimulan las terminaciones principales de los husos musculares, que a su vez activan las neuronas motoras-α e inducen rápidas contracciones involuntarias excéntricas-concéntricas; este mecanismo se conoce como reflejo tónico vibratorio [64]. Las hipótesis sobre los mecanismos musculares adaptativos incluyen la sincronización, la estimulación de los órganos tendinosos de Golgi, la activación de los antagonistas, la variación de las concentraciones de neurotransmisores (dopamina, serotonina) [29,32]. Claramente, la reacción a la vibración no es sólo biomecánica, ya que el WBVT provoca la respuesta combinada de los sistemas musculoesquelético, cardiovascular, endocrino y nervioso [39].

Composición Corporal

Cuando el WBVT duró 10 semanas o más, siempre se observó una reducción del peso [53,58,60-62]. La asociación entre los ajustes de intervención y el grado de pérdida de peso no está clara: los ejercicios realizados en la plataforma variaron entre los estudios; las vibraciones alternas laterales por debajo de 16 Hz produjeron una pérdida de peso pequeña a moderada [57,61], así como las vibraciones sincronizadas de 40 a 60 Hz (amplitud: 2-5 mm) [53]; por el contrario, se obtuvo una mayor pérdida de peso con las vibraciones de 30 a 35 Hz [60] y después de 6 semanas de WBVT a 30-35 Hz (amplitud: 2 mm) [54]. Incluso cuando el peso corporal permaneció inalterado, el WBVT a menudo indujo una remodelación de la composición corporal: se observó una reducción de la masa grasa [58,60-63] y el VAT [54,58] con intervenciones de 8 semanas o menos, y con una exposición diaria a vibraciones de 5,1 a 12,7 ms2 [51,52,59]. La pérdida de masa grasa se

concentró en el tronco, como lo demuestra la reducción del VAT y de la circunferencia de la cintura [53,54,58].

Tres factores pueden contribuir a la reducción de la masa grasa: (i) la exposición aguda a las vibraciones activa el sistema nervioso simpático, cuya inervación del tejido adiposo blanco desencadena la lipólisis [65]; (ii) el WBVT mejora el control glucémico al mejorar la acción de la insulina y la regulación de la glucosa [49,63,66]; (iii) el WBVT promueve la liberación de GH [67], que estimula el metabolismo y suele reducirse en los sujetos obesos [68].

La mejora del control glucémico es crucial en las mujeres post-menopáusicas, cuyos cambios hormonales conducen a la resistencia a la insulina [69]: Bellia et al. encontraron un aumento del 35% de la sensibilidad a la insulina después de 8 semanas de tratamiento con WBVT con sentadillas estáticas [63]; los efectos adicionales sobre la regulación metabólica fueron un aumento de la adiponectina y una disminución de los niveles de leptina [63]. En pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2, el consumo de glucosa mediado por insulina en el músculo esquelético mejoró, probablemente debido al aumento del flujo sanguíneo de la arteria femoral [62].

La densidad mineral ósea se correlaciona negativamente con el envejecimiento y la obesidad [70]; después de la menopausia, la disminución de las concentraciones de estrógeno causa una mayor disminución de la densidad mineral ósea, lo que puede conducir a la osteoporosis. El movimiento fluido producido por las vibraciones es anabólico para el hueso [30], ya que genera estrés de cizallamiento en las membranas plasmáticas de células altamente sensibles como los osteocitos residentes, las células de revestimiento óseo y los osteoblastos [71].

Efectos Cardiovasculares

Once artículos examinaron el papel del WBVT en la mitigación de los resultados cardiovasculares adversos relacionados con la obesidad (es decir, aumento del equilibrio simpatovagal y de la tensión arterial), y complicados por el envejecimiento, la menopausia y la Diabetes. Existen pruebas convincentes de que al menos seis semanas de WBVT pueden reducir el equilibrio simpatovagal [49,52,56] y la tensión arterial central/periférica [26,48,50,55,59,60] en mujeres obesas-sólo un trabajo abordó estos temas en hombres [62].

Un aumento de la potencia de Baja Frecuencia (LF) y una disminución de la potencia de Alta Frecuencia (HF) del espectro de variabilidad de la frecuencia cardíaca indican una disminución simultánea simpática y una mejora de la modulación cardio-vagal, respectivamente. Esto tiene implicaciones clínicas importantes, ya que un menor equilibrio simpatovagal (medido como la relación LF/HF o la duración de R-R) se asocia con un menor riesgo cardiovascular y una mayor longevidad en las mujeres obesas [72,73]. En contraste, el ejercicio convencional como el entrenamiento de fuerza [74] o aeróbico [75] no mejoró la relación LF/HF o la LF en mujeres post-menopáusicas.

El WBVT disminuyó la tensión sistémica, aórtica y arterial de la pierna en términos de PWV braquial-tobillo, carótida-femoral y femoral-tobillo, respectivamente [50,55,56,59,60]. Se obtuvieron mayores beneficios sobre la tensión aórtica (PA sistólica aórtica reducida en 8-10 mmHg) después de 6 semanas de WBVT y suplementación con L-Citrulina en mujeres post-menopáusicas hipertensas [59]. La L-Citrulina es un aminoácido no proteico que se encuentra naturalmente en la sandía y que se convierte eficientemente en L-arginina, el sustrato para la producción endotelial de NOx [76]. La disminución de la PA sistólica y diastólica en 5-10 mmHg corresponde a una reducción del 30-40% del riesgo de muerte por accidente cerebrovascular y otras complicaciones cardiovasculares [77]. Es importante destacar que estos efectos hemodinámicos del WBVT no se observaron en estudios que seguían el entrenamiento de fuerza tradicional en mujeres con sobrepeso y obesas [78-80]. Sólo el entrenamiento aeróbico de alta intensidad, pero no el entrenamiento de fuerza de alta intensidad, fue efectivo para reducir el AIx [81].

Los mecanismos subyacentes de estos resultados se basan en la combinación de varios factores. En primer lugar, el WBVT aumenta los niveles de angiotensina-II circulante (inhibidor de la actividad cardio-vagal [82]) y la producción local de sustancias vasodilatadoras, incluyendo el NOx [83]. El NOx disminuye la PA sistólica y el AIx reduce el tono vascular de las arterias pequeñas [84]. En segundo lugar, las contracciones mecánicas oscilatorias durante la vibración sirven como una bomba muscular activa y aumentan el volumen sistólico, probablemente aumentando el retorno venoso y la precarga [85]. Tercero, la resistencia periférica total al flujo sanguíneo aumenta durante la vibración corporal. Como compensación, se abren más capilares para mantener un nivel necesario de gasto cardíaco, lo que resulta en un metabolismo más eficiente del gas y del material entre la sangre y las fibras musculares [39]. Cuarto, las fuerzas de fricción aplicadas por la vibración mecánica sobre las células endoteliales [38] también contribuyen a mejorar el flujo sanguíneo [30,38,83]. La repetición semanal de estos efectos vasculares agudos es probablemente responsable de las mejoras en la tensión arterial y la reflexión de las ondas [56].

Efectos Funcionales y de Otro Tipo

Como en las personas con fatiga por obesidad a un mayor ritmo [86], el rendimiento motor diario puede verse obstaculizado. Dado que el aumento de la fuerza muscular per se puede ofrecer protección contra la obesidad [59], una

modalidad de ejercicio segura, eficiente en el tiempo y de baja intensidad en el tratamiento de los individuos obesos podría prevenir las complicaciones vasculares, la disfunción muscular y la discapacidad física [55]. Aunque los protocolos de entrenamiento difirieron entre los estudios, desde las mujeres jóvenes obesas hasta las adultas mayores, el WBVT produjo un efecto positivo similar al entrenamiento de la fuerza sobre la fuerza muscular [47,52,53,55,58], y una mejoría en los test funcionales de sit-and-reach y de sit-to-stand [54].

La mejora del flujo sanguíneo de los músculos de las piernas puede contribuir al aumento de la masa muscular en los adultos mayores [87]. Con intervenciones cortas de WBVT (6 semanas), Figueroa et al. [56] propusieron que las ganancias de fuerza muscular se atribuyen principalmente a las adaptaciones neurales más que a la hipertrofia muscular. Consistentemente, el entrenamiento de vibración aumenta la eficiencia de los pares agonista/antagonista y la sincronización de las unidades motoras, lo que implica que se contraen más fibras a la vez y se puede producir más fuerza [29]. Esto afecta positivamente el control del equilibrio: las observaciones previas en poblaciones propensas a la caída, como las personas frágiles [30,88,89], fueron confirmadas en sujetos obesos por las mejoras en el equilibrio de una sola pierna [54] y por una disminución en la tasa de caídas [47].

Por último, la adición de vibraciones tanto a los ejercicios estáticos como a los dinámicos pareció aumentar significativamente el consumo de oxígeno en las mujeres obesas [58]. Aunque el WBVT puede aumentar el consumo de oxígeno y el gasto calórico cuando se añade a un programa de ejercicio [30,90], la cantidad de renovación de energía debido a la vibración es modesta, estimada en 4,5 ml·min-1·kg-1 (frecuencia: 26 Hz, amplitud: 3 mm) [30,91]. Argumentamos que los mecanismos potenciales de un mayor consumo de oxígeno podrían ser el mayor metabolismo debido a cambios hormonales y cardiovasculares [39,67], el aumento de la masa magra y la activación muscular [91].

Efectos Secundarios

Los efectos del entrenamiento con vibración en el cuerpo humano pueden depender de los ajustes de vibración (frecuencia, amplitud y duración) y del programa de ejercicio (tipo de ejercicio, intensidad y volumen). El WBVT estimula las contracciones musculares reflejas "de forma segura y suave" [52] dependiendo de los ajustes de vibración: las vibraciones variaban desde niveles tolerables (6 estudios, típicamente 1-2 mm a 25-40 Hz, 5,1 m·s-2), hasta varias veces más altas que lo que la ISO 2631-1:1997 considera un umbral seguro para los trabajadores (8 estudios, hasta 42 m·s-2). Cabe señalar que los umbrales de la norma ISO 2631-1:1997 se establecieron para minimizar las amenazas para la salud derivadas de una exposición continua a las vibraciones en el lugar de trabajo, y pueden no ser directamente transferibles a los dispositivos médicos y al WBVT [30,92]. Seis artículos no informaron explícitamente ningún síntoma desfavorable o efecto adverso como resultado del estímulo de vibración [47,50,54,55,61,93]. Sin embargo, se informaron casos aislados de flebitis de la parte inferior de las piernas [58], dolor leve de rodilla [94] y dolor de espalda después de dos semanas de entrenamiento [63].

En resumen, si bien se presume que los beneficios del uso de dispositivos vibratorios compensan los riesgos generados por la exposición [92], el uso del WBVT con fines terapéuticos aún no está estandarizado y los efectos adversos potenciales relacionados son inciertos [51], especialmente las implicaciones sobre la salud cerebral debido a la exposición crónica a las aceleraciones. Sin embargo, se pueden trazar algunas pautas. En primer lugar, Muir et al. propusieron que las vibraciones producidas por dispositivos médicos pueden considerarse razonablemente seguras sobre la base de 15 minutos de exposición/día si se encuentran dentro de los límites de 30-50 Hz y 2,25-7,98 g [92]; de forma consistente, en todos los trabajos revisados la duración diaria del entrenamiento fue inferior a 10-15 minutos. En segundo lugar, las vibraciones cercanas a la frecuencia natural resonante principal del cuerpo humano (5-20 Hz) pueden producir aceleraciones en la cabeza iguales o superiores a la fuerza g ejercida en el pie, y deben evitarse con prudencia [39]. En tercer lugar, la transmisibilidad al cráneo se atenúa notablemente mediante la flexión de las rodillas y el uso de la vibración lateral alterna en lugar de la vibración sincronizada [92]; por lo tanto, se debe evitar la postura de piernas extendidas.

Limitaciones

En los estudios evaluados surgieron cinco defectos importantes: (i) pocos estudios comparativos, (ii) tamaños de muestra pequeños, (iii) posibles sesgos regionales y de sexo, (iv) mala calidad de los informes del WBVT y (v) falta de investigaciones a largo plazo.

1. Si bien existen pruebas de la efectividad de la terapia con WBVT en comparación con los grupos de control sin ejercicio [26,48,49,53,55,61], la información terapéutica pertinente podría provenir de la comparación de diferentes contextos de WBVT y modalidades de ejercicio. Desafortunadamente, sólo tres estudios compararon el WBVT con otro entrenamiento [51,54,63], y ningún estudio abordó el efecto de los diferentes contextos de vibración sobre los individuos obesos.
2. Convencionalmente, el número de variables independientes (k) puede considerarse adecuado si la relación k:n es superior a 1:10, siendo n el tamaño de la muestra [95]. Ningún artículo incluido en esta revisión cumplió con este

requisito, ya que todos los trabajos excepto [57] incluían menos de 26 sujetos obesos. Los tamaños de muestra pequeños reducen la relevancia de los resultados al aumentar el riesgo de error tipo II y reducir la capacidad para validar las hipótesis. Además, el pequeño tamaño de la muestra no permitió evaluar diferentes ámbitos de intervención y ejercicios, como admitieron [49,63,94].

3. Los efectos hemodinámicos [96], la PA sistólica y el AIx [13,15], la concentración de insulina y de hormonas GH presentan diferencias específicas de género. Esto limita la generalización de los resultados encontrados en mujeres, ya que el WBVT puede no tener los mismos efectos en hombres obesos [93]. Además, algunos resultados se atribuyeron a cohortes muy específicas (por ejemplo, coreanos [94] o hispanos [55]), y no pueden generalizarse a ninguna población obesa debido a las características regionales específicas de los grupos raciales/étnicos minoritarios, como la mayor incidencia de la variabilidad reducida de la FC en los hispanos [97].
4. Dado el daño potencial del WBVT, se debe recomendar el uso supervisado de los dispositivos por terapeutas entrenados [92]. Asimismo, es esencial describir si los participantes del estudio estaban parados libremente sobre el dispositivo o se apoyaban en algún soporte, y el tipo de calzado, que influye en la transmisibilidad a las estructuras corporales [43]. Sin embargo, un tercio de los trabajos examinados no mencionó ninguna supervisión; el tipo de apoyo se indicó en cinco estudios y el calzado en dos; el deslizamiento y la exactitud de los parámetros de vibración nunca se informaron. Estos detalles pueden haber introducido una variabilidad adicional y haber jugado un papel como factores de confusión.
5. Por último, 11/18 artículos presentaron resultados después de 6 u 8 semanas, un período relativamente corto de intervención; el tiempo que los efectos beneficiosos persisten después de la intervención sigue siendo una cuestión abierta, como el riesgo potencial de efectos secundarios relacionados con el WBVT a largo plazo [63]. Los resultados de Vissers et al. [58], que muestran que los pacientes tratados con WBVT lograron mantener una pérdida de peso del 10% a los 12 meses, son alentadores pero necesitan ser confirmados más ampliamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

El entrenamiento con vibración de cuerpo completo es una terapia de intervención complemetaria prometedora para las mujeres obesas. En particular, hay pruebas de que al menos 6 semanas de WBVT pueden mejorar la función autónoma cardíaca [49,52] y reducir la tensión arterial central y periférica [50,55]; 10 o más semanas de WBVT producen una disminución significativa del peso corporal [53,58,60-62], mejoría de la fuerza de las piernas [48,52,53,55] y, además de la dieta hipocalórica, pueden mejorar aún más la sensibilidad a la insulina y la regulación glucémica [63].

El WBVT puede ser prescrito sin ejercicio adicional en las etapas iniciales de un programa de pérdida de peso, debido al estrés limitado sobre las articulaciones y a la estimulación del metabolismo mediada por la GH, sin provocar una fatiga excesiva [63,85]. Las vibraciones pasivas no implican movimiento voluntario y requieren una contribución menor del comando central [98]. Por lo tanto, el WBVT podría ser un modo útil de ejercicio para los obesos desacondicionados con poca motivación [56]: cuando se combina con una intervención alimentaria o se prescribe como alternativa al entrenamiento con ejercicios tradicionales, el WBVT es tan efectivo como el ejercicio aeróbico y de fuerza para reducir la masa grasa [58,93] y moderar el déficit de la fuerza muscular relativa [49,54]. Por último, el WBVT puede ser eficaz en la promoción y prevención de la salud vascular en mujeres jóvenes obesas [50,55,59].

El potencial positivo del WBVT para los individuos obesos se ve en parte obstaculizado por las inconsistencias metodológicas en la bibliografía existente. La falta de resultados en hombres obesos y las cohortes pequeñas (y ocasionalmente sesgadas) sugieren más investigación para estandarizar el WBVT en el tratamiento de la obesidad. Surgieron dos directivas principales adicionales de investigación: en primer lugar, es obligatorio aclarar la causalidad entre los parámetros de vibración (frecuencia, amplitud, exposición, relación trabajo:pausa) y los resultados del WBVT. Segundo, se requieren estudios a largo plazo para demostrar los beneficios de seguridad y salud que se pueden lograr con el WBVT para los pacientes obesos.

Información Complementaria

Tabla S1. Calidad metodológica de los ensayos controlados aleatorios examinados según la escala PEDro (Y: sí, N: no o no aplicable).
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.s001

Tabla S2. Calidad metodológica de los estudios no aleatorios examinados según la escala TREND (Y: sí, N: no o no aplicable).
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.s002

Tabla S3. Calidad de la información sobre el tratamiento de vibración de cuerpo entero (Y: sí, N: no o no aplicable). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.s003

Tabla S4. Checklist de ítems de referencia para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA) [40]. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202866.s004

REFERENCIAS

1. Hales CM, Fryar CD, Carroll MD, Freedman DS, Ogden CL. (2018). Trends in Obesity and Severe Obesity Prevalence in US Youth and Adults by Sex and Age, 2007–2008 to 2015–2016. *JAMA. 2018; pmid:29570750*
2. Adams KF, Schatzkin A, Harris TB, Kipnis V, Mouw T, Ballard-Barbash R, et al. (2006). Overweight, obesity, and mortality in a large prospective cohort of persons 50 to 71 years old. *N Engl J Med. 2006;355: 763–78. pmid:16926275*
3. Yumuk V, Tsigos C, Fried M, Schindler K, Busetto L, Micic D, et al. (2015). European Guidelines for Obesity Management in Adults. *Obes Facts. 2015;8: 402–424. pmid:26641646*
4. Bogers R, Bemelmans W, Hoogenveen R, Boshuizen H, Woodward M, Knekt P, et al. (2007). Association of overweight with increased risk of coronary heart disease partly independent of blood pressure and cholesterol levels. *Arch Intern Med. 2007;167: 1720–1728. pmid:17846390*
5. Croymans DM, Krell SL, Oh CS, Katiraie M, Lam CY, Harris RA, et al. (2014). Effects of resistance training on central blood pressure in obese young men. *J Hum Hypertens. 2014;28: 157–164. pmid:24005959*
6. Koenig J, Jarczok MN, Warth M, Ellis RJ, Bach C, Hillecke TK, et al. (2014). Body mass index is related to autonomic nervous system activity as measured by heart rate variability—a replication using short term measurements. *J Nutr Health Aging. 2014;18: 300–2. pmid:24626758*
7. Baek J, Park D, Kim I, Won JU, Hwang J, Roh J. (2013). Autonomic dysfunction of overweight combined with low muscle mass. *Clin Auton Res. 2013;23: 325–331. pmid:24221882*
8. McGee DL. (2005). Body mass index and mortality: A meta-analysis based on person-level data from twenty-six observational studies. *Ann Epidemiol. 2005;15: 87–97. pmid:15652713*
9. Strazzullo P, D'Elia L, Cairella G, Garbagnati F, Cappuccio FP, Scalfi L. (2010). Excess body weight and incidence of stroke: Meta-analysis of prospective studies with 2 million participants. *Stroke. 2010. pmid:20299666*
10. Himes CL, Reynolds SL. (2012). Effect of obesity on falls, injury, and disability. *J Am Geriatr Soc. 2012;60: 124–129. pmid:22150343*
11. Fjeldstad C, Fjeldstad AS, Acree LS, Nickel KJ, Gardner AW. (2008). The influence of obesity on falls and quality of life. *Dyn Med. 2008;7. pmid:18304350*
12. Wu X, Lockhart TE, Yeoh HT. (2012). Effects of obesity on slip-induced fall risks among young male adults. *J Biomech. 2012;45: 1042–1047. pmid:22304846*
13. Russo C, Jin Z, Palmieri V, Homma S, Rundek T, Elkind MSV, et al. (2012). Arterial stiffness and wave reflection: Sex differences and relationship with left ventricular diastolic function. *Hypertension. 2012;60: 362–368. pmid:22753223*
14. Wildman RP, Mackey RH, Bostom A, Thompson T, Sutton-Tyrrell K. (2003). Measures of obesity are associated with vascular stiffness in young and older adults. *Hypertension. 2003;42: 468–473. pmid:12953016*
15. Shim CY, Park S, Choi D, Yang W-I, Cho I-J, Choi E-Y, et al. (2011). Sex differences in central hemodynamics and their relationship to left ventricular diastolic function. *J Am Coll Cardiol. 2011;57: 1226–1233. pmid:21371640*
16. Palmer BF, Clegg DJ. (2015). The sexual dimorphism of obesity. *Molecular and Cellular Endocrinology. 2015. pp. 113–119. pmid:25578600*
17. Wadden TA, Butryn ML, Byrne KJ. (2004). Efficacy of Lifestyle Modification for Long-Term Weight Control. *Obes Res. 2004;12: 151S–162S. pmid:15687411*
18. Matarese LE, Pories WJ. (2014). Adult weight loss diets: Metabolic effects and outcomes. *Nutrition in Clinical Practice. 2014. pp. 759–767. pmid:25293593*
19. Irving BA, Davis CK, Brock DW, Weltman JY, Swift D, Barrett EJ, et al. (2008). Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. *Med Sci Sports Exerc. 2008;40: 1863–1872. pmid:18845966*
20. Kelley CP, Sbrocco G, Sbrocco T. (2016). Behavioral Modification for the Management of Obesity. *Primary Care—Clinics in Office Practice. 2016. pp. 159–175. pmid:26896208*
21. Andrade AM, Coutinho SR, Silva MN, Mata J, Vieira PN, Minderico CS, et al. (2010). The effect of physical activity on weight loss is mediated by eating self-regulation. *Patient Educ Couns. 2010;79: 320–326. pmid:20149955*
22. Janssen I, Ross R. (1999). Effects of sex on the change in visceral, subcutaneous adipose tissue and skeletal muscle in response to weight loss. *Int J Obes Relat Metab Disord. 1999;23: 1035–1046. pmid:10557024*
23. Gerage AM, Forjaz CLM, Nascimento MA, Januário RSB, Polito MD, Cyrino ES. (2013). Cardiovascular adaptations to resistance training in elderly postmenopausal women. *Int J Sports Med. 2013;34: 806–813. pmid:23459854*
24. Willis LH, Slentz CA, Bateman LA, Shields AT, Piner LW, Bales CW, et al. (2012). Effects of aerobic and/or resistance training on body mass and fat mass in overweight or obese adults. *J Appl Physiol. 2012;113: 1831–1837. pmid:23019316*
25. Guérin E, Fortier MS. (2012). Situational motivation and perceived intensity: Their interaction in predicting changes in positive affect from physical activity. *J Obes. 2012;2012. pmid:22778914*
26. Figueroa A, Kalfon R, Wong A. (2014). Whole-body vibration training decreases ankle systolic blood pressure and leg arterial

stiffness in obese postmenopausal women with high blood pressure. *Menopause. 2014;22: 1–5. pmid:25225715*
27. Machado A, García-López D, González-Gallego J, Garatachea N. (2010). 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. pmid:19422657*
28. Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. (2004). Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc. 2004;52: 901–908. pmid:15161453*
29. Cardinale M, Bosco C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews. 2003. pp. 3–7. pmid:12562163*
30. Rittweger J. (2010). Vibration as an exercise modality: How it may work, and what its potential might be. *European Journal of Applied Physiology. 2010. pp. 877–904. pmid:20012646*
31. Cochrane DJ. (2011). Vibration exercise: The potential benefits. *Int J Sports Med. 2011;32: 75–99. pmid:21165804*
32. Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc. 2003;35: 1033–1041. pmid:12783053*
33. Rubin CT, Capilla E, Luu YK, Busa B, Crawford H, Nolan DJ, et al. (2007). Adipogenesis is inhibited by brief, daily exposure to high-frequency, extremely low-magnitude mechanical signals. *Proc Natl Acad Sci. 2007;104: 17879–17884. pmid:17959771*
34. Maddalozzo GF, Iwaniec UT, Turner RT, Rosen CJ, Widrick JJ. (2008). Whole-body vibration slows the acquisition of fat in mature female rats. *Int J Obes. 2008;32: 1348–1354. pmid:18663370*
35. Totosy de Zepetnek JO, Giangregorio LM, Craven BC. (2009). Whole-body vibration as potential intervention for people with low bone mineral density and osteoporosis: a review. *J Rehabil Res Dev. 2009;46: 529–542. pmid:19882487*
36. Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, Belli A, Vico L. (2008). Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: What we know and what we need to know. *Ageing Res Rev. 2008;7: 319–329. pmid:18762281*
37. Bogaerts ACG, Delecluse C, Claessens AL, Troosters T, Boonen S, Verschueren SMP. (2009). Effects of whole body vibration training on cardiorespiratory fitness and muscle strength in older individuals (a 1-year randomised controlled trial). *Age Ageing. 2009;38: 448–454. pmid:19439517*
38. Lohman EB, Petrofsky JS, Maloney-Hinds C, Betts-Schwab H, Thorpe D. (2007). The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Med Sci Monit. 2007;13: CR71–6. pmid:17261985*
39. Mester J, Kleinöder H, Yue Z. (2006). Vibration training: Benefits and risks. *J Biomech. 2006;39: 1056–1065. pmid:15869759*
40. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev. 2015;4. pmid:25554246*
41. Fitzpatrick RB. (2008). PEDro: A physiotherapy evidence database. *Med Ref Serv Q. 2008;27: 188–197.*
42. Des Jarlais DC, Lyles C, Crepaz N. (2004). mproving the Reporting Quality of Nonrandomized Evaluations of Behavioral and Public Health Interventions: The TREND Statement. *American Journal of Public Health.*
43. Rauch F, Sievanen H, Boonen S, Cardinale M, Degens H, Felsenberg D, et al. (2010). Reporting whole-body vibration intervention studies: Recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *J Musculoskelet Neuronal Interact. 2010;10: 193–198. pmid:20811143*
44. Pietro Emerenziani G, Meucci M, Gallotta MC, Buzzachera CF, Guidetti L, Baldari C. (2014). Whole body vibration: unsupervised training or combined with a supervised multi-purpose exercise for fitness? J Sports Sci. *2014;32: 1033–1041. pmid:24479642*
45. International Standards Organization. (1997). ISO 2631–1: Mechanical Vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration- Part 1- General Requirements. *Order A Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications 1997.*
46. Durlak JA. (2009). How to select, calculate, and interpret effect sizes. *Journal of Pediatric Psychology. pp. 917–928. pmid:19223279*
47. Yang F, Munoz J, zhu Han L, Yang F. (2017). Effects of vibration training in reducing risk of slip-related falls among young adults with obesity. *J Biomech. 2017;57: 87–93. pmid:28431747*
48. Figueroa A, Kalfon R, Madzima TA, Wong A. (2014). Effects of whole-body vibration exercise training on aortic wave reflection and muscle strength in postmenopausal women with prehypertension and hypertension. *J Hum Hypertens. 2014;28: 118–122. pmid:23823582*
49. Wong A, Alvarez-Alvarado S, Kinsey AW, Figueroa A. (2016). Whole-Body Vibration Exercise Therapy Improves Cardiac Autonomic Function and Blood Pressure in Obese Pre- and Stage 1 Hypertensive Postmenopausal Women. *J Altern Complement Med. 2016;22: 970–976. pmid:27656953*
50. Wong A, Alvarez-Alvarado S, Jaime SJ, Kinsey AW, Spicer MT, Madzima TA, et al. (2016). Combined whole-body vibration training and l-citrulline supplementation improves pressure wave reflection in obese postmenopausal women. *Appl Physiol Nutr Metab = Physiol Appl Nutr métabolisme. 2016;41: 292–7. pmid:26863234*
51. Wilms B, Frick J, Ernst B, Mueller R, Wirth B, Schultes B. (2012). Whole body vibration added to endurance training in obese women—A pilot study. *Int J Sports Med. 2012;33: 740–743. pmid:22562734*
52. Severino G, Sanchez-Gonzalez M, Walters-Edwards M, Nordvall M, Chernykh O, Adames J, et al. (2017). Whole-body vibration training improves heart rate variability and body fat percentage in obese hispanic postmenopausal women. *J Aging Phys Act. 2017;25: 395–401. pmid:27918705*
53. Milanese C, Piscitelli F, Zenti MG, Moghetti P, Sandri M, Zancanaro C. (2013). Ten-week whole-body vibration training improves body composition and muscle strength in obese women. *Int J Med Sci. 2013;10: 307–311. pmid:23423629*
54. So R, Eto M, Tsujimoto T, Tanaka K. (2014). Acceleration training for improving physical fitness and weight loss in obese women. *Obes Res Clin Pract. 2014;8: e201–e98. pmid:24847665*
55. Alvarez-Alvarado S, Jaime SJ, Ormsbee MJ, Campbell JC, Post J, Pacilio J, et al. (2017). Benefits of whole-body vibration training on arterial function and muscle strength in young overweight/ obese women. *Hypertens Res. 2017;40: 487–492.*

pmid:28077859
56. Figueroa A, GIl R, Wong A, Hooshmand S, Park SY, Vicil F, et al. (2012). Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women. *Hypertens Res. 2012;35: 667–672. pmid:22357522*
57. Zaki ME. (2014). Effects of whole body vibration and resistance training on bone mineral density and anthropometry in obese postmenopausal women. *J Osteoporos. 2014;2014. pmid:25136473*
58. Vissers D, Verrijken A, Mertens I, Van Gils C, Van De Sompel A, Truijen S, et al. (2010). Effect of long-term whole body vibration training on visceral adipose tissue: A preliminary report. *Obes Facts. 2010;3: 93–100. pmid:20484941*
59. Figueroa A, Alvarez-Alvarado S, Ormsbee MJ, Madzima TA, Campbell JC, Wong A. (2015). Impact of l-citrulline supplementation and whole-body vibration training on arterial stiffness and leg muscle function in obese postmenopausal women with high blood pressure. *Exp Gerontol. 2015;63: 35–40. pmid:25636814*
60. Miyaki A, Maeda S, Choi Y, Akazawa N, Tanabe Y, So R, et al. (2012). The addition of whole-body vibration to a lifestyle modification on arterial stiffness in overweight and obese women. *Artery Res. 2012;6: 85–91.*
61. Adsuar J, B Del Pozo-Cruz, Parraca J, Corzo H, Olivares P, Gusi N. (2013). Vibratory Exercise Training Effects on Weight in Sedentary Women with Fibromyalgia. *Int J Med Sci Phys Act Sport. 2013;13: 295–305.*
62. Sañudo B, Alfonso-Rosa R, Del Pozo-Cruz B, Del Pozo-Cruz J, Galiano D, Figueroa A. (2013). Whole body vibration training improves leg blood flow and adiposity in patients with type 2 diabetes mellitus. *Eur J Appl Physiol. 2013;113: 2245–2252. pmid:23657766*
63. Bellia A, Sallì M, Lombardo M, D'Adamo M, Guglielmi V, Tirabasso C, et al. (2014). Effects of whole body vibration plus diet on insulin-resistance in middle-aged obese subjects. *Int J Sports Med. 2014;35: 511–516. pmid:24227120*
64. Kvorning T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K. (2006). Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol. 2006;96: 615–625. pmid:16482475*
65. Snitker S, Macdonald I, Ravussin E, Astrup A. (2000). The sympathetic nervous system and obesity: role in aetiology and treatment. *Obes Rev. 2000;1: 5–15. pmid:12119646*
66. Di Loreto C, Ranchelli A, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, et al. (2004). Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men. *J Endocrinol Invest. 2004;27: 323–327. pmid:15233550*
67. Giunta M, Cardinale M, Agosti F, Patrizi A, Compri E, Rigamonti AE, et al. (2012). Growth hormone-releasing effects of whole body vibration alone or combined with squatting plus external load in severely obese female subjects. *Obes Facts. 2012;5: 567–574. pmid:22922806*
68. Sartorio A, Spada A, Morabito F, Faglia G. (1988). Different GH responsiveness to repeated GHRH administration in normal children and adults. *J Endocrinol Invest. 1988;11: 727–729. pmid:3148001*
69. Piché ME, Lapointe A, Weisnagel SJ, Corneau L, Nadeau A, Bergeron J, et al. (2008). Regional body fat distribution and metabolic profile in postmenopausal women. *Metabolism. 2008;57: 1101–1107. pmid:18640388*
70. Premaor MO, Enrsud K, Lui L, Parker RA, Cauley J, Hillier TA, et al. (2011). Risk factors for nonvertebral fracture in obese older women. *J Clin Endocrinol Metab. 2011;96: 2414–2421. pmid:21677038*
71. Rubin C, Turner AA, Mallinckrodt C, Jerome C, McLeod K, Bain S. (2002). Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone. 2002;30: 445–452. pmid:11882457*
72. Pal G, Chandrasekaran A, Haribaran A. (2012). Body mass index contributes to sympathovagal imbalance in pre- hypertensive. *BMC Cardiovasc Disord. 2012;12: 54. pmid:22812583*
73. Tadic C, Cuspidi C, Pencic B, Marjanovic T, Celic V. (2014). The association between heart rate variability and biatrial phasic function in arterial hypertension. *J Am Soc Hypertens. 2014;8: 699–708. pmid:25418491*
74. Ryan AS, Pratley RE, Elahi D, Goldberg AP. (1995). Resistive training increases fat-free mass and maintains RMR despite weight loss in postmenopausal women. *J Appl Physiol. 1995;79: 818–823. pmid:8567523*
75. Jurca R, Church TS, Morss GM, Jordan AN, Earnest CP. (2004). Eight weeks of moderate-intensity exercise training increases heart rate variability in sedentary postmenopausal women. *Am Heart J. 2004;147: e8–e15. pmid:14999210*
76. Schwedhelm E, Maas R, Freese R, Jung D, Lukacs Z, Jambrecina A, et al. (2008). Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral L-citrulline and L-arginine: Impact on nitric oxide metabolism. *Br J Clin Pharmacol. 2008;65: 51–59. pmid:17662090*
77. Vlachopoulos C, Aznaouridis K, O'Rourke MF, Safar ME, Baou K, Stefanadis C. (2010). Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with central haemodynamics: A systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J. 2010;31: 1865–1871. pmid:20197424*
78. Beck DT, Martin JS, Casey DP, Braith RW. (2013). Exercise training reduces peripheral arterial stiffness and myocardial oxygen demand in young prehypertensive subjects. *Am J Hypertens. 2013;26: 1093–1102. pmid:23736111*
79. Rossow LM, Fahs CA, Thiebaud RS, Loenneke JP, Kim D, Mouser JG, et al. (2014). Arterial stiffness and blood flow adaptations following eight weeks of resistance exercise training in young and older women. *Exp Gerontol. 2014;53: 48–56. pmid:24566193*
80. Figueroa A, Vicili F, Sanchez-Gonzalez M, Wong A, Ormsbee MJ, Hooshmand S. (2013). Effects of diet and/or low-intensity resistance exercise training on arterial stiffness, adiposity. *J Hypertens. 2013;26: 416–423.*
81. Ashor AW, Lara J, Siervo M, Celis-Morales C, Mathers JC. (2014). Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One. 2014;9: e110034. pmid:25333969*
82. Townend JN, Al-Ani M, West JN, Littler WA, Coote JH. (1995). Modulation of cardiac autonomic control in humans by angiotensin II. *Hypertension. 1995;25: 1270–1275. pmid:7768573*
83. Maloney-Hinds C, Petrofsky JS, Zimmerman G, Hessinger DA. (2009). The role of nitric oxide in skin blood flow increases due to vibration in healthy adults and adults with type 2 diabetes. *Diabetes Tecnol Ther. 2009;11: 39–43.*
84. Kelly RP, Millasseau SC, Ritter JM, Chowienczyk PJ. (2001). Vasoactive drugs influence aortic augmentation index independently

of pulse-wave velocity in healthy men. *Hypertension. 2001;37: 1429–1433. pmid:11408390*
85. Dipla K, Kousoula D, Zafeiridis A, Karatrantou K, Nikolaidis MG, Kyparos A, et al. (2016). Exaggerated haemodynamic and neural responses to involuntary contractions induced by whole-body vibration in normotensive obese versus lean women. *Exp Physiol. 2016;101: 717–730. pmid:27061448*
86. Maffiuletti NA, Jubeau M, Munzinger U, Bizzini M, Agosti F, De Col A, et al. (2007). Differences in quadriceps muscle strength and fatigue between lean and obese subjects. *Eur J Appl Physiol. 2007;101: 51–59. pmid:17476522*
87. Dillon EL, Casperson SL, Durham WJ, Randolph KM, Urban RJ, Volpi E, et al. (2011). Muscle protein metabolism responds similarly to exogenous amino acids in healthy younger and older adults during NO-induced hyperemia. *AJP Regul Integr Comp Physiol. 2011;301: R1408–R1417. pmid:21880862*
88. Yang F, King GA, Dillon L, Su X. (2015). Controlled whole-body vibration training reduces risk of falls among community-dwelling older adults. *J Biomech. 2015;48: 3206–3212. pmid:26189095*
89. Sañudo B, Carrasco L, Hoyo M, Oliva-Pascual-Vaca Á, Rodríguez-Blanco C. (2013). Changes in body balance and functional performance following whole-body vibration training in patients with fibromyalgia syndrome: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med. 2013;45: 678–684. pmid:23828124*
90. Signorile J. (2011). Whole body vibration, part one: what's shakin' now? J Act Aging. *2011;10: 46–59.*
91. Vissers D, Baeyens J-P, Truijen S, Ides K, Vercruysse C-C, Van Gaal L. (2009). The Effect of Whole Body Vibration Short-Term Exercises on Respiratory Gas Exchange in Overweight and Obese Women. *Phys Sportsmed. 2009;37: 88–94. pmid:20048532*
92. J M, Kiel DP, Rubin CT. (2013). Safety and severity of accelerations delivered from whole body vibration exercise devices to standing adults. *J Sci Med Sport. 2013;16: 526–531. pmid:23453990*
93. Nam S-S, Sunoo S, Park H-Y, Moon H-W. (2016). 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 Nutr Biochem. 2016;20: 19–27. pmid:27508150*
94. Song G-E, Kim K, Lee D-J, Joo N-S. (2011). Whole Body Vibration Effects on Body Composition in the Postmenopausal Korean Obese Women: Pilot Study. *Korean J Fam Med. 2011;32: 399. pmid:22745878*
95. van der Linde H, Hofstad CJ, Geurts ACH, Postema K, Geertzen JHB, van Limbeek J. (2004). A systematic literature review of the effect of different prosthetic components on human functioning with a lower-limb prosthesis. *J Rehabil Res Dev. 2004;41: 555–570. pmid:15558384*
96. Ives SJ, McDaniel J, Witman MAH, Richardson RS. (2013). Passive limb movement: evidence of mechanoreflex sex specificity. *AJP Hear Circ Physiol. 2013;304: H154–H161. pmid:23086995*
97. Lampert R, Ickovics J, Horwitz R, Lee F. (2005). Depressed autonomic nervous system function in African Americans and individuals of lower social class: A potential mechanism of race- and class-related disparities in health outcomes. *Am Heart J. 2005;150: 153–160. pmid:16084163*
98. Ogoh S, Fisher JP, Dawson EA, White MJ, Secher NH, Raven PB. (2005). Autonomic nervous system influence on arterial baroreflex control of heart rate during exercise in humans. *J Physiol. 2005;566: 599–611. pmid:15890708*