

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Respuesta cardiovascular y respiratoria aguda derivada de la aplicación de estímulos vibratorios de diferente magnitud

Moisés de Hoyo Lora*, Borja Sañudo Corrales y Luis Carrasco Páez

Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Recibido el 21 de junio de 2009; aceptado el 24 de julio de 2009
Disponible en Internet el 15 de enero de 2010

PALABRAS CLAVE

Vibraciones
mecánicas de cuerpo
entero;
Consumo de oxígeno;
Frecuencia cardíaca;
Tensión arterial

Resumen

Introducción: El objetivo del presente estudio es conocer la respuesta de los sistemas cardiovascular y respiratorio tras la aplicación de estímulos vibratorios de diferente magnitud, analizando la frecuencia cardíaca (FC), la tensión arterial (TA) y el consumo de oxígeno (VO₂).

Material y métodos: Los sujetos participantes en el estudio, los cuales presentaban en el momento de la realización de éste una edad media de $22 \pm 3,89$ años, una altura de $1,76 \pm 0,61$ m, una masa corporal de $75,56 \pm 8,83$ kg y un índice de masa corporal de $24,49 \pm 2,30$ kg/m², fueron distribuidos en tres grupos de forma aleatoria. Cada uno fue sometido a una sesión con estímulos vibratorios de diferente magnitud: grupo experimental 1 (GEA: 30 Hz y 4 mm), grupo experimental 2 (GEB: 26 Hz y 4 mm) y grupo experimental 3 (GEC: 20 Hz y 4 mm).

Resultados: Los resultados mostraron una respuesta semejante en los diferentes grupos conformados, no existiendo una relación directa entre la magnitud del estímulo vibratorio y la respuesta fisiológica. Por otro lado, las modificaciones experimentadas en los tres grupos fueron estadísticamente significativas en el caso del VO₂ y la FC; fue más variable la respuesta en el caso de la TA.

Conclusiones: A la vista de los datos obtenidos, se podría afirmar que la aplicación de estímulos vibratorios, utilizando parámetros habituales de entrenamiento, no es suficiente para provocar adaptaciones fisiológicas relacionadas con las variables analizadas.

© 2009 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: dehoyolora@us.es (M. de Hoyo Lora).

KEYWORDS

Whole body vibration;
Oxygen uptake;
Heart rate;
Blood pressure

Cardiovascular and respiratory response resulting from the application of vibratory stimuli with different magnitudes

Abstract

Introduction: The aim of the current study is to determine the cardiovascular and respiratory systems response after different vibratory stimuli. Heart rate (HR), blood pressure (BP) and oxygen uptake (VO_2) were analyzed during the training. Subjects ($22 \pm 3,89$ yr, height: $1,76 \pm 0,61$ m; weight: $75,56 \pm 8,83$ kg; IMC: $24,49 \pm 2,30$ kg/m²) were randomly allocated to one of three groups.

Material and methods: Each group performed a vibratory training session with different magnitude: GEA (30 Hz and 4 mm), GEB (26 Hz and 4 mm) and GEC (20 Hz and 4 mm).

Results: A similar response in all groups and a direct relationship between vibratory magnitude and physiological response wasn't established. In other hand, significant differences in VO_2 and HR were found in the three groups, being the response regarding BP more variable.

Conclusions: It may be concluded that the use of vibratory stimuli with in standard training parameters is not enough to induce physiological adaptations in relation to the variables analyzed.

© 2009 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El campo científico con mayor tradición en el estudio de las vibraciones mecánicas y sus efectos sobre el organismo es el de la ergonomía. Sus investigaciones han pretendido el estudio de los efectos adversos derivados de la exposición prolongada a las vibraciones en el ámbito del trabajo. Sin embargo, los primeros estudios sobre los posibles efectos positivos de la estimulación vibratoria sobre el organismo se llevaron a cabo en el deporte, con unas características radicalmente diferentes en cuanto a la frecuencia, a la amplitud y al tiempo de aplicación. De esta forma, han proliferado multitud de trabajos que muestran, fundamentalmente, los efectos beneficiosos de las vibraciones mecánicas sobre el rendimiento neroumuscular en diferentes muestras¹⁻⁶. El mecanismo por el cual las vibraciones mecánicas de cuerpo entero producen esta respuesta neuromuscular todavía no se ha aclarado, si bien se ha propuesto que implica a los reflejos monosinápticos, que son inducidos por el continuo estiramiento-acortamiento producido en los músculos que actúan sobre las articulaciones en las que la vibración es absorbida⁷.

Hoy en día, el entrenamiento vibratorio despierta gran interés en el campo de la fisiología y la medicina del deporte, realizándose cada vez más investigaciones y trabajos de revisión con el fin de describir rigurosamente esta forma de ejercicio⁸⁻¹².

Más recientemente, su uso se ha extendido al campo clínico, de forma que personas mayores^{13,14}, enfermos coronarios¹⁵, lesionados medulares¹⁶, sujetos expuestos a prolongados períodos de reposo total en cama^{17,18} e incluso pacientes con lumbalgias crónicas¹⁹ se han beneficiado del tratamiento mediante vibraciones. Se ha pasado, pues, a investigar los efectos potenciales en otras áreas que atañen a la salud y la calidad de vida. Aunque las vibraciones mecánicas se han aplicado en los entrenamientos, en general de atletas, se pretende indagar si existe un

beneficio con un alcance más generalizado como puede ser el bienestar del día a día²⁰.

En lo referente a la respuesta del sistema cardiovascular, los primeros estudios que pretendían analizar los efectos derivados de la aplicación de vibraciones se realizaron desde el punto de vista de la medicina del trabajo. En estos trabajos se estudiaron a distintos individuos que presentaban desórdenes vasoespásticos en los dedos²⁰. Desde la perspectiva del entrenamiento y de la rehabilitación, uno de los primeros estudios realizados fue el de Kersch-Schindl et al²¹, quienes analizaron el volumen sanguíneo muscular del gastrocnemio y cuádriceps femoral, el flujo sanguíneo de la arteria poplítea, la tensión arterial (TA) y la frecuencia cardíaca (FC). Después del ejercicio, los dos primeros parámetros aumentaron significativamente, mientras que los otros dos no experimentaron modificaciones significativas. Son también relevantes los estudios realizados por Rittweger et al²²⁻²⁴, quienes han analizado, entre otros parámetros, el consumo de oxígeno (VO_2), la FC, la TA y la concentración de lactato en sangre. Atendiendo a los resultados derivados de dichos estudios, los autores concluyeron que el entrenamiento con vibraciones mejora de manera sustancial la potencia metabólica y, por ende, la actividad muscular. Se ha demostrado que la actividad electromiográfica aumenta durante la aplicación de vibraciones mecánicas de cuerpo entero^{1,25} y que puede provocar una actividad muscular suficiente para incrementar el trabajo muscular de todo el organismo, manifestándose una mayor absorción de oxígeno²³. Igualmente, se ha observado un aumento lineal en el VO_2 con el incremento de la frecuencia de vibración²⁴. Estudios más recientes, como los realizados por Cochrane et al⁶, vienen también a corroborar esta hipótesis, mostrando aumentos significativos de dicho parámetro tanto en ancianos como en jóvenes.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que gran parte de estas investigaciones se han llevado a cabo mediante entrenamientos vibratorios de una magnitud que según la

normativa ISO 2631-1²⁶ puede considerarse excesiva, generando efectos adversos sobre la salud²⁷. En este sentido, la bibliografía recomienda exposiciones continuadas de no más de 60–90 s²⁸. A pesar de estas recomendaciones no se ha definido con exactitud el tipo de estímulo más apropiado para conseguir adaptaciones positivas desde el punto de vista fisiológico y funcional. Además, sigue sin definirse con rotundidad la respuesta del sistema cardiovascular, así como su cinemática a lo largo de toda la exposición al estímulo vibratorio. Este aspecto es de vital importancia ya que permitiría fundamentar el uso de este tipo de dispositivos para conseguir adaptaciones en dicho sistema. Por todo esto, el objetivo del presente trabajo es definir la respuesta cardiovascular, así como la evolución de sus principales parámetros (el VO₂, la FC y la TA), a lo largo de tres protocolos de estimulación vibratoria de corta duración y de frecuencia variable.

Material y métodos

Muestra

En el presente estudio han participado un total de 30 varones activos, todos ellos estudiantes universitarios. En el momento del estudio los sujetos presentaban una edad (media \pm desviación típica [DT]) de 22,00 \pm 3,89 años, una altura de 1,76 \pm 0,61 m, una masa corporal de 75,56 \pm 8,83 kg y un índice de masa corporal de 24,49 \pm 2,30 kg/m² (tabla 1). A su vez, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos del mismo tamaño. En cualquier caso, los criterios de exclusión fueron presencia de enfermedades cardiovasculares, respiratorias, abdominales, urinarias, neurológicas, musculoesqueléticas o crónicas, así como presencia de prótesis o toma de medicamentos que podrían afectar al sistema musculoesquelético. Todos los participantes dieron su consentimiento informado por escrito antes de iniciarse el estudio, su protocolo fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad de Sevilla.

Procedimiento

Protocolo de vibración

Todos los sujetos fueron sometidos a 5 series de 1 min de duración con igual tiempo de recuperación entre series (1 min). Para cada grupo se utilizaron unos parámetros vibratorios diferentes, así en el grupo experimental 1 (GEA) la frecuencia fue de 30 Hz y la amplitud de 4 mm, para el

grupo experimental 2 (GEB) la frecuencia fue de 26 Hz y la amplitud de 4 mm y, por último, para el grupo experimental 3 (GEC) la frecuencia fue de 20 Hz y la amplitud de 4 mm. Los participantes se situaron en bipedestación sobre una plataforma vibratoria Galileo Fitness[®] (Novotec, Alemania), manteniéndose un ángulo de flexión de rodillas de 110° durante toda la prueba.

Consumo de oxígeno

Al inicio de la intervención se estableció el nivel de referencia basal del VO₂. Éste fue analizado previamente a la prueba durante 3 min mientras el sujeto estaba sentado, tomándose como referencia el valor medio. Para obtener los valores de dicho parámetro se utilizó un analizador de gases portátil VO200 Medgraphics[®] (Medical Graphics, Estados Unidos). Durante la prueba los valores fueron registrados de forma continua, empleando un sistema de medición Breath by Breath, a partir del cual se obtuvo el registro del VO₂ en términos relativos, eliminándose los registros correspondientes al período de recuperación entre series y tomándose los valores en función de la masa corporal (ml · kg⁻¹ · min⁻¹).

Tensión arterial y frecuencia cardíaca

Para el análisis de la TA sistólica (TAS) y diastólica (TAD) y la FC se utilizó un tensiómetro Omron[®] (MX2, Japón), con un sistema de medición oscilométrico, con un rango de 30–280 mmHg y de 40–200 lat · min⁻¹. El dispositivo se colocó en el brazo derecho, situándolo sobre un apoyo, con una angulación de 90° del codo, con el sujeto en sedestación. Los valores se registraron en reposo, después de permanecer 5 min sentado y relajado y justamente después de finalizar el estímulo vibratorio en cada una de las series realizadas.

Análisis estadístico

Las medidas obtenidas fueron volcadas en una base de datos y luego analizadas empleando el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows. Para todos los datos se computaron los siguientes estadísticos: media aritmética y DT. Como prueba de normalidad se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para realizar un contraste de medias se emplearon las pruebas de ANOVA para las muestras independientes (intergrupo) y el test de la t de Student para las muestras pareadas (intragrupo). El nivel de significación establecido fue de 0,05.

Tabla 1 Datos descriptivos de la muestra

Grupo	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (m)	IMC (kg/m ²)
GEA	22,90 \pm 5,06	72,39 \pm 9,46	1,73 \pm 0,57	24,03 \pm 2,63
GEB	22,00 \pm 3,38	76,83 \pm 10,01	1,76 \pm 0,67	24,72 \pm 2,46
GEC	23,20 \pm 3,39	77,20 \pm 6,31	1,77 \pm 0,57	24,65 \pm 1,89
Total	22,00 \pm 3,89	75,56 \pm 8,83	1,76 \pm 0,61	24,49 \pm 2,30

GEA: grupo experimental 1; GEB: grupo experimental 2; GEC: grupo experimental 3; IMC: índice de masa corporal. Datos presentados como valores medios \pm desviación típica.

Resultados

A continuación mostramos los resultados más relevantes obtenidos en el presente estudio. En primer lugar, hay que indicar que tras la distribución aleatoria de los tres grupos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables descriptivas medidas y parámetros cardiovasculares y respiratorios al inicio del estudio (tablas 1-3).

En relación con el postest realizado, no se encontraron diferencias significativas en las variables VO_2 y FC entre los diferentes grupos experimentales (tabla 2 y figs. 3 y 4). Respecto a la TA, los datos también mostraron, tanto para la TAS como para la TAD, una ausencia de diferencias significativas al realizar la comparación intergrupo (tabla 3 y figs. 1 y 2).

Por su parte, la comparación intragrupo del VO_2 mostró, para los tres grupos conformados, diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) al comparar los valores obtenidos tras las cinco series realizadas con la situación pretest. Si tenemos en cuenta la variación máxima alcanzada, podemos observar que para los GEB y GEC ésta se obtuvo en la quinta serie (GEB= $+6,73 \pm 1,47$ ml · kg⁻¹ · min⁻¹; GEC= $+5,84 \pm 3,02$ ml · kg⁻¹ · min⁻¹), mientras que para el GEA ésta se alcanzó en la segunda serie realizada (GEA= $+5,37 \pm 4,08$ ml · kg⁻¹ · min⁻¹) (tabla 2 y fig. 3).

En el caso de la FC, dicha comparación intragrupo mostró, en los tres grupos analizados, diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para las cinco series realizadas. En relación con el pretest, el incremento experimentado fue mayor para el GEA en la cuarta serie (GEA: $+41,14 \pm 16,90$ lat · min⁻¹), mientras que para los GEB y GEC se obtuvo en la quinta serie (GEB: $+38,20 \pm 23,06$ lat · min⁻¹; GEC: $+44,66 \pm 13,19$ lat · min⁻¹) (tabla 2 y fig. 4).

Para la TA, el análisis intragrupo supuso en el GEA diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), en el caso de la TAS, en las cinco series, experimentando la mayor variación en la segunda (GEA: $+16,89 \pm 10,48$ mmHg) (tabla 3 y fig. 1); mientras que en el caso de la TAD, las diferencias estadísticamente significativas se obtuvieron en las series 1, 2 y 4 ($p < 0,05$), obteniéndose la mayor variación en la primera (GEA: $+9,33 \pm 7,43$ mmHg). En el GEB no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las series, si bien, es cierto que la mayor variación se obtuvo en la serie 2 para la TAS (GEB: $+11,90 \pm 19,62$ mmHg) y en la serie 1 en la TAD (GEB: $+6,30 \pm 13,49$ mmHg). En el caso del GEC no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la TAS en ninguna de las series realizadas, pero sí para la TAD en las series 1 y 2, obteniéndose la mayor variación en la primera (GEC: $+18,17 \pm 17,03$ mmHg) (tabla 3 y fig. 2).

Discusión

Los principales objetivos de este estudio han sido, por un lado, investigar la relación existente entre la frecuencia de vibración y la respuesta fisiológica asociada y, por otro, analizar la cinemática de las variables cardiorrespiratorias asociadas, a lo largo de una carga básica de entrenamiento vibratorio. En términos cuantitativos, los resultados han

Tabla 2 Valores relativos al consumo de oxígeno y a la frecuencia cardíaca en los tres grupos conformados

Grupo	VO ₂ pre	VO ₂ 1	VO ₂ 2	VO ₂ 3	VO ₂ 4	VO ₂ 5	FC pre	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5
GEA	4,91 ± 2,13	8,83 ± 1,63**	10,29 ± 4,90*	9,62 ± 9,17**	9,68 ± 3,58**	8,70 ± 2,52**	68,85 ± 14,33	93,14 ± 18,79***	101,57 ± 25,24***	103,86 ± 17,53***	110,00 ± 18,52***	108,29 ± 17,91***
GEB	4,04 ± 1,78	10,11 ± 1,98***	10,39 ± 3,40**	9,49 ± 2,96**	9,31 ± 2,40**	10,77 ± 2,84***	67,50 ± 10,39	91,60 ± 21,79**	97,70 ± 21,12**	100,60 ± 22,22**	104,70 ± 26,85***	105,70 ± 27,99***
GEC	4,41 ± 3,24	9,38 ± 3,80**	9,84 ± 4,86**	9,17 ± 3,54***	9,74 ± 3,88**	10,26 ± 5,87**	65,17 ± 8,75	91,83 ± 12,19**	95,83 ± 18,54**	97,67 ± 22,46**	106,67 ± 18,90**	109,83 ± 17,52***

FC: frecuencia cardíaca; GEA: grupo experimental 1; GEB: grupo experimental 2; GEC: grupo experimental 3; VO₂: consumo de oxígeno. Datos presentados como valores medios ± desviación típica. VO₂ (ml · kg⁻¹ · min⁻¹) y FC (latidos · min⁻¹) medidos en la situación pretest (VO₂ pre y FC pre) y tras las cinco series realizadas (1, 2, 3, 4 y 5).
 * p < 0,05.
 ** p < 0,01.
 *** p < 0,001 para comparación intragrupo.

Tabla 3 Valores relativos a la tensión arterial sistólica y a la tensión arterial diastólica en los tres grupos conformados

Grupo	TAS pre	TAS1	TAS2	TAS3	TAS4	TAS5	TAD pre	TAD1	TAD2	TAD3	TAD4	TAD5
GEA	130,33 ± 14,37	146,66 ± 20,71**	147,22 ± 17,70***	146,33 ± 21,55***	143,66 ± 22,30*	139,00 ± 26,80	81,33 ± 9,86	90,66 ± 8,38**	89,88 ± 9,26*	86,88 ± 9,66	87,00 ± 9,55*	85,77 ± 14,66
GEB	134,90 ± 12,53	142,30 ± 22,26	146,80 ± 24,29	138,50 ± 29,22	137,10 ± 24,81	136,50 ± 28,83	82,30 ± 8,60	88,60 ± 15,94	85,20 ± 13,39	80,90 ± 19,46	78,40 ± 16,74	74,60 ± 18,52
GEC	131,50 ± 10,29	133,33 ± 33,54	135,83 ± 10,79	136,50 ± 10,96	131,83 ± 13,70	130,16 ± 15,27	77,83 ± 3,97	96,00 ± 13,95*	87,83 ± 7,96*	86,33 ± 9,91	83,00 ± 13,74	78,16 ± 13,02

Datos presentados como valores medios ± desviación típica. TAS (mmHg) y TAD (mmHg) medidas en la situación pretest (TAS pre y TAD pre) y tras las cinco series realizadas (1, 2, 3, 4 y 5). GEA: grupo experimental 1; GEB: grupo experimental 2; GEC: grupo experimental 3; TAD: tensión arterial diastólica; TAS: tensión arterial sistólica.

* p < 0,05.
 ** p < 0,01.
 *** p < 0,001 para comparación intragrupo.

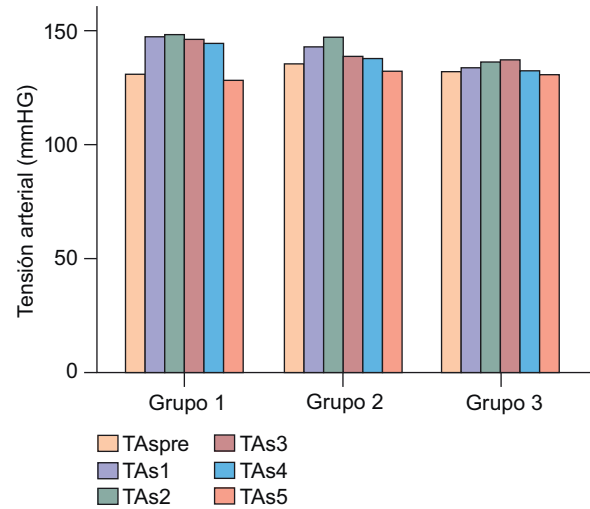


Figura 1 Representación gráfica de la tensión arterial sistólica en los tres grupos conformados y series realizadas.

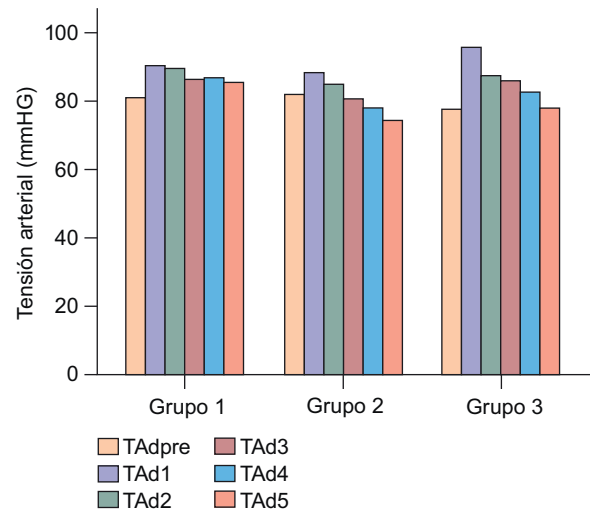


Figura 2 Representación gráfica de la tensión arterial diastólica en los tres grupos conformados y series realizadas.

mostrado cómo la frecuencia de vibración utilizada no supone un estrés diferente cuando trabajamos con frecuencias recomendadas para el entrenamiento. Es cierto que se han observado diferencias al realizar la comparación intergrupo, si bien, en ningún caso éstas se han podido considerar estadísticamente significativas. Atendiendo a estos resultados, se podría indicar que cuando se trabaja con protocolos habituales de entrenamiento con vibraciones mecánicas, los parámetros utilizados no suponen un estrés diferente para los sistemas cardiovascular y respiratorio.

Por su parte, el VO₂ presentó un patrón irregular en cada una de las series realizadas, sin que parezca existir una incidencia directa de la frecuencia de vibración ni del tiempo de exposición sobre dicho parámetro. Sin embargo, autores como Rittweger et al²⁴ sí encontraron una relación directa con la frecuencia de vibración al someter a sujetos de una muestra similar a la del presente estudio a entrenamiento vibratorio. En este caso hay que tener en

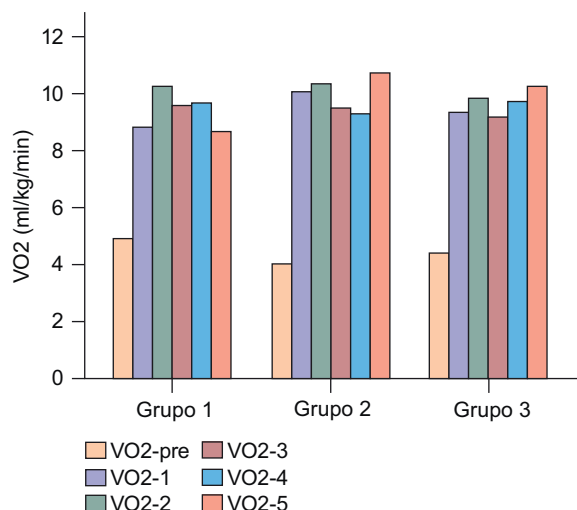


Figura 3 Representación gráfica del consumo de oxígeno en los tres grupos conformados y series realizadas.

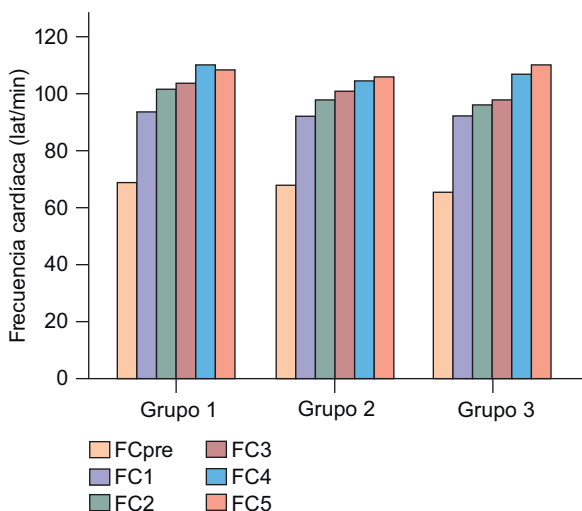


Figura 4 Representación gráfica de la frecuencia cardíaca en los tres grupos conformados y series realizadas.

cuenta que una duración de exposición tan elevada no se suele recomendar, debido a la fatiga muscular que puede suponer una respuesta muscular ineficaz, utilizándose exposiciones que varían entre los 30 y los 90 s²⁸.

Por otro lado, la respuesta experimentada por el VO_2 supone unos valores máximos que rondan los $10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, siendo variación media experimentada de unos $5\text{--}6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ al compararlo con la situación de pretest. Si tenemos en cuenta estudios previos, como el realizado por Rittweger et al²⁴, donde se utilizaron frecuencias de 18, 26 y 34 Hz y una amplitud fija de 5 mm, la variación media experimentada osciló entre los $3\text{--}5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($5,72 \text{ ml}$ con 18 Hz; $6,41 \text{ ml}$ con 26 Hz y $7,76 \text{ ml/min/kg}$ con 34 Hz), guardando una relación exponencial con la frecuencia de vibración. Esta menor respuesta se puede deber a la posición adoptada sobre la plataforma, ésta es de 170° , mientras que en nuestro caso, al ser de 110° , puede suponer un mayor estrés sobre este sistema. Si

bien es cierto, este mismo grupo de autores sí observaron un mayor incremento de este parámetro en un estudio previo²³, siendo los resultados obtenidos similares a los nuestros ($10,2 \pm 1,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

En esta misma línea, Cochrane et al⁶ utilizaron en su estudio un dispositivo que regulaba la frecuencia de vibración entre 0 y 60 Hz y la amplitud entre 0,5 y 1 mm, estando el sujeto en posición horizontal. Los sujetos participantes tuvieron que movilizar su propio cuerpo y dos cargas, una del 20% y otra del 40% del peso corporal durante los 4 min que duró cada una de las tres exposiciones. En un estudio piloto previo de este mismo grupo de autores, la respuesta electromiográfica máxima se obtuvo con una frecuencia de 30 Hz y una amplitud de 1 mm, por lo que se utilizaron estos parámetros para analizar la respuesta del VO_2 . Los resultados mostraron, para la muestra con características similares a la nuestra, un incremento del 19,7% cuando movilizaron el propio cuerpo ($5,8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), del 26,7% cuando movilizaron el 20% de su propio peso ($7,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) y del 62,9% cuando la carga era del 40% del peso corporal ($10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). En este sentido, los autores indican que esta menor variación obtenida, en comparación con estudios previos, se puede deber a las diferencias en el dispositivo utilizado, ya que la vibración se produjo en un eje horizontal, mientras que habitualmente se utiliza un eje vertical⁶.

De cualquier forma, estos resultados relacionados con el VO_2 permiten igualar la respuesta obtenida con la que se experimenta al realizar una caminata de intensidad moderada^{23,24}, la cual puede rondar los 4 km/h ^{29,30}. Si tenemos en cuenta que el $VO_{2\text{máx}}$ medio de una persona joven (20–29 años) se sitúa en torno a $44,2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (percentil 50)³¹, podemos observar cómo en nuestro estudio los sujetos trabajaron de forma teórica alrededor del 23% del $VO_{2\text{máx}}$, valores por debajo del 40%, que se supone como límite para conseguir adaptaciones fisiológicas³².

En el caso de la FC, podemos observar una respuesta ascendente en cada una de las series realizadas. Dicha variación es mayor en el grupo que fue sometido a una frecuencia de vibración más elevada (GEA). Igualmente, podemos observar cómo la recuperación de 1 min, la cual es considerada como óptima para buscar una adaptación neuromuscular²⁸, no fue suficiente para conseguir una recuperación completa del sistema cardiovascular, lo cual ya fue indicado con anterioridad por Mester et al³³. Un incremento similar obtuvieron Da Silva et al²⁹, al realizar, con una frecuencia de 30 Hz y una amplitud de 4 mm, dos tipos de ejercicios sobre la plataforma, $1/2 \text{ squat}$ sin carga y $1/2 \text{ squat}$ con una carga equivalente a 10 repeticiones máximas (RM), no encontrando diferencias significativas en función del ejercicio. Sin embargo, la recuperación fue de 2 min y fue también insuficiente para conseguir un restablecimiento de la FC basal. Similares resultados también encontraron Martínez et al³⁴, quienes tras dos bloques de 5 min de duración, con una frecuencia de 26 Hz y una amplitud de 4 mm, hallaron aumentos significativos en la FC basal, aunque, en este caso, la recuperación fue de 3 min. En la misma línea también se muestran los resultados de Yamada et al³⁵, quienes tras evaluar un ejercicio de sentadilla con vibraciones, utilizando una frecuencia de 15 Hz y una amplitud de 2,5 mm, y sin ellas, reflejaron incrementos significativos en la FC en aquellos sujetos

expuestos a dichas vibraciones. Sin embargo, en el estudio de Hazzel et al³⁶ en el que sometieron a los sujetos participantes en el que sometieron a los sujetos participantes en el mismo a 15 series de 1 min con igual tiempo de recuperación, aplicando una frecuencia de 45 Hz y una amplitud de 2 mm, la FC sólo experimentó un ligero incremento que no alcanzó significación estadística.

En relación con la TA, podemos observar cómo únicamente el patrón de la TAS ha presentado una mayor respuesta a medida que se incrementaba la magnitud de la vibración, lo cual no ocurrió con la TAD. Si analizamos más detenidamente esta respuesta asociada, se puede apreciar que tanto la TAS como la TAD aumentaron notablemente durante las primeras series para posteriormente descender progresivamente hasta niveles similares e incluso por debajo de los de reposo tras la última serie. Parece que este descenso progresivo puede deberse a la apertura de más capilares o a la dilatación de algunos vasos, o tal vez a ambas situaciones, una vez que se produce la adaptación al ejercicio³⁴. Similares resultados encontraron Martínez et al³⁴, quienes en su estudio observaron un incremento significativo en la TAS, mientras que la TAD sólo se incrementó de forma significativa tras la primera serie. Sin embargo, una respuesta muy diferente se ha podido observar en otros estudios, como el realizado por Hazzel et al³⁶, en el que la TA media experimentó un leve incremento respecto a la basal que se mantuvo durante toda la exposición; el desarrollado por Kerschand Schindl et al²¹, en el que se registró un leve aumento tanto de la TAS como de la TAD (no significativo) al finalizar el entrenamiento vibratorio, y el efectuado por Yamada et al³⁵, quienes no encontraron cambios significativos en la TAS y en la TAD al realizar un mismo ejercicio de sentadilla con vibración y sin ella.

Considerando todo lo anterior, se puede concluir que los estímulos vibratorios aplicados en la presente investigación provocan una clara respuesta de los sistemas cardiovascular y respiratorio. Además, y a pesar de las diferentes frecuencias utilizadas, la dinámica o evolución del VO₂, la FC y la TA a lo largo del entrenamiento vibratorio fue muy similar, si bien dicha respuesta no parece ser suficiente para producir adaptaciones positivas en estos sistemas, por lo que este tipo de entrenamiento no debería considerarse un medio óptimo para alcanzar adaptaciones cardiorrespiratorias.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Cardinale M, Lim J. The acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance. *Med Sports*. 2003;56:287-92.
- Cochrane DJ, Stannard SR. Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players. *Br J Sports Med*. 2005;39:860-5.
- Cormie P, Russell S, Deane N, Triplett T, McBride JM. Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength and power. *J Strength Cond Res*. 2006;20:257-61.
- Annino G, Padua E, Castagna C, Di Salvo V, Minichella S, Tsarpela O, et al. Effect of whole body vibration training on lower limb performance in selected high-level ballet students. *J Strength Cond Res*. 2007;24:1072-6.
- Fagnani F, Giombini A, Di Cesare A, Pigozzi F, Di Salvo V. The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *Am J Phys Med Rehabil*. 2006;85:956-62.
- Cochrane DJ, Sartor F, Winwood K, Stannard SR, Narici MV, Rittweger J. A comparison of the physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89:815-21.
- Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2003;23:81-6.
- Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sports Sci Rev*. 2003;31:3-7.
- Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: Are vibrations good for you? *Br J Sports Med*. 2005;39:585-9.
- Nordlund MM, Thorstensson A. Strength training effects of whole-body vibration? *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17:12-27.
- Rehn B, Lidstrom J, Skoglund J, Lindstrom B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17:2-11.
- Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, Belli A, Vico L. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: What we know and what we need to know. *Ageing Res Rev*. 2008;7:319-29.
- 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;19:352-9.
- Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, et al. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve healthrelated quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86:303-7.
- Van Nes IJ, Geurts AC, Hendricks HT, Duysens J. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: Preliminary evidence. *Am J Phys Med Rehabil*. 2004;83:867-73.
- Gianutsos JG, Ahn JH, Oakes LC, Richter III EF, Grynbaum BB, Thistle HG. The effects of whole body vibration on reflex-induced standing in persons with chronic and acute spinal cord injury [resumen]. Presentado en el 3rd Mediterranean Congress of Physical Medicine and Rehabilitation. 2000 Sep 4-7; Atenas, Grecia.
- Bleeker MW, De Groot PC, Rongen GA, Rittweger J, Felsenberg D, Smits P, et al. Vascular adaptation to deconditioning and the effect of an exercise countermeasure: Results of the Berlin Bed Rest study. *J Appl Physiol*. 2005;99:1293-300.
- Blotner D, Salanova M, Puttmann B, Schiffel G, Felsenberg D, Buehring B, et al. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *Eur J Appl Physiol*. 2006;91:261-71.
- Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, Felsenberg D. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise. *Spine*. 2002;27:1829-34.
- Da Silva ME, Vaamonde DM, Padullés JM. Entrenamiento con vibraciones mecánicas y salud: efectos sobre los sistemas óseo, endocrino y cardiovascular. *Apunts*. 2006;84:48-57.
- Kerschand-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, et al. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Phys*. 2001;21:377-82.

22. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol*. 2000;20:134–42.
23. Rittweger J, Hans S, Felsenberg D. Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: Comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol*. 2001;86:169–173.
24. Rittweger J, Ehrig J, Just K, Mutschelknauss M, Kirsch KA, Felsenberg D. Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: Influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med*. 2002;23:428–32.
25. Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexors muscles. *Eur J Appl Physiol*. 1999;79:306–11.
26. International Organization for Standardization. ISO 2631-1:1997, Mechanical Vibration and Shock—Evaluation of Human Exposure to Whole-Body vibration, Part 1, General Requirements. Suiza: International Organization for Standardization; 1997.
27. Abercromby AFJ, Amonette WE, Layne CS, Mcfarlin BK, Hinman MR, Paloski WH. Vibration Exposure and Biodynamic Responses during Whole-Body Vibration Training. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:1794–800.
28. García-Artero E, Ortega FB, Ruiz JR, Carreño F. Entrenamiento vibratorio. Base fisiológica y efectos funcionales. *Selección*. 2006;15:78–86.
29. Da Silva M, Fernández JM, Castillo E, Nuñez VM, Vaamonde DM, Poblador MS, et al. Influence of vibration training on energy expenditure in active men. *J Strength Cond Res*. 2007;21:470–5.
30. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology energy, nutrition, and human performance, 5 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
31. American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 7 ed, Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
32. Evans WJ. Exercise training guidelines for the elderly. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31:12–7.
33. Mester J, Spitzenfell P, Schwarzer J, Seifriz FJ. Biological reaction to vibration-implications for sport. *J Sci Med Sport*. 1999;2:211–26.
34. Martínez E, Alcaraz P, Mesa F, Carrasco L. Efecto de un entrenamiento vibratorio sobre la cinemática de la glucosa, presión arterial y dinamometría manual. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2008;35:271–8.
35. Yamada E, Takashi K, Miyamoto K, Tanaka S, Morita S, Tanak S, et al. Vastus lateralis oxygenation and blood volume measuref by near-infrared spectroscopy during whole body vibration. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2005;25:203–8.
36. Hazell TJ, Thomas G, De Guire J, Lemon P. Vertical whole-body vibration does not increase cardiovascular stress to static semi-squat exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2008;104:903–8.