

Efectes aguts de les vibracions mecàniques sobre el salt vertical

ESMERALDO MARTÍNEZ PARDO*

Licenciat en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.

Licenciat en Psicopedagogia.

Mestre Especialista en Educació Física.

I.E.S. Cabo de la Huerta (Alicante)

LUIS CARRASCO PÁEZ

Doctor en Educació Física.

Departament d'Expressió Musical, Plàstica i Corporal.

Universidad de Zaragoza

PEDRO EMILIO ALCARAZ RAMÓN

Licenciat en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.

Departament de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.

Universidad Católica de Murcia

ANTONIO BRUNET GÓMEZ

Licenciat en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.

Assessoria Tecnicoesportiva A. Brunet

CAROLINA NADAL SOLER

Diplomada en Fisioteràpia.

Universidad Católica San Antonio de Murcia

Correspondència amb autors/es

* aldogori@hotmail.com

Resum

L'objectiu d'aquest estudi va ser determinar l'efecte agut d'una exposició a vibracions mecàniques sobre la força desenvolupada en un salt vertical. Un total de 15 subjectes sans i actius (11 homes i 4 dones) es van sotmetre a 60 s d'estimulació sobre una plataforma vibratòria que va induir oscil·lacions verticals (freqüència: 50 Hz; amplitud: 2 mm). Abans del període d'estimulació vibratòria i 30 s i 2 min. després d'aquest, els subjectes van realitzar un salt vertical (*squat jump*) sobre una plataforma de contactes, a partir de la qual es va registrar el temps de vol (t_v) i l'altura (h) de cada salt. Els resultats obtinguts mostren un efecte positiu de l'estímul vibratori sobre la força desenvolupada en el salt vertical realitzat 2 min. després de la vibració, perquè tant t_v com h van augmentar significativament respecte als valors obtinguts en el primer salt. Es pot concloure, doncs, que una estimulació de 60 s sobre plataforma vibratòria, combinant altes freqüències i baixes amplituds en l'oscil·lació, genera un efecte residual positiu en la capacitat de salt vertical.

Paraules clau

Plataforma vibratòria, Salt vertical, Potència muscular.

Abstract

Acute residual effects of mechanic vibrations on vertical jump

The aim of this study was to determine the acute effect of a mechanical vibrations exposure on power during vertical jump. A total of 15 active and healthy subjects (11 males and 4 females) were exposed to a 60 s period of stimulation on a vibratory platform that induced vertical oscillations (frequency: 50 Hz; amplitude: 2 mm). Subjects were asked to perform three vertical jumps (before vibratory stimulation and 30 s and 2 min. after this period) on a resistive platform where the flight time (t_v) and height (h) of each single jump were recorded. The results show a positive effect of vibratory stimulus on power during vertical jump performed 2 min. after vibratory stimulation period, since t_v and h were significantly higher than those registered in the first jump. It can be concluded that 60 s of whole body stimulation on a vibratory platform based on high-frequency and low-amplitude oscillations generate a positive residual effect on vertical jump.

Key words

Vibratory platform, Vertical jump, Muscular power.

Introducció

La realització d'exercicis sota l'acció d'estimulacions vibratòries, són un nou mètode d'entrenament neuromuscular que s'aplica tant en atletes com en teràpies per a prevenir l'osteoporosi (Rittweger, Beller, Felsenberg, 2000; Verschueren i cols., 2004). Els impactes mecànics als quals se sotmet el sistema esquelètic, els canvis de pressió a nivell dels vasos sanguinis que irriguen el mateix os i les forces axials que exerceix, sobre l'os, la musculatura quan s'activa, semblen ser factors clau en els processos d'adaptació òssia (Martínez, Carrasco, Alacid, 2005). En aquest sentit, estudis recents han suggerit que, estímuls mecànics (vibracions) d'alta freqüència i baixa magnitud poden exercir un efecte positiu sobre la morfologia òssia, beneficiant-ne la quantitat i la qualitat (Rubin, Xu, Judex, 2001; Rubin, Sommerfeldt, Judex, Qin, 2001). De la mateixa manera, el gran interès per realitzar investigacions que previnguin les fractures a causa de l'osteoporosi, el trobem en el camp de l'esport a través de la millora muscular a partir d'estímuls vibratoris (Cardinale, Lim, 2003; Torvinen i cols., 2002b). Ja des de fa algun temps, hom ha observat que les vibracions que incideixen en músculs i tendons provoquen una millora en les seves funcions (Torvinen, 2003). Aquestes vibracions, poden aplicar-se de forma directa sobre la musculatura implicada, o indirectament sobre el múscul que es pretén d'entrenar; en tots dos casos es produeix una estimulació muscular (Luo, McNamara, Moran, 2005). Aquests efectes, seran determinats per l'oscil·lació mecànica de la vibració, que queda definida per la freqüència (cicles per unitat de temps, mesurada en Hz), l'amplitud (meitat de la diferència entre el màxim i el mínim valor de l'oscil·lació periòdica, mesurada en mm), la magnitud o acceleració (paràmetre derivat de la freqüència i amplitud, expressada en múltiples de la força g o força gravitatòria) i la durada de l'exposició a la vibració (Luo i cols., 2005). La combinació d'aquestes variables en la seva aplicació sobre la musculatura ha provocat diferents efectes. Així, hom ha observat que, després d'un període de 6 mesos entrenant amb vibracions sinusoidals (35-40 Hz, 2,28-5,09 g), un grup de dones va millorar significativament la força muscular isomètrica i dinàmica (Verschueren i cols., 2004). Igualment, després de 12 setmanes, en comparar l'entrenament desenvolupat per tres grups; un d'ells que utilitzava resistències, un altre que s'entrenava amb plataforma vibratòria (35 Hz a 40 Hz) i, finalment, un grup control, es

va poder observar un augment significatiu de la força desenvolupada en el salt amb contramoviment (CMJ) en el grup que va entrenar amb vibració (Delecluse, Roelants, Verschueren, 2003). Uns resultats semblants trobem en un altre estudi, on es mostra un augment significatiu (8,5 %) en l'altura del salt en adults sans després de quatre mesos exposats a estimulacions mecàniques. Aquest augment, que va aparèixer als dos mesos d'entrenament, no es va veure reflectit al final dels quatre mesos d'intervenció, car l'altura del salt es va mostrar sensiblement afectada (Torvinen i cols., 2002a). Els efectes positius es repeteixen, tot i que l'estudi es realitza en un període de 10 dies, en els quals un grup de subjectes sotmès a vibracions de 26 Hz (amplitud: 10 mm; acceleració: 5,4 g), va aconseguir una millora significativa ($p < 0,05$) en l'altura assolida en efectuar el CMJ i en la força màxima mecànica en una sèrie de salts continus (CJ) durant 5 s ($p < 0,01$) (Bosco i cols., 1998).

Alguns autors han arribat a establir equivalències entre l'entrenament de vibració i l'entrenament amb sobrecàrregues. D'aquesta forma, s'ha postulat que un entrenament de vibració de 100 min, ve a ser sinònim de realitzar 200 *drop jumps* (DJ) amb una altura de caiguda de 60 cm, dues vegades per setmana durant 12 mesos (Bosco i cols., 1998). Tots aquests efectes positius es repeteixen si la finalitat de l'entrenament és valorar els efectes aguts de les vibracions en una única sessió de 5 sèries atès que, aplicades a baixa freqüència (20 Hz), mostren un augment significatiu en la flexibilitat del tendó de la sofraja (+ 13,5 %) i en el SJ (+ 3,9 %) (Cardinale i cols., 2003). Fins i tot, davant valoracions dels membres superiors, com va ser el cas de 12 boxadors que van sotmetre un dels braços a vibracions mecàniques (freqüència: 30 Hz; amplitud: 6 mm; acceleració: $34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), al llarg de cinc sèries de 60 s, va aparèixer una millora estadísticament significativa ($p < 0,001$) en la força mecànica d'aquest braç, i no van mostrar canvis en la força mesurada en el braç que va servir de control (Bosco, Cardinale, Tsarpela, 1999). Aquest aspecte torna a aparèixer en mesurar la força explosiva en un rull de bíceps realitzat en posició d'assegut, on es va administrar una vibració de 44 Hz i una acceleració de $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ transmès a través del cable d'uns agafadors; s'atribueix a l'estimulació vibratòria un augment de la força explosiva de 30,1 i 29,8 W (10,4 % i 10,2 %, respectivament) per a la potència màxima i la potència mitjana, respectivament, en un grup d'elit, i de 20,0 i

25,9 W (7,9 % i 10,7 %, respectivament) en un grup amateur (Issurin, Tenenbaum, 1999).

D'aquesta forma, diferents estudis que valoren la influència de les vibracions, exposen resultats òptims tant en els guanys de massa òssia com en una millora en la potència màxima i en la potència mitjana dels membres superiors; d'altra banda, s'incrementa l'altura de vol en el *squat jump* (SJ), DJ i CMJ pel que fa als seus efectes aguts sobre els membres inferiors. Tanmateix, trobem dades contradictòries, car, en l'estudi de Cardinale i Lim (2003), després de sotmetre els subjectes participants a cinc sèries de 60 s de durada amb una freqüència de 40 Hz, es va observar una disminució del 4 % en l'altura del SJ efectuat després de l'estímul vibratori.

Davant la necessitat de definir un estímul vibratori capaç d'optimitzar diferents accions musculars, aquest estudi té com a objectiu principal determinar els efectes que, a nivell muscular, exerceix una sèrie única d'estimulació mecànica sinusoidal en l'execució del SJ realitzat després d'haver-la aplicat.

Material i mètodes

Un total de 15 subjectes sans i actius, dels quals 11 van ser homes (edat: $28,6 \pm 2,9$ anys; pes: $81,1 \pm 6,6$ kg; altura: $178,9 \pm 5,7$ cm; índex de massa corporal: $25,3 \pm 2,3$ kg/m²; percentatge de greix corporal: $16,9 \pm 5,5$ %) i 4 dones (edat: $24,0 \pm 1,8$ anys; pes: $58,0 \pm 8,3$ kg; altura: $169,2 \pm 6,4$; índex de massa corporal: $20,2 \pm 2,7$ kg/m²; percentatge de greix corporal: $22,1 \pm 4,4$ %), van participar, de forma voluntària, en aquest estudi.

Abans de realitzar cada salt, els subjectes van portar a terme un escalfament que va consistir, bàsicament, en la realització d'exercicis de mobilitat articular dels membres inferiors. Posteriorment, els subjectes van efectuar la prova de salt SJ; per fer-ho es va utilitzar la plataforma de contactes Ergojump (Psionm XP, MA. GI. CA. Rome. Italy), a partir de la qual es va registrar el temps de vol (t_v) i l'altura de cada salt (h).

Un cop realitzat el primer salt, cada subjecte, havia de col·locar-se sobre la plataforma vibratòria (Power Plate, The Netherlands), situant els peus sobre unes zones marcades 19 centímetres a cada costat del punt central de la base; havia de flexionar les cames fins a 110°, mantenir alhora una flexió de maluc i una lleugera inclinació del tronc endavant, i quedar subjecte per les mans

al suport vertical de la plataforma. En aquesta posició, els subjectes es van sotmetre a una sèrie única de 60 s de vibracions mecàniques de tot el cos a una freqüència de 50 Hz i amb una amplitud de 2 mm. Havent transcorregut aquest temps, cada subjecte va tornar a realitzar dos salts verticals de les mateixes característiques, l'un, als 30 s i un altre als 2 min d'haver finalitzat l'estímul vibratori.

Quant a l'anàlisi estadística de les dades, cal dir que totes elles s'expressen com a mitjana \pm desviació estàndard (SD). També s'han utilitzat anàlisis de la variància (ANOVA d'un factor i de mesures repetides) per al contrast de les variables considerades (t_v i h) segons el gènere i per tal d'establir la comparativa entre les proves realitzades abans i després de la intervenció vibratòria. Sigui com vulgui, l'interval de confiança es va situar en un 95 %.

Resultats

Tots els subjectes van completar l'estudi sense que aparegués cap efecte col·lateral. Igualment, cap dels subjectes no va experimentar reaccions adverses o fatiga exhaustiva després dels 60 s d'estimulació vibratòria.

A la *taula 1* es mostren els resultats obtinguts a l'estudi. En aquesta taula, i tenint en compte el factor gènere, es pot apreciar la presència d'indicis de significació estadística en les variables t_v i h corresponents al SJ efectuat 2 min després de l'estimulació vibratòria; tots dos registres són clarament superiors en els homes. També es pot comprovar que els efectes produïts per l'exposició aguda a un exercici vibratori van oferir resultats diferents segons el gènere dels subjectes participants. En aquest sentit, es van trobar, en el cas dels homes, diferències significatives ($F = 7,953$; $p = 0,018$) en t_v entre el SJ previ i el SJ efectuat en els 2 min posteriors. Resultats similars van ser trobats pel que fa a h ($F = 8,090$; $p = 0,017$), car aquesta es va veure incrementada en un 12,15 % als 2 min després de l'estímul vibratori respecte al SJ previ (*fig. 1*). Tanmateix, no es van apreciar diferències significatives entre el SJ realitzat 30 s després de l'estímul vibratori i els altres dos salts (SJ previ i SJ post 2 min). Pel que fa al gènere femení, no es van trobar diferències significatives entre els salts efectuats, malgrat la considerable millora que, a nivell percentual (15,68 %), es va registrar en h en el salt efectuat 2 min després de l'estímul vibratori (*fig. 1*). D'altra banda, i independent-

	SJ previ		SJ post 30 s		SJ post 2 min	
	t_v (ms)	h (m)	t_v (ms)	h (m)	t_v (ms)	h (m)
Homes	0,480 ± 0,069	0,288 ± 0,083	0,485 ± 0,060	0,293 ± 0,073	0,507 ± 0,077 ^{a,b}	0,323 ± 0,097 ^{c,d}
Dones	0,407 ± 0,031	0,204 ± 0,031	0,438 ± 0,020	0,236 ± 0,021	0,424 ± 0,024	0,216 ± 0,021
TOTAL	0,461 ± 0,069	0,266 ± 0,081	0,473 ± 0,056	0,278 ± 0,068	0,485 ± 0,076 ^e	0,294 ± 0,096 ^f

Les dades s'expressen com a mitjana ± SD.

^a indicis de significació estadística atenent al factor gènere ($F = 4,355$; $p = 0,057$).

^b diferència entre SJ post 2 min i SJ previ en el gènere masculí ($F = 7,953$; $p = 0,018$).

^c indicis de significació estadística atenent al factor gènere ($F = 4,491$; $p = 0,054$).

^d diferència significativa entre SJ post 2 min i SJ previ en el gènere masculí ($F = 8,090$; $p = 0,017$).

^e diferència significativa entre SJ post 2 min i SJ previ ($F = 6,497$; $p = 0,024$).

^f diferència significativa entre SJ post 2 min i SJ previ ($F = 4,931$; $p = 0,045$).

Taula 1

Registres del temps de vol (t_v) i de l'altura (h) del salt vertical (SJ) en les diferents situacions.

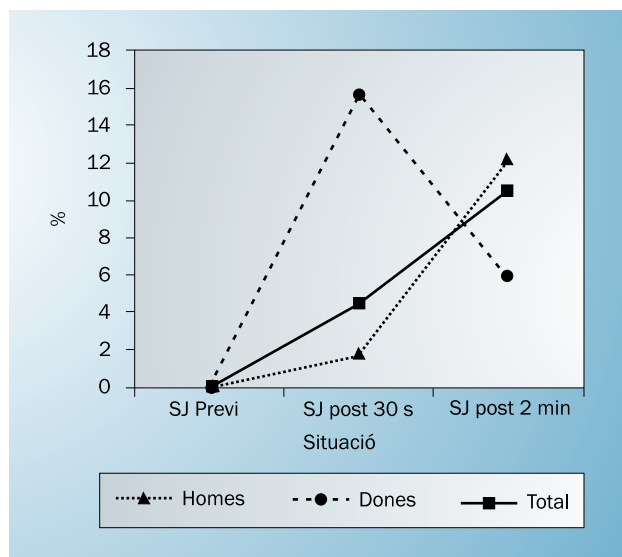
ment del factor gènere, es va observar una diferència significativa tant en t_v ($F = 6,497$; $p = 0,024$) com en h ($F = 4,931$; $p = 0,045$) en comparar el SJ previ i el SJ efectuat 2 min després de l'exposició vibratòria.

Discussió

Amb aquest estudi de caràcter transversal queda palès que, 60 s d'estimulació vibratòria en persones

adultes sanes, indueix una millora en h i t_v del salt vertical; aquest efecte positiu és diferent segons el gènere i el temps transcorregut després de l'estimulació. A priori, aquest efecte podria semblar molt més evident en els homes, possiblement per la seva major proporció de fibres musculars Tipus II (MCH II) en comparació amb el gènere femení. En el nostre estudi, aquests efectes sobre el gènere masculí apareixen clarament en els 2 min posteriors a l'exposició vibratòria, però cal no oblidar que, en termes percentuals (15,68 %), la millora obtinguda en h va ser més gran en el gènere femení en el salt realitzat 30 s després de l'estímul vibratori (fig. 1). No obstant això, cal destacar que aquests valors trobats en el gènere femení es van obtenir a partir d'una mostra de 4 persones. Es tracta, doncs, d'un grup massa reduït per a poder generalitzar conclusions.

Tenint en compte la freqüència, amplitud i durada de l'estímul utilitzades en aquest estudi (50 Hz, 2 mm i 60 s, respectivament), els resultats trobats difereixen dels obtinguts per Cardinale i Lim (2003), els quals no van determinar millores significatives en el SJ (-4 %) després de realitzar 5 sèries de 60 s amb una freqüència de 40 Hz. Tanmateix, Torvinen i cols. (2002b), després de 4 min d'estimulació vibratòria van registrar un increment significatiu en h ($p = 0,019$) 2 min després d'aquesta exposició, resultats que coincideixen amb els trobats en el nostre estudi. Aquest efecte és degut, segons Nishihira i cols. (2002), al fet que l'amplitud del reflex-H (H-reflex) augmenta temporalment després de l'estímul vibratori, quan s'aplica

**Figura 1**

Millora percentual de l'altura de salt (h) en els diferents salts efectuats.

amb grans freqüències sobre el tríceps sural. Sembla ser que el moviment vibratori provoca una hiperactivació del reflex miotàctic, i amb això, un augment de les contraccions reflexes, i també voluntàries, per la major implicació d'algunes àrees motores cerebrals, cosa que comporta una major estimulació de les motoneurons eferents gamma. D'aquesta forma, la vibració aplicada al múscul o al tendó, provoca un augment significatiu dels potencials motors evocats, un raonament compartit per autors com Tous i Moras (2004), els quals suggereixen que la vibració afecta la modulació de l'excitabilitat de l'escorça motora, i això pot incidir, de la seva banda, sobre els impulsos voluntaris.

Els resultats obtinguts en aquest estudi mostren que l'entrenament per vibració pot ser un bon exercici d'intervenció per a la millora neuromuscular en esportistes, atès que pot incidir sobre el seu rendiment en moments determinats, tenint sempre en compte l'objectiu buscat amb aquestes estimulacions vibratòries. Alhora, cal considerar aquest tipus d'aplicacions sobre la població en general, perquè diferents estudis posen de manifest canvis hormonals amb augments significatius en la concentració plasmàtica de testosterona i hormona del creixement, i també descensos dels nivells de cortisol, amb les repercussions positives que això comporta (Bosco i cols., 2000; Cardinale, 2002). A més a més, les vibracions corporals acompanyades d'exercicis específics poden posar remei al dolor i millorar el dolor relatiu en pacients amb dolences cròniques a la zona lumbar (Rittweger, Just, Kautzsch, Reeg, Felsenberg, 2002). Fins i tot, després de períodes d'entrenament per vibració, apareixen augments significatius en la densitat mineral òssia del maluc (+ 0,93 %, $p < 0,05$) (Verschueren i cols., 2004).

Per tot plegat, i després dels engrescadors resultats trobats a la literatura científica pel que fa a l'entrenament amb vibracions sinusoidals i la combinació d'aquestes amb diferents exercicis, sembla evident la necessitat de realitzar nous estudis que permetin de dilucidar els efectes que poden tenir, a llarg termini, diferents programes d'exercicis vibratoris, i també la seva incidència sobre paràmetres endocrins, ossis i musculars.

Bibliografia

- Bosco, C.; Cardinale, M. i Tsarpela, O. (1999). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* 79, 306-11.
- Bosco, C.; Jcovelli, M.; Tsarpela, O.; Cardinale, M.; Bonifazi, M. i Tihanyi, J. i cols. (2000). Hormonal response to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* 81, 449-54.
- Bosco, C.; Cardinale, M.; Tsarpela, O.; Colli, R.; Tihanyi, J. i Von Dullivard, S. P. i cols. (1998). The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biology of Sport* 15(3), 157-64.
- Cardinale, M. (2002). Abstract of the Ph.D. Thesis: The effects of vibration on human performance and hormonal profile. Budapest.
- Cardinale, M. i Lim, J. (2003). The acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance. *Med Sport* 56, 287-92.
- Delecluse, Ch.; Roelants, M. i Verschueren, S. (2003). Strength Increased after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training. *Med Sci Sports Exerc* 35(6), 1033-41.
- Issurin, V. B. i Tenenbaum, G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences* 17, 177-82.
- Luo, J.; McNamara, B. i Moran, K. (2005). The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med* 35(1), 23-41.
- Martínez, E.; Carrasco, L. i Alacid, F. (2005). Efectos de los impactos mecánicos implicados en la práctica de diferentes deportes sobre las características óseas en deportistas. *Selección* 14(3), en prensa.
- Nishihira, Y.; Iwasaki, T.; Hatta, A.; Wasaka, T.; Kaneda, T. i Kuroiwa, K. i cols. (2002). Effect of whole body vibration stimulus and voluntary contraction on motoneuron pool. *Adv Exerc Sports Physiol* 8(4), 83-6.
- Rittweger, J.; Beller, G. i Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology* 20(2), 134-42.
- Rittweger, J.; Just, K.; Kautzsch, K.; Reeg, P. i Felsenberg, D. (2002). Treatment of Chronic Lower Back Pain with Lumbar Extension and Whole-Body Vibration Exercise. *SPINE* 27(17), 1829-34.
- Rubin, C.; Sommerfeldt, D. W.; Judex, S. i Qin, Y. (2001). Inhibition of osteopenia by low magnitude, high-frequency mechanical stimuli. *Drug Discov Today* 6(16), 848-58.
- Rubin, C.; Xu, G. i Judex, S. (2001). The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *Faseb J.* 2225-9.
- Torvinen, S. (2003). Effect of whole body vibration on muscular performance, balance, and bone. Acta Universitatis Tampereensis 908. University of Tampere.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Siëvanen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M. i Kontulainen, S. i cols. (2002a). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* 34(9), 1523-8.
- (2002b). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol & Func Im* 22, 145-52.
- Tous, J. i Mora, G. Entrenamiento por medio de vibraciones mecánicas: revisión de la literatura. *Lecturas: EF y Deportes. Revista Digital*, 79 (en línia) <http://www.efdeportes.com/efd79/vibrac.htm> (consulta: 25 agost 2005)
- Verschueren, S. M. P.; Roelants, M.; Delecluse, Ch.; Swinnen, S.; Vanderschueren, D. i Boonen, S. (2004). Effects of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *Journal of bone and mineral research* 19, 352-9.