

Efectes de l'entrenament amb vibracions mecàniques sobre la performance neuromuscular

MARZO EDIR DA SILVA*

DIANA MARÍA VAAMONDE MARTÍN

Laboratori de Ciències Morfofuncionals de l'Esport.
Universidad de Córdoba

JOSÉ MARÍA PADULLÉS

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - Barcelona

Correspondència amb autors/es

* pit_researcher@yahoo.es

Resum

Ja fa unes quantes dècades que hom estudia els efectes de les vibracions sobre l'organisme humà. Al principi s'avaluaven aquests efectes en relació amb patologies produïdes per l'exposició perllongada de tipus ocupacional. No obstant això, es van començar a fer estudis sobre el possible benefici de l'aplicació de la vibració en esportistes i a la llum dels primers resultats es va concloure que es produïa una millora en la flexibilitat. Va ser el rus Nazarov qui va realitzar aquests primers estudis amb atletes, amb l'aplicació d'una vibració local. A poc a poc, van anar apareixent diversos estudis sobre la vibració local o aplicada a tot el cos (WBV), però en altres variables com ara la força, la potència i la capacitat de salt. Malgrat que no hi ha consens en l'aplicació de protocols d'entrenament i els resultats que se n'obtenen, l'entrenament amb WBV es troba en auge, perquè sembla oferir uns resultats benèfics de manera més ràpida que no pas l'entrenament convencional. El propòsit de l'article que presentem és realitzar una revisió bibliogràfica sobre l'evolució de l'entrenament de WBV amb les seves aplicacions i efectes sobre la *performance* muscular.

Paraules clau

Vibracions mecàniques, Entrenament esportiu, Resposta hormonal, Massa òssia, Sistema cardiovascular.

Abstract

Effects of mechanical vibration training on neuromuscular performance

The effects of vibration upon the human organism are being studied since a few decades ago. In the beginning, such effects were studied regarding certain pathologies produced by the prolonged exposure of occupational type vibration. However, the possible benefits of the application of vibration to sports men started being studied, and it was concluded, from the first results, that there was an improvement in flexibility. The first studies were done with athletes by the Russian Nazarov, applying a local vibration. Afterwards, other studies were performed, either with local application of vibration or with whole body vibration (WBV), with other variables such as strength, power, and jump ability. Even though there is no consensus on the protocol application and the results obtained, the WBV training is gaining popularity since it seems to offer beneficial effects much quicker than conventional training. The purpose of the present study is to present a bibliographic review about the evolution of WBV training with its applications and effects on muscle performance.

Key words

Whole Body Vibration, Vibration Training, Muscle strength, Muscle power.

Introducció

En els últims, anys han aparegut en les publicacions científiques alguns articles sobre experiments realitzats amb un nou sistema d'entrenament que utilitza vibracions aplicades a una part del cos o al cos sencer. A la fi dels noranta, a Alemanya, Itàlia, Noruega i els Estats Units, es van dissenyar uns dispositius que permetien transmetre vibracions mecàniques a diferents parts del cos humà. Alguns s'aplicaven al tendó, altres a algun segment corporal i altres a tot el cos; aquest últim mètode és el més utilitzat i és anomenat WBV (*Whole Body Vibration*).

Els instruments vibratoris permeten de controlar la freqüència, l'amplitud i el temps d'aplicació de les vibracions. Els dispositius més utilitzats consisteixen en una plataforma vibratòria sobre la qual es col·loca el subjecte que efectua l'entrenament i un sistema computritzat de control. Aquests dispositius transmeten les vibracions a tot el cos (WBV).

L'entrenament mitjançant aplicació de vibracions (VT) provoca efectes similars a l'entrenament amb cicles de estirament-escurçament d'una forma molt més controlada i tot garantint la integritat de l'aparell locomotor.

Com a efecte de la vibració, el teixit muscular es veu sotmès a una modificació de la longitud en un període breu de temps, aquest estirament ràpid afavoreix l'estimulació del reflex miotàtic. En aplicar vibracions d'unes característiques determinades, s'activa el reflex tònic vibratori (RTV), que provoca l'estimulació muscular per via reflexa. El RTV representa una successió d'estímuls reflexos induïts per la vibració.

Quan s'apliquen vibracions d'una freqüència i amplitud determinades al cos s'observa un augment de l'activitat electromiogràfica (EMG), immediatament després apareixen respostes hormonals, i a llarg termini sembla possible que es produeixin canvis estructurals, tant als músculs com als tendons i als ossos. El mètode produeix un volum de treball altíssim, no reproduïble en altres sistemes. Com a exemple direm que 5 sèries de 30 segons de vibració a 30 Hz produeixen 4.500 contraccions. Alguns autors han considerat que és un dels avanços més importants en els mitjans d'entrenament de la força, la velocitat i la flexibilitat.

Les expectatives que ha generat el sistema es basen en la facilitat d'ús i en la rapidesa en l'aparició de resultats, si hi afegim que el temps necessari per fer una sessió d'entrenament pot ser de deu minuts, tres dies per setmana, no resulta gens estrany que el sistema es comenci a utilitzar en àmbits tan variats com l'entrenament esportiu, la medicina espacial, la rehabilitació, el *fitness* en empreses, la medicina preventiva, etc.

L'objectiu del nostre estudi és fer una revisió de la literatura disponible sobre WBV i intentar d'oferir una visió global sobre el seu desenvolupament, les bases físiques, les aplicacions, els beneficis i els possibles riscos en l'àmbit de la *performance* neuromuscular.

Model mecànic de vibracions aplicades al cos sencer (WBV)

El cos humà es troba exposat a vibracions en molts esports, com per exemple l'esquí alpí, la bicicleta tot terreny, el *skating*, etc. (Griffin, 1994; Nigg *et al.*, 1997; Mester *et al.*, 2000; Yue i Mester, 2002), en algunes realitzacions de treball (Griffin, 1994) igual que durant un viatge, bé sigui per carretera, per ferrocarril o per mar.

Les vibracions poden causar molèsties, interferències amb les activitats i problemes de salut, encara que també tenen el potencial de causar millores en alguns entrenaments de força, normalment realitzats dempeus; és

el que es coneix en l'entorn de l'esport com a entrenament amb vibracions de cos sencer (WBV-*Whole Body Vibration*).

Les respostes humanes a les vibracions comporten tant respostes biomecàniques com fisiològiques. Els processos de les respostes biomecàniques impliquen complicacions atès que el cos està compost de molts segments de masses rígides i oscil·lants; aquestes últimes són totes les parts no rígides del cos, com ara òrgans interns, fluids, teixits tous i fins i tot músculs.

S'han dissenyats diversos models de molla-esmorteïdor-massa per simular la transmissió de la vibració de cos sencer (Roberts *et al.*, 1966; Von Gierke, 1971; Sandover, 1971; King, 1975; Cole, 1978; Ghista, 1982).

En el cas de WBV l'estímul mecànic s'aplica als peus del subjecte situat sobre la plataforma vibratòria. Les oscil·lacions produïdes es transmeten per tot el cos i són esmorteïdes a cada articulació. Els sistemes viscoelàstics que hi ha a cada articulació provoquen una atenuació del senyal mecànic a mesura que ens allunyem del focus generador (plataforma), de tal manera que la part més allunyada, el cap, rep un senyal especialment feble perquè aquest ha estat atenuat primer als turmells i tot seguit als genolls, els malucs i la columna.

El moviment oscil·latori produeix acceleracions en la direcció vertical de l'ordre de $70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (7,24 vegades l'acceleració de la gravetat), a nivell del suport, utilitzant una freqüència de 30 Hz amb una amplitud de 4 mm. L'acceleració quedarà més atenuada si els segments inferiors es troben en semiflexió. En aquest cas, amb cada oscil·lació es produeix un estirament a nivell dels músculs i tendons implicats. Aquests

es comporten com un sistema format per un ressort i un amortidor. Si es desitja transmetre més nivell de vibració a la part superior de la cama simplement cal recolzar els talons sobre la plataforma per eliminar l'acció esmorteïdora dels turmells.

L'atenuació del nivell de vibració en la part superior del cos disminueix el risc que algun òrgan pugui entrar en ressonància. La freqüència de ressonància de les diferents parts del cos sotmeses a vibracions verticals es troben per sota dels 10 Hz excepte en els ulls, que tenen entre 20 i 25 Hz de freqüència de ressonància (Yue *et al.*, 2001). Amb l'objectiu d'evitar els problemes de ressonàncies, la majoria de les màquines de vibració no permeten l'ús de freqüències que puguin representar un risc per a la salut (*fig. 1*).

Efectes del VT sobre la flexibilitat

Les primeres observacions sobre els efectes de l'aplicació de vibracions mecàniques a tot el cos com a mètode d'entrenament, es van centrar en els efectes sobre el sistema neuromuscular. Va ser Nazarov, citat per Künnemeyer i Schmidtbleicher (1997), qui va observar que l'exercici d'estirament juntament amb vibracions produïa una millora en la flexibilitat més gran que no pas l'exercici d'estirament per ell sol. Arran d'aquesta observació es van fer dues hipòtesis sobre dos mecanismes possibles de la WBV per a augmentar la flexibilitat: un canvi en el llindar de dolor, i l'estimulació dels òrgans tendinosos de Golgi (inhibició de la contracció) (Issurin *et al.*, 1994). Tanmateix, alguns investigadors (Magnusson *et al.*, 1998 i 2000; Halbertsma *et al.*, 1999) defensen que el primer mecanisme és el més probable a causa del fet que es produeix un canvi en la percepció de l'estirament del múscul; per tant, sembla que els canvis en els detectors de longitud (fusos musculars) influïrien en la percepció del moviment.

En un estudi realitzat amb dones sedentàries, que mesurava la flexibilitat amb el test "seat and reach", els autors van observar l'efecte induït per la WBV sobre aquest paràmetre fent servir 2 freqüències distintes. Es va utilitzar una freqüència de 20 Hz i una altra de 40 Hz (amplitud de 4 mm), i es va observar que la de 20 Hz produïa una millora mentre que la de 40 no només no produïa millora sinó que disminuïa la flexibilitat (Cardinale i Lim, 2003).

Efectes del VT sobre el sistema neuromuscular

Malgrat que gairebé tots els articles esmentats anteriorment tracten sobre la millora de la flexibilitat, la majoria dels articles publicats posteriorment basen les seves investigacions en els efectes sobre la força i l'activació neural mesurada per EMG.

El 1998, Bosco i col·laboradors van estudiar dos grups de subjectes actius practicants d'handbol, amb la finalitat d'estudiar els efectes de les WBV. Després de 10 dies d'aplicació de vibracions amb una durada de 10 minuts al dia van observar canvis significatius en la potència de salt (CMJ) i en salts reactius continus en 5 segons (CJ5) (*fig. 2*).

Un any més tard Bosco i col·laboradors publiquen dos estudis on postulen que l'efecte de les WBV és immediat també després d'1 sola sessió (l'anomenat efecte agut) (Bosco *et al.*, 1999a i 1999b).

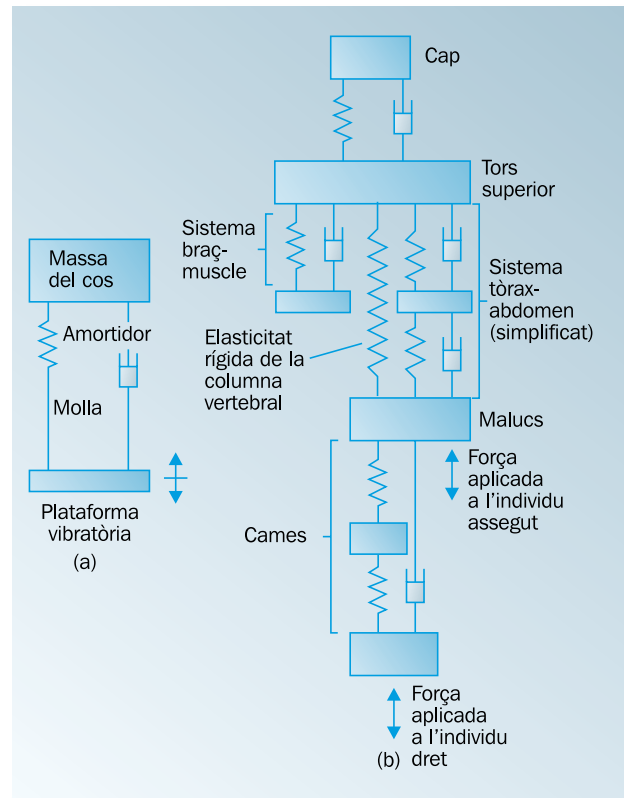


Figura 1

Model de simulació del sistema d'esmoreïment.

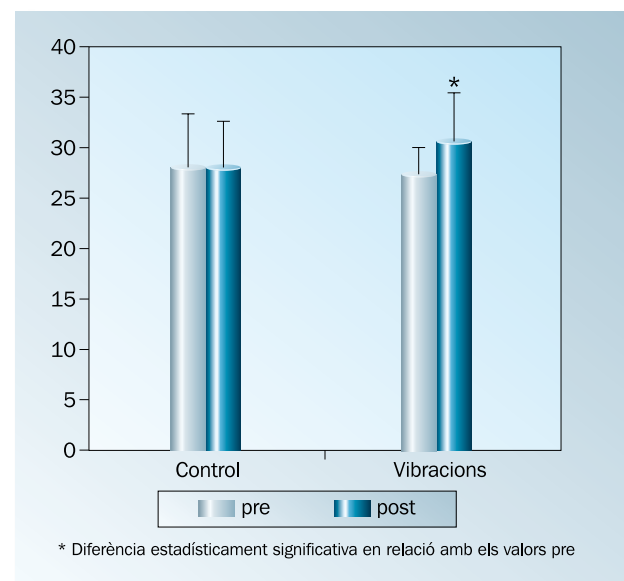


Figura 2

Comparança, entre grup control i experimental, de l'altura d'elevació del centre de gravetat per al millor intent en el test de salt continu durant 5s (CJ5) abans i després de 10 dies de període experimental (mitjana \pm DS), Bosco *et al.*, 1998

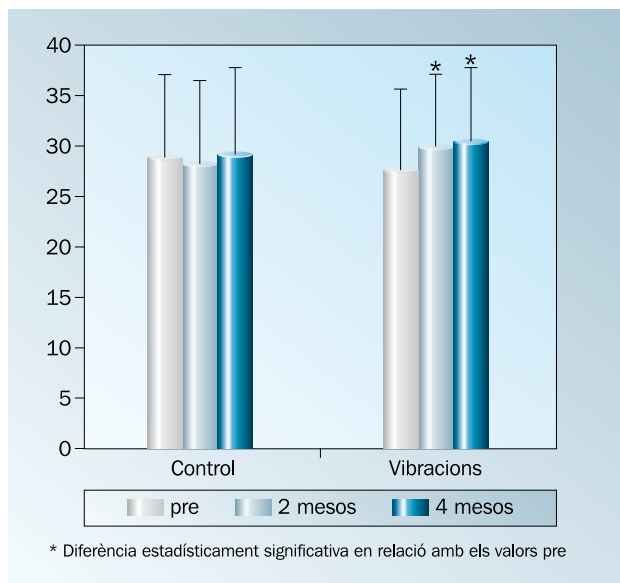


Figura 3

Comparança, entre grup control i experimental, de l'altura d'elevació del centre de gravetat per al millor intent en el test de countermovement jump (CMJ) abans i després de 2 i 4 mesos de període experimental (mitjana \pm DS) (Torvinen et al., 2002).

En un estudi de Bosco *et al.* (1999b) s'intenta d'observar com afecta la vibració les propietats mecàniques dels músculs flexors dels braços només amb una sessió. Per fer-ho, s'aplica la vibració només en un braç. S'observen diferències significatives en potència mitjana en el braç tractat amb les vibracions; encara que l'electromiografia (RMS) no havia canviat, en dividir aquesta per la potència mecànica, per tal d'esbrinar l'índex d'eficàcia neural, s'observen augments estadísticament significatius.

El mateix any, Issurin i Tenenbaum (1999) també publiquen un estudi sobre els efectes aguts del VT; comparant dues poblacions (atletes i afeccionats) van observar millores significatives aplicant una sola sessió (efecte agut) i no va haver diferències per a l'efecte residual (en aquest cas, aquest efecte és determinat per un entrenament sense vibració després d'una sèrie amb vibració). Rittweger i col·laboradors (2000) van realitzar un estudi amb dues poblacions (homes i dones) en el qual van observar una disminució en la força màxima voluntària (MVF) en l'extensió de la cama, disminució de l'altura de salt (CMJ) i atenuació de la freqüència mitjana d'EMG durant la contracció voluntària màxima. En l'índex d'eficàcia neural (RMS/potència) s'observen augments estadísticament significatius.

El grup de Bosco (2000) publica un estudi després

d'un tractament de WBV en el qual van observar un augment de l'efectivitat neuromuscular. Aquest augment és expressat mitjançant el quocient entre la potència i el senyal EMG i, aquesta relació ha disminuït després d'un entrenament de 10 minuts (2 sessions de 5 minuts amb 6 minuts de recuperació entre elles) car s'observa una disminució de l'activitat EMG dels músculs extensors de la cama i un augment en l'*output* de potència muscular. És un efecte similar al que es reflecteix al final d'un programa de llarga durada d'entrenament de força i potència (Komi *et al.*, 1978). De la mateixa manera, en atletes entrenats amb càrrega submàxima en un rang del 70-80 % d'1RM la resposta màxima d'EMG va disminuir al principi de l'entrenament (Häkkinen i Komi, 1985), per tant, és possible que el VT provoqui una adaptació biològica que té connexió amb un efecte de potenciació neural similar al produït per l'entrenament de força i potència. Sembla que, igual que amb l'entrenament de força, les primeres estructures que es veuen influïdes per l'entrenament són els components neurals específics i els seus mecanismes de *feedback* propioceptors (Bosco *et al.*, 1983; Häkkinen i Komi, 1985). L'activació neural pot ser influïda per un augment de l'activitat de sincronització de les unitats motores (Milner-Brown *et al.*, 1975); encara que tampoc es pot excloure la millora en la coactivació dels sinergistes i una inhibició superior d'antagonistes; de tota manera, l'augment de l'activació neural sembla dependre d'algun mecanisme intrínsec (Bosco *et al.*, 2000).

Torvinen i col·laboradors (2002a) realitzen un estudi amb homes i dones, en el qual se sotmeten a dues sessions en 2 dies consecutius amb WBV aplicada durant 4 minuts a un grup i sense vibració aplicada a l'altre grup. L'efecte va ser un augment transitori en l'altura de salt (CMJ), millora en la força isomètrica dels extensors dels genolls i millora de l'equilibri corporal; als 60 minuts, no obstant això, les diferències ja no eren significatives. D'altra banda, en altre estudi similar a l'anterior (2002b). Torvinen i col·laboradors van mostrar que els 4 minuts d'entrenament de vibració no produïen canvis estadísticament significatius en els tests de força i d'equilibri, mentre que el senyal EMG mostrava signes de fatiga. En un altre estudi, el mateix grup (2002c) va augmentar el període d'entrenament amb vibracions a 4 mesos, utilitzant 56 individus sans d'ambdós sexes; en aquesta investigació es va estudiar la *performance* i l'equilibri corporal, i es va observar que l'entrenament produïa una millora neta en la força explosiva (expressada per un augment del CMJ), encara que no hi va haver influència sobre l'equilibri (*fig. 3*).

Delecluse *et al.* (2003) van publicar un estudi amb dones on comparaven l'augment de força després de l'aplicació de VT en relació amb l'entrenament tradicional amb sobrecàrregues. En un període de 12 setmanes es van sotmetre 3 grups a un entrenament per augmentar la força dels extensors del genoll, amb una freqüència de 3 cops per setmana. Un grup, denominat R, va realitzar entrenament amb premsa de cama i exercicis d'extensió de cama. El grup de WBV va realitzar exercicis d'extensió del genoll, tant estàtics com dinàmics, sobre la plataforma de vibració. L'acceleració de la plataforma de vibració va variar progressivament des d'un valor inicial de 2,28g fins a 5,09 (mitjançant la manipulació de les variables d'amplitud i freqüència de la plataforma vibratòria); l'altre grup, el grup PL (placebo), va realitzar els mateixos exercicis que el grup de WBV però amb una acceleració de 0,4g. A més a més d'aquests grups, es va tenir un grup C (control) que no va participar en cap entrenament. Es va mesurar la força dels extensors de la cama (pre i post en condicions isomètrica, dinàmica, balística i explosiva), i es va trobar un augment significatiu en la força dinàmica i isomètrica dels extensors del genoll, tant en el grup R com en el WBV; la diferència entre tots dos no va ser significativa; tanmateix, la força explosiva va augmentar de forma significativa exclusivament en el grup WBV.

Un estudi del mateix any (Ruiter *et al.*, 2003) va analitzar l'efecte d'11 setmanes d'entrenament WBV sobre la capacitat de salt i la força isomètrica. La mostra (20 subjectes) es va dividir en 2 grups, experimental (E) i control (C); al grup E va ser sotmès a un VT 3 cops per setmana; durant les 11 setmanes els subjectes van augmentar de 5 a 8 sèries (d'1 minut de vibració amb un minut de descans entre sèries); es va utilitzar una freqüència de 30 Hz i una amplitud de 8 mm. No es va trobar diferència significativa en cap dels paràmetres referits

No fa gaire, Rittweger *et al.* (2003) han realitzat un estudi comparatiu de realització d'exercici extrem d'esquat amb vibració i sense. Amb aquest estudi els autors pretenien veure els efectes en la funció neuromuscular i el patró de reclutament de fibres. Van aplicar tres tests distints: salt continu màxim durant 30 segons, electromiografia i avaluació del reflex patel·lar. Es va comprovar que el temps transcorregut fins a l'esgotament era significativament més curt en el grup sotmès a vibració (26 Hz i 6 mm d'amplitud), mentre que els nivells de lactat sanguini i d'esforç percebut (escala de Borg) indicaven nivells comparables de fatiga. Aquestes obser-

vacions porten a la conclusió que la vibració associada a l'exercici crea una mena d'alteració en el patró de reclutament de fibres que, si més no aparentment, millora l'excitabilitat neuromuscular.

Porta *et al.* (2004), van aplicar una única sessió de 6 sèries de 60'' × 60'' de descans (6 mm, 40 Hz), en esportistes joves que incloïa saltadors, ciclistes i un grup control (practicants de *fitness*). Els tres grups van reduir la força (FMDC), la disminució va ser significativa en els saltadors ($p < 0,05$). D'altra banda, la capacitat de salt (CMJ) va augmentar significativament en els tres grups (control, $p < 0,05$; ciclistes, $p < 0,001$; saltadors, $p < 0,05$).

VT associat a d'altres mètodes d'entrenament de força

A més a més d'aquests estudis que utilitzen la vibració com a mètode exclusiu d'entrenament, en un estudi de Zinkovsky *et al.* (1998) es realitzen diverses sèries i es comparen els efectes de la vibroestimulació tota sola, de l'electroestimulació també sola i de totes dos mètodes alhora, l'electrovibroestimulació. Els autors van concloure que la electrovibroestimulació era millor que qualsevol dels 2 mètodes per separat. Amb el tractament d'electrovibroestimulació els autors van observar una millora de la flexibilitat, determinada per un increment de 6 a 10 cm en l'altura de pujada de la cama i una major capacitat per separar les cames de manera passiva. Al mateix temps, van observar també un augment en la força de contracció muscular, tant excèntrica com concèntrica; finalment, van observar també una disminució substancial de les zones d'insuficiència muscular, tant activa com passiva, i un augment de la mobilitat articular. Davant d'aquestes descobertes, els autors van concloure que l'electrovibroestimulació exerceix un paper positiu sobre la mobilitat articular després d'un traumatisme i podria ser un mètode efectiu per fer-lo servir en rehabilitació.

Recentment, en un estudi s'ha comparat l'efecte de l'entrenament mitjançant el *tirant muscular*[®] tot sol, amb l'ús d'aquest conjuntament amb el WBV, en un entrenament de 6 setmanes, per a la millora de la força màxima, explosiva i reactiva. Els autors han observat que tots dos mètodes són eficients en la millora de la força i que l'entrenament combinat produïa una millora superior (García Mans *et al.*, 2002) i a més a més provocava un engruïment del tendó rotular (García Mans *et al.*, 2004).

Freq. (Hz)	Ampl. (mm)	Acel. (m/s ²)	Acel. (G)	Núm. Contraccions			
				15 seg	30 seg	45 seg	1 min
10	4	7,89	0,80	150	300	450	600
15	4	17,75	1,81	225	450	675	900
20	4	31,55	3,22	300	600	900	1.200
25	4	49,30	5,03	375	750	1.125	1.500
30	4	70,99	7,24	450	900	1.350	1.800
35	4	96,62	9,86	525	1050	1.575	2.100
40	4	126,20	12,88	600	1200	1.800	2.400
45	4	159,73	16,30	675	1350	2.025	2.700
50	4	197,19	20,12	750	1500	2.250	3.000

▲
Taula 1

Acceleracions i nombre de contraccions produïdes a diferents freqüències sobre una plataforma de vibracions (Padullés, 2001).

Efectes del VT sobre la velocitat

Es podria pensar que si el VT millora la potència muscular podria produir, de la mateixa manera, una millora de la velocitat; tanmateix, és possible que no sigui així, perquè en un estudi fet amb subjectes atletes, encara que no d'elit, es va observar que la velocitat per a l'esprint de 5, 10 i 20 m no va canviar de manera significativa (Cochrane *et al.*, 2004). Aquest estudi va observar l'efecte de 9 dies d'entrenament amb la repetició del protocol aplicat per Bosco *et al.* (1998).

Els resultats comentats anteriorment es troben en consonància amb uns de reportats en un altre estudi del nostre grup (Da Silva *et al.*, 2006), encara que el nostre experiment pretenia trobar els efectes aguts. En aquest estudi es van estudiar els temps de correguda en 10 i 20 metres en jugadors de futbol de la lliga universitària, i no es van trobar diferència estadísticament significativa en comparar el grup control amb el grup experimental sotmès a VT. En el nostre cas, probablement aquest fet va ser degut a l'alt volum utilitzat (10 exposicions) i a la poca recuperació entre cada exposició (30 segons); un altre factor podria ser el temps entre el final de l'exposició i el retest. Cal tenir present que alguns jugadors van comentar que se sentien cansats. És possible que si s'haguessin realitzat menys exposicions amb més temps de recuperació entre elles i si s'augmentés el temps entre l'última exposició i el retest s'observarien millores en el temps de cursa. En aquest cas caldria considerar que l'entrenament realitzat va portar a una fatiga muscular. D'altra banda, però, és possible que la falta de resultats hagi estat deguda bé al poc temps utilitzat en l'entrena-

ment o bé al fet que els exercicis de VT hagin mancat d'especificitat de posicionament per a l'esprint i, doncs, que no s'hagin produït els efectes neuromusculars necessaris.

Per què el VT millora la 'performance'?

Bosco i col·laboradors (1998, 1999a i 1999b) suggereixen que l'activació muscular mitjançant la vibració pot induir millores similars a les produïdes per l'entrenament de força. La similitud amb exercicis pliòmètrics i de força és deguda probablement a l'acceleració imposada per la vibració (augment de la càrrega gravitacional). S'ha descrit que la càrrega gravitacional en VT pot arribar fins a 14 G (Bosco *et al.*, 1998, 1999a, 1999b, 2000a; Torvinen *et al.*, 2002a; Cardinale i Bosco, 2003).

Padullés (2001) publica una taula on s'han calculat les acceleracions que es produeixen a diferents freqüències sobre una plataforma de vibracions que oscil·la amb una amplitud de 4 mm. Les acceleracions observades aplicant freqüències de 30 Hz, i l'amplitud de 4 mm, que són els paràmetres més habituals en el VT, són superiors a 7 G, similars a les produïdes en una batuda de salt de longitud. En el mateix estudi apareix el nombre de contraccions que es provoquen en funció de la freqüència i del temps d'exposició (*taula 1*).

La influència de la càrrega gravitacional sobre la *performance* muscular és de molta importància, l'efecte de la gravetat sobre l'organisme en les rutines diàries és suficient per mantenir les capacitats funcionals dels mús-

culs. D'altra banda, si s'indueix un descens de gravetat, anomenat microgravetat, es produirà una disminució, tant en massa com en força muscular, però si s'augmenta la càrrega gravitacional, *hipergravetat*, s'augmentarà la massa i la força muscular (Bosco *et al.*, 1984). Aquesta última situació (hipergravetat) s'utilitza comunament en l'entrenament amb la finalitat d'augmentar la força i la potència muscular. S'ha vist que aquest tipus d'exercici produeix respostes adaptatives específiques en els músculs esquelètics, car aquests són un teixit especialitzat que modifica la seva capacitat funcional global en resposta a estímuls diversos (Da Silva i Peña, 2004).

Les respostes *adaptatives* comporten tant canvis neurals com morfològics; els de tipus neural són els primers que es produeixen, i ja hi ha un augment de força (Sali, 1988).

La situació hipergravitatòria produïda per les vibracions és deguda a les altes acceleracions (Issurin *et al.*, 1994; Bosco *et al.*, 1998, 1999a, 1999b, 2000a; Issurin i Tenenbaum, 1999; Torvinen *et al.*, 2002a). L'acció mecànica de la vibració produeix canvis ràpids en la longitud del complex múscul-tendó; la pertorbació és detectada pels receptors sensorials que modulen el *stiffness* muscular a través de l'activitat muscular reflexa i intenten d'esporeir les ones vibratòries (Cardinale i Bosco, 2003). Les vibracions mecàniques aplicades tant al múscul com al tendó, poden provocar l'anomenat reflex tònic vibratori, que és una forma de contracció muscular reflexa (Martin i Park, 1997). La vibració produeix una activació dels fusos musculars i per tant una millora del *loop* reflex d'estirament. L'excitació produïda durant la vibració va lligada a l'activació reflexa. Sovint s'observa un augment en l'activitat EMG similar a l'obtinguda mitjançant contracció voluntària màxima (MVC). Encara que les terminacions primàries del fus muscular són les més sensibles a la vibració, aquesta és percebuda també per la pell, les articulacions i les terminacions secundàries (Ribot-Ciscar *et al.*, 1989). Així, les diverses estructures sensibles facilitaran probablement l'activitat del sistema *gamma* durant la vibració aplicada localment (Bosco *et al.*, 1999b) o sobre tot el cos sencer (Bosco *et al.*, 2000). La millora aguda de la *performance* neuro-muscular que hem esmentat en els exemples és deguda probablement a un augment de la sensibilitat del reflex d'estirament. Sembla també que la vibració inhibeix l'activació dels músculs antagonistes (neurons inhibidores); aquesta inhibició comporta una força de frenada disminuïda sobre les articulacions (Cardinale i Bosco, 2003).

Alhora, l'estímul vibratori influeix sobre el comandament motor central. Els senyals aferents són processats en la unitat central constituïda per l'escorça somatosensorial primària i secundària i l'àrea motora suplementària (Naito *et al.*, 2000).

Encara més, segons Naito i col·laboradors (2000), la vibració és capaç d'activar l'àrea motora suplementària entre altres àrees cerebrals. Aquesta àrea motora suplementària és activada també en la fase primerenca de l'inici dels moviments (Cunnington *et al.*, 2002). L'estímul vibratori influeix sobre l'estat excitatori de les estructures perifèriques i centrals, la qual cosa facilitaria els moviments voluntaris subsegüents.

En un estudi de Torvinen i col·laboradors (2003) es va observar que les millores produïdes pel VT en la capacitat de salt vertical i de força, desapareixien passats 60 minuts. Sembla ser que els efectes aguts observats després de l'exposició a vibració tenen una vida curta; per tant, resulta d'una importància vital preveure la durada del VT. Tanmateix, segons Rittweger i col·laboradors (2000) una vibració de llarga durada redueix la capacitat de generar força. Aquest efecte pot ser degut a una activació del *feedback* inhibitori i/o a una sensibilitat reduïda dels fusos musculars.

És possible que els nivells augmentats de força, després de la vibració, siguin causats tant per la millora del reflex d'estirament com per l'estat d'excitació de l'àrea somatosensorial (Cardinale i Bosco, 2003), encara que ara com ara no hi ha una explicació clara de les adaptacions neurals específiques.

Conclusions

Vist el que acabem d'exposar, es pot considerar que l'entrenament amb vibracions pot tenir nombroses aplicacions, tant en el món de l'esport com en la prevenció i rehabilitació. Amb aquest tipus d'entrenament s'observen efectes sobre els músculs, els tendons, els ossos i les articulacions, que poden influir sobre la força màxima i explosiva, la potència, la velocitat, l'agilitat i la flexibilitat, entre d'altres efectes. En altres casos, la seva aplicació sembla d'efectivitat dubtosa. L'entrenament amb vibracions pot ser utilitzat com a entrenament suplementari o alternatiu, especialment en el cas de rehabilitació de lesions. La facilitat d'ús de les màquines de vibracions i el poc temps necessari perquè es produeixin resultats permeten de suposar que l'entrenament amb vibracions pot ser un bon complement o una bona alternativa a d'altres mitjans d'entrenament.

Bibliografia

- Bosco, C.; Luhtanen, P. i Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* (50), 273-282.
- Bosco, C.; Zanon, S.; Rusko, H.; Dal Monte, A.; Bellotti, P.; Latteri, F.; Candellero, N.; Locatelli, E.; Azzaro, E. i Pozzo, R. (1984). The influence of extra load on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* (53), 149-154.
- Bosco, C.; Cardinale, M.; Tarpela, O.; Colli, R.; Tihanyi, J.; Von Duvillard, S. P. i Viru, A. (1998). The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport* (15), 157-164.
- Bosco, C.; Colli, R.; Introini, E.; Cardinale, M.; Iacovelli, M.; Tihanyi, J.; von Duvillard, S. P. i Viru, A. (1999a). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* (16), 317-322.
- Bosco, C.; Cardinale, M. i Tarpela, O. (1999b). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* (79), 306-311.
- Bosco, C.; Iacovelli, M.; Tarpela, O.; Cardinale, M.; Bonifazi, M.; Tihanyi, J.; Viru, M.; De Lorenzo, A. i Viru, A. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol* (81), 449-454.
- Cardinale, M. i Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev* (31), 3-7.
- Cardinale, M. i Lim, J. (2003). The Acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance. *Med Sport* (56), 287-292.
- Cole, S. H. (1978). The vertical transmission of impulsive energy through the seated human. PhD Thesis, Loughborough University of Technology.
- Cochrane, D. J.; Legg S. J. i Hooker M. J. (2004). The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *J Strength Cond Res.* (18), 828-832.
- Cunnington, R.; Windischberger, C.; Deecke, L. i Moser, E. (2002). The preparation and execution of self initiated and externally triggered movement: a study of event-related fMRI. *Neuroimage* (15), 373-385.
- Da Silva, M. E. i Peña J. (2004). Mecanismos de formación de nuevas fibras en el músculo esquelético. *Archivos de Medicina del Deporte* (102), 329-336.
- Da Silva, M. E.; Padullés, J. M.; Núñez Álvarez, V.; Vaamonde, D. M.; Viana, B.; Gómez, J. R. i Lancho, J. L. (2006). Efectos agudos del entrenamiento con vibraciones mecánicas sobre el tiempo de carrera en corta distancia en jugadores de fútbol. *Medicina del Ejercicio* (en prensa).
- Delecluse, C.; Roelants M. i Verschuere, S. (2003). Strength increase after Whole Body Vibration compared resistant training. *Med Sci Sports Exerc* (35), 1033-1041.
- García-Manso, J. M.; Vázquez Pérez I.; Hernández Rodríguez R. i Tous Fajardo J. (2002). Efecte de dos mètodes d'entrenament de la força sobre la musculatura extensora de l'articulació del genoll. *Apunts. Medicina de l'esport* (139), 15-22.
- García-Manso, J. M.; Sarniento Ramos, L.; Ruiz Caballero, J. L.; Ortega Santana, F.; Lejido Arce, J.; Petit, M. i Vázquez Pérez, I. (2004). Reponse adaptative macroscopique du tendon rotulien a l'entraînement de force. *Science & Sport* (en prensa).
- Ghista, D. N. (1982). *Human Body Dynamics: impact, occupational, and athletic aspects*. Oxford: Clarendon Press.
- Griffin, M. J. (1994). *Handbook of human vibration*. London: Academic Press Limited.
- Hakkinen, K. y Komi P.V. (1985). Alteration of mechanical characteristic of human skeletal muscle during strength training. *J Appl Physiol* (50), 161-162.
- Halbertsma, J. P.; Mulder, I.; Goeken, L. N. i Eisma, W. H. (1999). Repeated passive stretching: acute effect on the passive muscle moment and extensibility of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil* (80), 407-414.
- Issurin, V. B.; Liebermann, D. G. i Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* (12), 561-566.
- Issurin, V. B. i Tenenbaum, G. (1999) Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J Sports Sci* (17), 177-182.
- King, A. I. (1975). Survey of the state of the art of human biodynamic response. A *Aircraft Crashworthiness* (eds. K. Saczalski, GT Singley III, WD Pilkey y RL Husten) pàg. 83-120. University Press of Virginia.
- Komi, P. V.; Viitasalo J. T.; Raurama, R. i Vihko, V. (1978). Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol* (40), 45-55.
- Kunemeyer, J., Schmidtbleicher, D. (1997). Die neuromuskuläre stimulation RNS, *Leistungssport* (2), 39-42.
- Magnusson, S. P.; Aagaard, P.; Simonsen, E. i Bojsen-Moller, F. (1998). A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int J Sports Med* (19), 310-316.
- Magnusson, S. P.; Aagaard P.; Larsson, B. i Kjaer, M. (2000). Passive energy absorption by human muscle tendon unit is unaffected by increase in intramuscular temperature. *J Appl Physiol* (88), 1215-1220.
- Martin, B. i Park, H.. (1997). Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur J Appl Physiol* (75), 504-511.
- Mester, J.; Hartman, U.; Hoffman, U.; Seifriz, F.; Schwarzwer J., i Spintzenfeil, P. (2000). Biological response to vibration load: general principles lab and field studies in alpine skiing. A E. Müller, R. Roithner, W. Niessen, C. Raschner i H. Schwameder (eds.), *Abstract book of the second international congress on Skiing and Science*, St. Cristoph pàg. 74-75.
- Milner-Brown, H. S.; Stein, R. B. i Lee, R. G. (1975). Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr Clin Neurophys* (38), 245-254.
- Naito, E.; Kinomura, S.; Geyer, S.; Kawashima, R.; Roland, P. E. i Zilles, K. (2000). Fast reaction to different sensory modalities activates common field in the motor areas, but the anterior cingulate cortex is involved in the speed of reaction. *J Neurophysiol* (83), 1701-1709.
- Nigg, B. M.; Van der Borget, A. J.; Reed, L. i Reinschmidt, C. (1997). Load of locomotor system during skiing. A E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl i C. Raschner (eds.) *Science and Skiing. E & F Spon*. London, pàg. 27-35.
- Padullés, J. M. (2001). Vibraciones, un nuevo método de entrenamiento. *Set Voleibol* (Maig), 54-56.
- Porta, J.; Mas, J.; Paredes, C.; Izquierdo, E.; Aliaga, J. i Martí, D. (2004). Efectos de una sesión de vibroestimulación en la fuerza máxima y explosiva de ciclistas y saltadores juniors. *Red* (27), 9-14.
- Ribot-Ciscar, E.; Vedel, J. P. i Roll, J.P. (1989). Vibration sensitivity of slowly and rapidly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot and leg. *Neurosci Lett* (104), 130-135.
- Rittweger, J.; Schiessl, H. i Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology* (20), 134-142.
- Rittweger, J.; Mutschelknauss, M. i Felsenberg, D. (2003) Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* (23), 81-86.
- Roberts, V. N.; Terry, C. T. i Stech, E. L. (1966). Review of mathematical models which describe human response to acceleration. A

- American Society of Mechanical Engineers 66-WA/BHF-13, pàg.2-12. *American Society of Mechanical Engineers*.
- Ruiter, C. J.; Raaij, S. M.; Schilperoot, J. V.; Hollander, A. P. i Haan, A. (2003). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* (88), 472-475.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sport. Exerc* (20), S135-S145.
- Sandover, J. (1971). *Study of Human Analogues, Part 1. A survey of the Literature*. Department of Ergonomics and Cybernetics. Loughborough University of Technology.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M.; Kontulainen, S.; Järvinen, T. L. N.; Järvinen, M.; Oja, P. i Vuori, I. (2002a). Effect of vibration exposure on muscle performance and body balance: A randomized cross-over study. *Clin Physiol & Func Im* (22), 145-152.
- Torvinen, S.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M.; Kontulainen, S. i Kannus, P. (2002b). Effect of 4-min vertical whole vibration reflex on muscle performance and body balance: A randomized cross-over study. *Int J Sport Med* (23), 374-379.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A. H.; Pasanen, M.; Kontulainen, S.; Järvinen, T. L. N.; Järvinen, M.; Oja, P. i Vuori, I. (2002c). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* (34):1523-1528.
- Torvinen, S.; Kannus, P.; Sievänen, H.; Järvinen, T. A.; Pasanen, M.; Kontulainen, S.; Nenonen, A.; Järvinen, T. L.; Paakkala, T.; Järvinen, M. i Vuori, I. (2003). Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *J Bone Miner Res* (18), 876-84.
- Von Gierke, H. E. (1971). Biodynamic models and their applications. *The Journal of the Acoustic Society of America* (50), 1397-1413.
- Yue, H.; Kleinöder, J. i Mester, J. (2001). A model analysis of the effects of wobbling mass on Whole-Body Vibration (2001). *European Journal of Sport Science*, vol. 1, issue 1, © by Human Kinetics and the European College of Sport Science.
- Smith, S. D. (2000). Modelling differences in the vibration response characteristics of the human body. *J Biomechs* (33), 1513-1516.
- Zinkovsky, A. V.; Zoubova, I. A.; Schmidt, K. P. i van Zwieten, K. J. (1998). Training of the skeletal -muscle apparatus of sportsmen through electrovibrostimulation. *Fysische Therapie* (4), 9-11.