

ÖVERSÄTTNING TILL SVENSKA AV **ALF THORSTENSSON**

Effekter av vibration på prestationsförmågan:

aktuella perspektiv och framtida forskningsinriktningar

Vibrationsträning har de senaste åren börjat användas inom idrottsträning. Något längre är erfarenheterna inom rehabilitering efter skada. Denna träning innebär att man utsätter kroppen för vibrationer med möjlighet att variera frekvens och styrka. Flertalet studier visar på positiva effekter med avseende på fysiska kvaliteter som styrka och hopphöjd, men även andra effekter som ökad benmassa, ökat blodflöde och höjda värden av testosteron och tillväxthormon. Goda möjligheter borde finns att vidareutveckla denna metod för att förbättra träningen hos funktionshindrade.



M. CARDINALE

OCH J.A. ERSKINE

UNIVERSITY OF ABERDEEN, COLLEGE OF LIFE SCIENCES AND MEDICINE, SCOTLAND, UK

Introduktion

Vibration är ett mekaniskt stimulus som karaktäriseras av oscillerande rörelser. De biomekaniska parametrar som bestämmer dess intensitet är frekvens, amplitud (storlek), riktning och acceleration. Rörelseutslaget ger storleken (mäts som peak-peakförflyttning i mm), hur ofta rörelsecyklerna upprepas ger frekvensen (mäts i Hz, dvs rörelser per sekund) och accelerationen utgörs av ändringen i rörelsehastighet i varje oscillation (i m/s^2).

Man har haft som en hypotes att vibrationer med låg amplitud och låg frekvens skulle vara ett riskfritt sätt att förbättra muskelstyrka och effektutveckling (power). Studier med speciell utrustning har indikerat att sådana förbättringar är möjliga (Issurin et al. 1994 och 1999; Bosco et al. 1998, 1999a, 1999b och 2000; Torvinen et al. 2002a och 2000b). Effekterna av helkroppsvibrationer har studerats med personerna stående på speciella vibrationsplattor, som producerat vibrationer formade som sinuskurvor (Bosco et al. 1998; Torvinen et al. 2002 och 2000b). Vibrationer har också applicerats lokalt med hjälp av vibrerande kablar (Issurin et al. 1994 och 1999) och/eller specialgjorda vibrerande hantlar som givit lågfrekventa vibrationer (Bosco et al. 1999b).

De frekvenser som använts varierar från 15 till 44 Hz och storleken på rörelsen från 3 till 10 mm. De accelerationsvärden som rapporterats ligger mellan 3.5 och 15 g, där g är lika med tyngdkraftsaccelerationen, dvs $9.81 m/s^2$. Därmed åstadkommer alltså vibrationerna en störning av tyngdkraftsfältet under det att de verkar.

Effekterna av vibration på prestationsförmågan

Idén att använda vibrationer i träningen kan sägas vara relativt ny. Det skall ändå noteras att redan 1949 rapporterade Whedon vissa positiva effekter av vibrationer på patienter med extremiteterna immobiliserade i gips. Vibrationer i idrottsträning introducerades relativt nyligen av ryska forskare som utvecklade speciella apparater för att överföra vibrationsvågor till muskler, huvudsakligen under isometriska muskelaktioner (Nazarov & Spivak 1987).

I en studie av Issurin et al. (1994) kunde man påvisa ökningar i maximal styrka och rörlighet efter vibration pålagd på viljemässigt aktiverade muskler. I deras studie levererades vibrationerna via kablar förbundna med vikter som lyftes i dragmaskiner. Vibrationsfrekvensen var 44 Hz och amplituden 3 mm. Vibrationsbehandlingen ledde till en ökning på 49.8 % i maximal styrka, att jämföra med 16

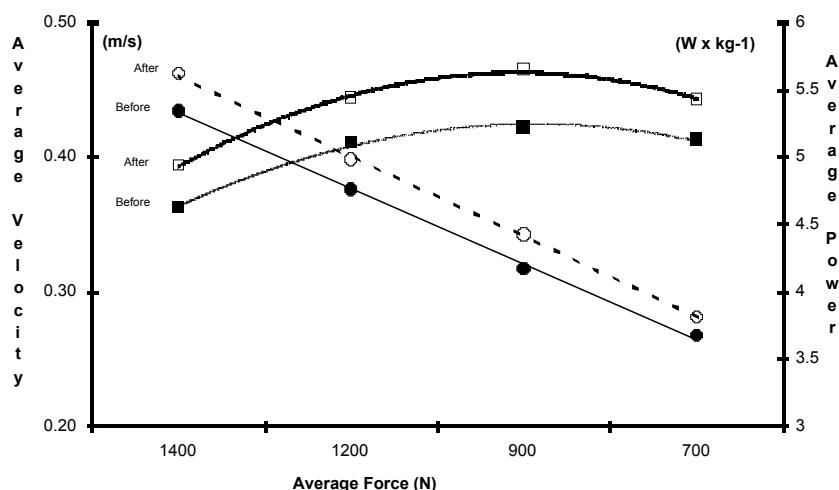


% vid konventionell träning. Vibrationsträning applicerad på den nedre extremiteten visade även remarkabla förbättringar av rörligheten. I ytterligare en studie av samma författare (Issurin et al. 1999) påvisades positiva effekter av vibrationer på explosiv styrka hos både elit- och amatöriddrottare.

Vibrationsträning har också visat sig ha effekter på ämnesomsättningen. I en studie av Rittweger et al. (2000) utfördes vibrationsträning till uttrötning med extra belastning och en syreupptagningen som bara uppgick till hälften av den maximala. Man såg även en reduktion i maximal vertikal hopphöjd, vilket indikerar att vibrationsträning till uttrötning kan försämra neuromuskulär funktion. Nedgången i prestation var återställd inom 20 s efter det att den tröttnade vibrationsträningen upphört. I ett nyligen utförd experiment av Kerschenschindl et al. (2001) kunde man påvisa en signifikant ökad blodvolym i vaden och låret efter vibrationsträning på en vibrationsplatta. Medelblodflödet, mätt med ultraljudsteknik (Doppler) ökade från 6.5 till 13 cm/s. Detta har tillskrivits att vibration skulle reducera blodets viskositet och därmed öka dess flödes hastighet i artärerna.

I en studie av Horvath et al. (2001) rapporterades att fem set med 60 s helkropps vibration med 20 Hz och 60 s vila mellan seten resulterade i en ökning av isometrisk styrka i både enbens- och tvåbensknästräckning. Försökspersonerna var 17 patienter med residuell hemiplegi som utsattes för vibrationsträning tre gånger per vecka i tre veckor. Rittweger et al. (2002) föreslår vibrationsträning som ett alternativ till konventionell träning vid behandling av kronisk ryggsmärta. Liknande minskningar av upplevd smärta och smärtrelaterad funktionsnedsättning rapporterades efter 3 månaders vibrationsträning som efter motsvarande tid av ryggräning med ryggräckningsövningar hos patienter med kronisk ryggsmärta.

I våra studier har vibration visat sig öka förmågan till styrke- och effektutveckling hos vältränade idrottsutövare (Bosco et al. 1998, 1999a, 1999b och 2000). Akut applicering av 5 min helkropps vibration visade sig medföra en förskjutning av kraft/hastighets- och effekt/hastighetskurvorna åt höger för muskulaturen i nedre extremiteterna hos vältränade volleybollspelare (Bosco et al. 1999a, se Figur 1). Lokalt applicerad vibration med hjälp av en



Figur 1. Akuta effekter av 5 set med 60 s helkropps vibration på kraft/hastighets- (ringar) och effekt(power)/hastighetsrelationerna (fyrcanter) för benmuskulaturen hos volleybollspelare. Fyllda symboler representerar värden innan och ofyllda symboler efter vibration. Alla skillnader innan – efter var signifikanta på 0.05-nivån. (Bosco et al. 1999a)

specialkonstruerad hantel visade sig resultera i en ökning av medeleffekten hos vältränade boxare efter fem min stimulering (Bosco et al. 1999b). Helkropps vibration i totalt 10 minuter medförde en förbättring av den vertikala hoppförmågan samtidigt som nivåerna av testosteron och tillväxthormon ökade och cortisonnivån sjönk hos kroppsbyggare (Bosco et al. 2000). Ett träningsprogram med helkropps vibrationspass under 10 dagar ledde till en ökning av vertikal hopphöjd hos vältränade handbollsspelare (Bosco et al. 1998). En nyligen genomförd studie av Torvinen et al. (2002b) påvisade förbättringar av vertikal hoppförmåga efter fyra månader av vibrationsträning hos otränade personer. Ett 12 veckor långt träningsprogram med helkropps vibrationer (frekvens 35-40 Hz och amplitud 2.5-5 mm) innebar en signifikant förbättring av isometrisk, dynamisk och explosiv styrka hos knästräckarmuskulaturen hos friska unga kvinnor (Delecluse et al. 2003). Dessa förbättringar var dock inte större än de som noterades i en likvärdig grupp som utförde vanlig styrketräning under motsvarande period. I motsats till resultaten från studier av Issurin et al. (1994, 1999) demonstrerade Humphries et al. (2004), med motsvarande teknik, dvs vibration pålagd på muskel-sena, inga förändringar i isometrisk styrka eller i hur snabbt styrkan kunde utvecklas, mellan vibrations- och kontrollgrupperna. I en nyligen genomförd studie av Roelants et al. (2004), kunde man notera en högerförskjutning av force/velocity kurvan

(dvs en ökning av kraften vid en viss koncentrisk hastighet) för knästräckarmuskulaturen och en ökning av fettfri kroppsmassa hos otränade kvinnor efter 24 veckor av helkropps vibrationsträning. Även om förbättringarna med vibrationsträning och vanlig träning inte var signifikanta skiljda, pekar ändå resultaten från både Delecluse och Roelants på att helkropps vibrationer kan vara en effektiv träningsmetod. Den kan vara särskilt användbar för äldre personer eller i rehabiliteringsprogram, eftersom vibrationsträning kräver lite ansträngning och inte innebär handhavande av komplicerad apparatur.

Alla studier har dock inte uppvisat positiva effekter av vibrationsträning (jfr ovan nämnda Humphries et al. 2004). Tvärtom kunde man efter helkropps vibration i 7 minuter se en akut nedgång i vertikal hoppförmåga och testosteronnivå i blodet (Bosco et al. 1999c). Nyligen publicerade studier av DeRuiter et al. (2003a och 2003b) kunde inte påvisa någon effekt av helkropps vibration på förmågan att producera muskelförkraft hos friska individer, vare sig akut eller efter 11 veckors träning. Liknande fynd rapporterades av Torvinen et al. (2003) efter 4 minuters exponering med helkropps vibration på friska försökspersoner.

Mot bakgrund av ovanstående studier är det uppenbart att vibrationsträning representerar ett intressant område inom träningsfysiologin, eftersom det förefaller som vissa träningsprotokoll kan producera förbättringar i musklernas kraft- och effektgenererande förmåga hos individer av olika tränings-

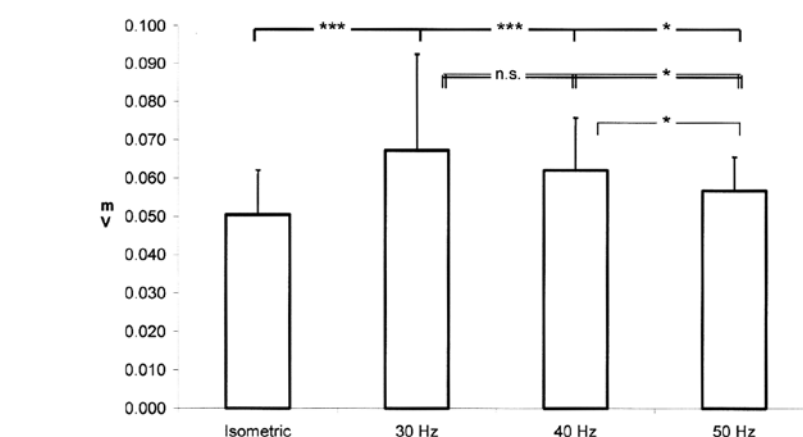


grad, andra inte. Ytterligare undersökningar behövs för att identifiera den optimala kombinationen av vibrationsamplitud och frekvens. I detta sammanhang kan påpekas att färskastudier från vårt laboratorium antyder att vibrationsfrekvensen kan påverka den elektromyografiska (EMG) aktiviteten och ha akuta effekter på rörlighet och vertikal hoppförmåga (Cardinale & Lim 2003a och 2003b). Särskilt tydligt var detta för EMGaktiviteten i vastus lateralis muskeln som ökade efter helkropps vibration (Figur 2). Den största ökningen förelåg vid en vibrationsfrekvens av 30 Hz (134% av basnivån). Vidare sågs en skillnad mellan frekvenserna 30 och 50 Hz (20%) liksom mellan 40 och 50 Hz (10%). Denna preliminära undersökning indikerar att vibrationsfrekvensen har en effekt på muskelaktivering. När vibrationsfrekvensen manipulerades i studier av akuta effekter på flexibilitet och vertikalthopp resulterade helkropps vibration med låg frekvens (20 Hz) i en ökning av hamstringflexibilitet (13.5%) och vertikalthopp utan eftergift (3.9%)(Figur 3 och 4). En tendens till ökning sågs också i vertikalthopp med eftergift (2.3%). Helkropps vibration med högre frekvens hade inga signifikanta effekter på hoppförmåga eller rörlighet (Figur 3 och 4).

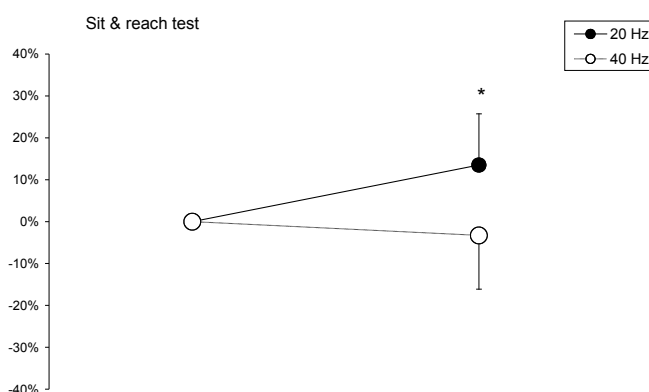
Fysiologiska mekanismer som kan mediera effekterna av vibration

Skelettmuskeln är en specialiserad vävnad som kan anpassa sin funktionella kapacitet som svar på olika typer av stimuli. Verkan av tyngdkraftsbelastning är av stor betydelse för muskelfunktion. Under normala förhållanden kan musklerna, tack vare att de utsätts för daglig belastning genom tyngdkraftens verkan, bibehålla sin funktionella kapacitet. Reducerad tyngdkraft (ex. vid tyngdlöshet i rymden) leder till en klar minskning i muskelmassa och förmåga att producera muskelkraft (se Fitts et al. 2001). Å andra sidan, om (tyngdkrafts-) belastningen på musklerna ökar, som vid styrketräning, plyometrisk träning och tyngdlyftningsövningar, ser man en anpassning i form av ökad tvärsnittareomå och förbättrad kraftgenererande förmåga hos musklerna (ex. Tesch 1988).

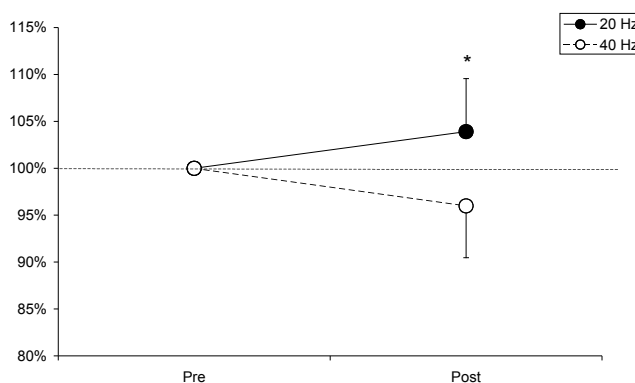
Vibration åstadkommer en ökning av tyngdkraftsbelastningen genom de höga accelerationer som överförs till kroppen. Den omständigheten att vibrationsstimulit är sinusformat till



Figur 2. Medelvärden (plus en standardavvikelse) för storleken på den elektromyografiska aktiviteten (EMGrms i millivolt, mV) från vastus lateralmuskeln registrerad under isometriska kontraktioner utan vibration ("isometric") och med vibration med frekvenserna 30, 40 och 50 Hz. Stjärnor indikerar signifikanta skillnader: *** = $p < 0.001$, * = $p < 0.05$; n.s. = icke-signifikant. (Cardinale & Lim 2003a)



Figur 3. Procentuell förändring av rörligheten i sittande höftflexion (sit & reach test) efter vibration med 20 respektive 40 Hz (se text). * = signifikant ökning, $p < 0.05$.



Figur 4. Procentuell förändring av hopp höjd utan eftergift efter vibration med 20 respektive 40 Hz (se text). * = signifikant ökning, $p < 0.05$.

sin karaktär ger också upphov till snabba och kortvariga förändringar i muskel-senkomplexet. Denna störning registreras av receptorer som modifierar muskelaktiviteten för att dämpa oscilleringarna. Mekaniska vibrationer som appliceras direkt på muskeln eller senan utlöser en reflexmässig muskelsammandragning som benämns tonisk

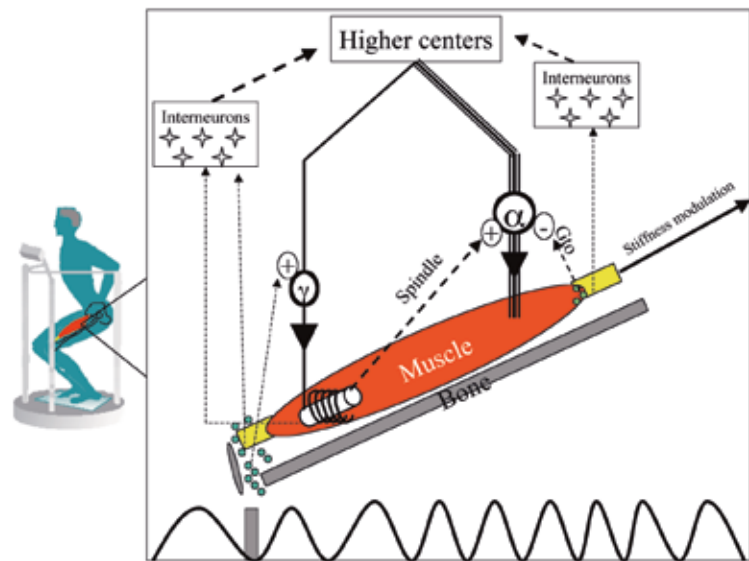
vibrationsreflex (TVR, Hagbarth & Eklund 1965). Denna reflexkontraktion orsakas av en retning av muskelpolarerna som leder till aktivering av den s.k. Ia-reflexbanan (Burke et al. 1976; Roll et al. 1989). Det råder fortfarande oenighet om sådana reflexsvar kan utlösas av lågfrekventa vibrationer (1-30 Hz) eller bara av höga frekvenser



med låg amplitud (100 Hz, 1 mm). Det finns dock vissa indikationer på att toniska vibrationsreflexer skulle kunna utlösas vid helkroppsvibration med frekvenser mellan 1-30 Hz (Seidel 1988).

Som nämnts har reflexsvaret på vibrationsstimulering huvudsakligen tillskrivits aktivering av muskelspoler, men man bör uppmärksamma att vibrationer också kan påverka andra receptorer i exempelvis sensor, hud och leder. Signaler från alla dessa receptorer kan leda till aktivering av det s.k. gammasystemet (Johansson et al. 1989; Sojka et al. 1991), vilket kan leda till aktivering av Ia-afferenterna och, i sin tur, till en aktivering av motorneuronen till muskeln (jämför Figur 5). Hollins & Roy (1996) fann att ett sinusformat stimulus med frekvensen mellan 10-100 Hz och liten amplitud applicerat på pekfinger toppen registrerades av s.k. Meissner och Pacinianreceptorer, vilka kan aktivera muskelspolarna. Andra studier har visat att högfrequent vibration (250 Hz) kan aktivera Pacinianreceptorer (Hamano et al. 1993). Påverkan på det neuromuskulära svaret på vibration skulle alltså kunna tillskrivas inte bara muskelspoler utan även andra sensoriska system i kroppen.

Den akuta förbättring av neuromuskulär funktion som rapporterats efter vibration är således troligen relaterad till en ökad känslighet hos sträckreflexen och därmed ökad aktivering av agonistmuskulaturen. Dessutom tycks vibration kunna leda till en inaktivering av antagonistiskt verkande muskulatur via inhibitoriska Ia nervceller (Eklund & Hagbarth 1965), vilket i så fall skulle leda till ett ändrat koordinationsmönster och ett mindre motverkande kraftmoment kring de aktuella lederna. Möjlig påverkan på centrala nervsystemet bör också övervägas. Studier har visat att den primära och sekundära somatosensoriska hjärnbarken tillsammans med den supplementära motoriska arean utgör den centrala enhet som integrerar afferenta signaler, t.ex. från muskler (Naito et al. 2000). Vibration med olika frekvenser som leder till illusion av rörelse har visat sig aktivera bl.a. delar av den supplementära motoriska arean i hjärnan (Naito et al. 2000). Dessutom har samma område visat sig vara aktiverad vid vibration initialt i viljemässiga rörelser (Cunnington et al. 2002). Vibration tycks alltså kunna leda till en ökad retbarhet av centrala och perifera neuronala strukturer, vilket skulle kunna ligga bakom de för-



Figur 5. Teoretisk modell av hur muskelstyvheten skulle kunna regleras under vibration.

bättringar i kraftproducerande förmåga som rapporterats efter relativt kortvarig vibrationsexponering.

Vibration har också visat sig påverka hormonregleringen. Akuta ökningar i blodkoncentrationer av testosteron och tillväxthormon har rapporterats efter akut helkroppsvibration på människa (Bosco et al. 2000). I vissa undersökningar spekuleras även i en samverkan mellan proprioception (ex. signaler från muskelspoler) och hormonsvar. Exempelvis har man sett en påverkan på kopplingen mellan signaler från muskelspoler och utsöndringen av tillväxthormon från hypofysen efter muskelaktivering orsakad av vibration av specifika muskler (McCall et al. 2000). Detta antyder att vibration kan leda till liknande hormonella svar som styrketräning.

Nya utvecklingslinjer

Vibration har föreslagits leda till gynnsamma effekter på benvävnad. En nyligen genomförd studie i vårt laboratorium tycks stödja detta. När vi exponerade individer som gick på en hög proteindiet för vibration fann vi en minskning av mängden calcium och fosfor i urinen jämfört med en kontrollgrupp utan vibration. Vi såg också en minskad mängd CTx i urinen, vilket pekar mot en reducerad aktivitet hos bennedbrytande celler (osteoclaster). Vibrationen i dessa försök utfördes med låg acceleration (3.5 g) under 10 minuter per dag. I andra försök i vårt laboratorium där vi studerat effekterna av vibration på hormonsvar och markörer för muskelskada, har vi sett anpassningar som liknar effekterna av

styrketräning. I en nyligen genomförd studie utsattes otränade individer för vibration som ledde till uttröttnings (10 set med 1 min vibration med 30 Hz). Uttröttnings manifesterades som en akut nedgång i maximal styrkeutveckling och i testosteronnivå, som återgick till ursprungsnivån efter 24 timmar efter vibrationen. Knäböjningar med 30% av kroppsvikten utförda på en vibrationsplatta ledde till en ökad blodkoncentration av kreatinkinase (CK, används som en indikator på muskelskada) 24 timmar efter vibrationen. Det är dock viktigt att påpeka att CK-nivåerna i blodet var lägre än de som vanligtvis ses efter maximala eccentrica kontraktioner. Dessa preliminära data antyder att vibration skulle kunna vara en intressant träningsmetod, men man vet ännu inte vilka protokoll som skulle vara optimala att använda.

Slutord

Muskel-senkomplexet verkar som ett filter som tar bort högfrekventa signaler och därmed dämpar överföring av vibrationer till muskelspolarna. Detta sker exempelvis i samband med de stötar som äger rum vid varje fotstättning i löpning. Dessa stötar producerar vibrationer som ligger i frekvensområdet 10-20 Hz (Nigg & Wakeling 2000). Mjukdelarna i benet dämpar dessa vibrationer och ändrar i och med detta sin "styvhet". Denna variation i styvhet regleras även av receptorer i muskler, sensor (Golgi senorgan, Gto i Figur 5), leder, ligament och hud. Enligt vår mening kan denna hypotes om "muscle tuning", framförd av Nigg & Wakeling



(2000) också kunna tillämpas för att förklara effekterna av vibration. Olika individer får olika effekter av olika vibrationsfrekvenser eftersom de har olika frekvensvarsområden på sina muskelspolar, olika antal receptorer i sina muskler, olika viskoelastiska egenskaper hos sina muskelsenkomplex samt olika fiberkomposition i sina muskler. Fler studier behövs för att belysa dessa möjligheter. Fler studier behövs också för att reda ut de många gånger motstridiga resultat som föreligger vad gäller såväl akuta som kroniska effekter av vibration.

Referenser

- Bosco C., Cardinale M., Colli R., Tihanyi J., von Duvillard S.P., & Viru A. (1998). The influence of whole body vibration on jumping ability. *Biol Sport*, 15(3): 157-164.
- Bosco C., Colli R., Introini E., Cardinale M., Madella, A., Tihanyi J., von Duvillard S.P., & Viru A. (1999a). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin. Physiol.* 19(2): 183-187.
- Bosco C., Cardinale M., & Tsarpela, O. (1999b) The influence of vibration on arm flexors mechanical power and emg activity of biceps brachii. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 79: 306-311.
- Bosco C., Colli, R., Cardinale M., Tsarpela O., Bonifazi, M., (1999c). The effect of whole body vibration on mechanical behavior of skeletal muscle and hormonal profile. *Musculo Skeletal Interactions; basic and clinical aspects. Volume 2: pp.67-76. Eds. GR Lyritis Hylo-nome Editions ISBN 960-86410-0-4*
- Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., Viru, M., De Lorenzo, A., & Viru, A. (2000). Hormonal responses to whole body vibrations in man. *Eur J Appl Physiol.* 81(6): 449-454
- Burke D, Hagbarth KE, Lofstedt L, and Wallin BG. (1976). The Responses of Human Muscle Spindle Endings to Vibration During Isometric Contraction. *J Physiol* 261(3):695-711
- Cardinale, M. & Pope M.H. (2003). The effects of vibration on humans: Dangerous or advantageous? *Acta Physiol Hung*, (90);3:195-206
- Cardinale, M., & Bosco, C. (2003). The effects of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sports Sci Rev*, 31(1): 3-7
- Cardinale, M., & Lim, J. (2003a) The acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jumping ability. *Med Sport*, 56: 287-292
- Cardinale, M., & Lim, J. (2003b). EMG activity in vastus lateralis muscle during whole body vibrations at different frequency. *J Strength Cond Res*, (17);3: 621-624
- Cunnington, R., Windischberger, C., Deecke, L., & Moser, E. (2002). The preparation and execution of self initiated and externally triggered movement: A Study of event-related fMRI. *Neuroimage*, 15 (2): 373-385
- Delecluse, C., Roelants, M., & Verschueren, S. (2003). Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6): 1033-1041
- de Ruiten, C.J., van der Linden, R.M., van der Zijden, M.J.A., Hollander, A.P. & de Haan, A. (2003a). Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *Eur J Appl Physiol*, 88: 472-475
- de Ruiten, C.J., van Raak, S.M., Schilperoort, J.V., Hollander, A.P. & de Haan, A. (2003b). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol*, 90(5-6): 595-600
- Eklund, G., & Hagbarth, K.E. (1966). Normal variability of tonic vibration reflexes in humans. *Exper Neurol*, 16: 80-92
- Fitts, R.H., Riley, D.R., & Widrick, J.J. (2001). Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *J Exp Biol*, 204: 3201-3208
- Hagbarth K.E. & Eklund (1965). Motor effects of vibratory stimuli in man. In: *Muscular Afferent and Motor Control*, edited by R. Granit. Proc. First Nobel Symp. Stockholm: Almqvist and Wiksell
- Hamano, T., Kaji, R., Diaz, A.F., Kohara, N., Takamatsu, N., Uchiyama, T., Shibasaki, H., & Kimura, J. (1993). Vibration-evoked sensory nerve action potentials derived from Pacinian corpuscles. *Electroencephal Clin Neurophysiol*, 89: 278-286
- Hollins, M., & Roy, E.A. (1996). Perceived intensity of vibrotactile stimuli: the role of mechanoreceptors channels. *Somatosens Mot Res*, 13: 273-286
- Horvath, M., Tihanyi, T., & Tihanyi, J. (2001). Effect of long term whole body vibration on uni- and bilateral isometric and eccentric torque of hemiplegic people. In R.Muller, H. Gerber, A. Stacoff (Eds), XVIIIth Congress of the International Society of Biomechanics, book of abstracts, pp.119-120
- Humphries, B., Warman, G., Purton, J., Doyle, T.L.A. & Dugan, E. (2004). The Influence of Vibration on Muscle Activation and Rate of Force Development During Maximal Isometric Contractions. *J Sports Science & Medicine*, 3: 16-22
- Issurin, V.B., Liebermann, D.G., Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sport Sci*, 12: 561-566
- Issurin VB and Tenenbaum G. (1999). Acute and Residual Effects of Vibratory Stimulation on Explosive Strength in Elite and Amateur Athletes. *J Sports Sci* 17(3):177-82.
- Johansson, H., Bergenheim, M., Djupsjöbacka, M., & Sjolander, P. (1995). A method for analysis of encoding of stimulus separation in ensembles of afferents. *J Neurosci Meth.*, 63: 67-74
- Kerschman-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, and Imhof H. (2001). Whole-Body Vibration Exercise Leads to Alterations in Muscle Blood Volume. *Clin Physiol* 21(3):377-82.
- McCall, G.E., Grindeland, R.E., Roy, R.R., & Edgerton, V.R. (2000). Muscle afferent activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *J Appl Physiol*, 89: 1137-1141
- Naito, E., Kinomura, S., Geyer, S., Kawashima, R., Roland, P.E., & Zilles, K. (2000). Fast reaction to different sensory modalities activates common fields in the motor areas, but the anterior cingulate cortex is involved in the speed of reaction. *J Neurophysiol*, 83: 1701-1709
- Nazarov, V., & Spivak, G. (1987). Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory and Practice of Physical Culture (Moscow)*, 12: 37-39
- Nigg, B.M., & Wakeling, J.M. (2000). Impact forces and muscle tuning: A new paradigm. *Exerc Sport Sci Rev*, 29(1):37-41
- Ribot-Ciscar, E., Vedel, J.P., & Roll, J.P. (1989). Vibration sensitivity of slowly and rapidly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot and leg. *Neurosci Lett*, 104(1-2):130-135
- Rittweger, J., Beller, G., & Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole body vibration exercise in man. *Clin Physiol*, 20 (2): 134-142
- Rittweger, J., Just, K., Kautsch, K., Reeg, P. & Felsenberg, D. (2002). Treatment of Chronic Lower Back Pain with Lumbar Extension and Whole-Body Vibration Exercise. *Spine*, 27(17): 1829-1834
- Roelants, M., Delecluse, C., Goris, M. & Verschueren, S. (2004). Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Training on Body Composition and Muscle Strength in Untrained Females. *Int J Sports Med*, 25: 1-5
- Roll JP, Vedel JP, and Ribot E. (1989). Alteration of Proprioceptive Messages Induced by Tendon Vibration in Man: a Microneurographic Study. *Exp Brain Res* 76(1):213-22
- Seidel, H. (1988). Myoelectrical reactions to ultra-low frequency and low-frequency whole-body vibration. *Eur J Appl Physiol*, 57: 558-562.
- Sojka, P., Sjolander, P., Johansson, H., & Djupsjöbacka, M. (1991). Influence from stretch sensitive receptors in the collateral ligaments of the knee joint on the gamma muscle spindle systems of flexors and extensors muscles. *Neurosci Res*, 11: 55-62
- Tesch, P.A. (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20(5):132-134
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T.A.H., Pasanen, M., Kontulainen, S., Jarvinen, T.L.N., Jarvinen, M., Oja, P., & Vuori, I. (2002a). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomised cross-over study. *Clin Physiol & Func Im*, 22: 145-152
- Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, Jarvinen TL, Jarvinen M, Oja P, Vuori I. (2002b). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* 34(9):1523-8
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T.A., Pasanen, M., Kontulainen, S., Nenonen, A., Jarvinen, T.L., Paakkala, T., Jarvinen, M., & Vuori, I. (2003). Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomised controlled study. *J Bone Miner Res*, 18(5): 876-84
- Wakeling J.M., & Nigg, B.M. (2001). Modification of soft tissue vibrations in the leg by muscular activity. *J Appl Physiol*, 90: 412-420
- Whedon, G.D., Deitrick, J.E., & Shorr, E. (1949). Modification of the effects of immobilisation upon metabolic and physiological functions of the normal men by the use of oscillating bed. *Am J Med*, 6: 684-710