

---

## **Kurzfristige neuronale Anpassungen an Ganzkörpervibration und Evaluation der zugrundeliegenden neuronalen Mechanismen**

(AZ 070608/10)

Albert Gollhofer (Projektleiter), Ramona Ritzmann & Andreas Kramer

Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaften

### **Problem**

Das Ganzkörpervibrationstraining gilt als zeiteffiziente Trainingsform, die die Leistungsfähigkeit steigern kann. Nach akuter Ganzkörpervibration konnten positive Anpassungen in Hinblick auf die Kraft- und Sprungfähigkeiten insbesondere bei Leistungssportlerinnen und -sportlern gezeigt werden (Rittweger, 2010). Die positiven Effekte und vor allem deren Wirkmechanismen konnten jedoch bisher nicht erklärt werden. Da akute Anpassungen nicht auf strukturelle Veränderungen, wie beispielsweise Veränderungen des Muskels (wie Hypertrophie oder Faser-Shift) zurückgeführt werden können, werden in der aktuellen Literatur Modulationen im neuronalen System für die Leistungssteigerungen verantwortlich gemacht (Crochane & Stannard, 2005; Rittweger, 2010). Bisher war jedoch nicht untersucht worden, welche Mechanismen die positiven Effekte der Ganzkörpervibration bewirken können.

Um den Effekt der Ganzkörpervibration besser verstehen zu können, sollte nun im Rahmen dieses Forschungsantrags erstmalig mit einem systematischen Ansatz der Einfluss unterschiedlicher Vibrationsdeterminanten (wie etwa Vibrationsfrequenz, Vibrationstyp und Körperposition des Trainierenden) auf die neuromuskuläre Aktivität bei Ganzkörpervibration evaluiert werden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie sollten Empfehlungen für die Gestaltung des Vibrationstrainings abgeleitet werden. Weiterhin sollte im Zuge dieses Projektantrags der Frage nachgegangen werden, ob und wie Ganzkörpervibration Reflexe beeinflussen kann. Dafür sollte zunächst der Einfluss der Ganzkörpervibration auf den H-Reflex auf elektrophysiologischer Ebene und auf den Muskeldehnreflex auf mechanischer Ebene untersucht werden. Darauf aufbauend sollte überprüft werden, ob der Reflexbeitrag in einem funktionellen Bewegungsablauf durch Ganzkörpervibration beeinflusst werden kann. Da gerade in den reaktiven Bewegungsabläufen wie etwa im Dehnungs-Verkürzungszyklus der reflektorischen Zusatzaktivierung ein wichtiger leistungsbestimmender Einfluss beigemessen wird (Trimble et al., 2000) wurde exemplarisch anhand von Hoppings die "Short-Latency Response" (SLR) vor und nach Ganzkörpervibration analysiert.

## Methoden

Die Studie bestand aus zwei Untersuchungsreihen: Der erste Teil befasste sich mit dem Einfluss der Determinanten im Vibrationstraining. Im zweiten Teil wurde der Effekt der Ganzkörpervibration auf Reflexantworten untersucht.

- A) In der ersten Untersuchung wurde der Effekt der Vibrationsfrequenz (5, 10, 15, 20, 25 und 30 Hz), des Vibrationstyps (seitalternierend und synchron oszillierend), der Körperposition der Probandin bzw. des Probanden (Kniewinkel: 5, 30 und 60°; Fußstellung: Vorfußstand und planes Stehen) und der Verwendung von Zusatzlast im Hinblick auf die neuromuskuläre Aktivität bei Ganzkörpervibration evaluiert. Veränderungen in der neuromuskulären Aktivierung des M. soleus (SOL), M. gastrocnemius medialis (GM), M. tibialis anterior (TA), M. rectus femoris (RF), M. vastus medialis (VM) und M. biceps femoris (BF) wurden mittels der Elektromyographie (EMG) erfasst. Um den Effekt der Vibration ermitteln zu können, wurde zu jeder der oben genannten Bedingungen ein Durchgang ohne Vibration aufgezeichnet. Die EMGs wurden rektifiziert, integriert und auf die jeweilige Standbedingung ohne Vibration normiert. Zur statistischen Untersuchung der Daten wurde eine Varianzanalyse durchgeführt [Vibrationstyp (2) x Frequenz (7) x Kniewinkel (3) x Fußposition (2) x Zusatzgewicht (2)]. Die statistischen Tests wurden nach Bonferroni korrigiert.
- B) Im zweiten Teil der Studie wurde der Effekt der Ganzkörpervibration auf drei verschiedene Reflexantworten im SOL untersucht: Zuerst wurde der Einfluss der Ganzkörpervibration auf die spinale Erregbarkeit auf elektrophysiologischer Ebene mittels der H-Reflex Technik erfasst. Zum Zweiten wurde die funktionelle Relevanz einer spinalen Erregbarkeitsänderung am mechanisch durch Dorsalflexion ausgelösten Muskeldehnreflex verifiziert. Drittens wurde überprüft, ob eine durch Vibration ausgelöste Änderung der spinalen Erregbarkeit auch auf den Reflexbeitrag im funktionellen Bewegungsablauf des reaktiven Sprungs übertragen werden kann. Dazu wurde das EMG im Zeitintervall der SLR von 30-60 ms nach Bodenkontakt bei Hoppings analysiert. Die Zeitpunkte der Reflexmessung wurden für alle drei Untersuchungen wie folgt festgelegt: vor Ganzkörpervibration (t1), unmittelbar nach Ganzkörpervibration (t2), 5 (t3) und 10 min nach Ganzkörpervibration (t4). Um statistisch zu untersuchen, ob die Ganzkörpervibration die Amplituden des H-Reflexes, des Dehnreflexes oder der SLR verändert, wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Alle statistischen Tests wurden nach Bonferroni korrigiert.

## Ergebnisse

- A) In allen untersuchten Muskeln war die EMG Aktivität während der seitalternierenden Ganzkörpervibration signifikant größer im Vergleich zur synchronen Ganzkörpervibration (SOL +65 %, GM +58 %, TA +56 %, BF +50 %, VM +64 % und RF +31 %;  $p < 0,05$ ). Außerdem zeigten alle Muskeln einen sukzessiven Anstieg der EMG Aktivität mit zunehmender Vibrationsfrequenz ( $p < 0,05$ ).

Dieser frequenzabhängige Anstieg war am deutlichsten ausgeprägt im SOL, GM und TA, also in denjenigen Muskeln, die sich proximal in Bezug auf das Vibrationsgerät befinden. Weniger stark ausgeprägt war dieser Effekt im BF, VM und RF, also in denjenigen Muskeln, die sich distal in Bezug auf das Vibrationsgerät befinden. Ferner verzeichneten alle Muskeln einen Anstieg der EMG Aktivität in den Bedingungen mit Zusatzgewicht im Vergleich zu jenen ohne Zusatzgewicht (SOL +21 %, GM +31 %, RF +18 %, VM +29 %, BF +52 % und TA +12 %  $p < 0,05$ ).

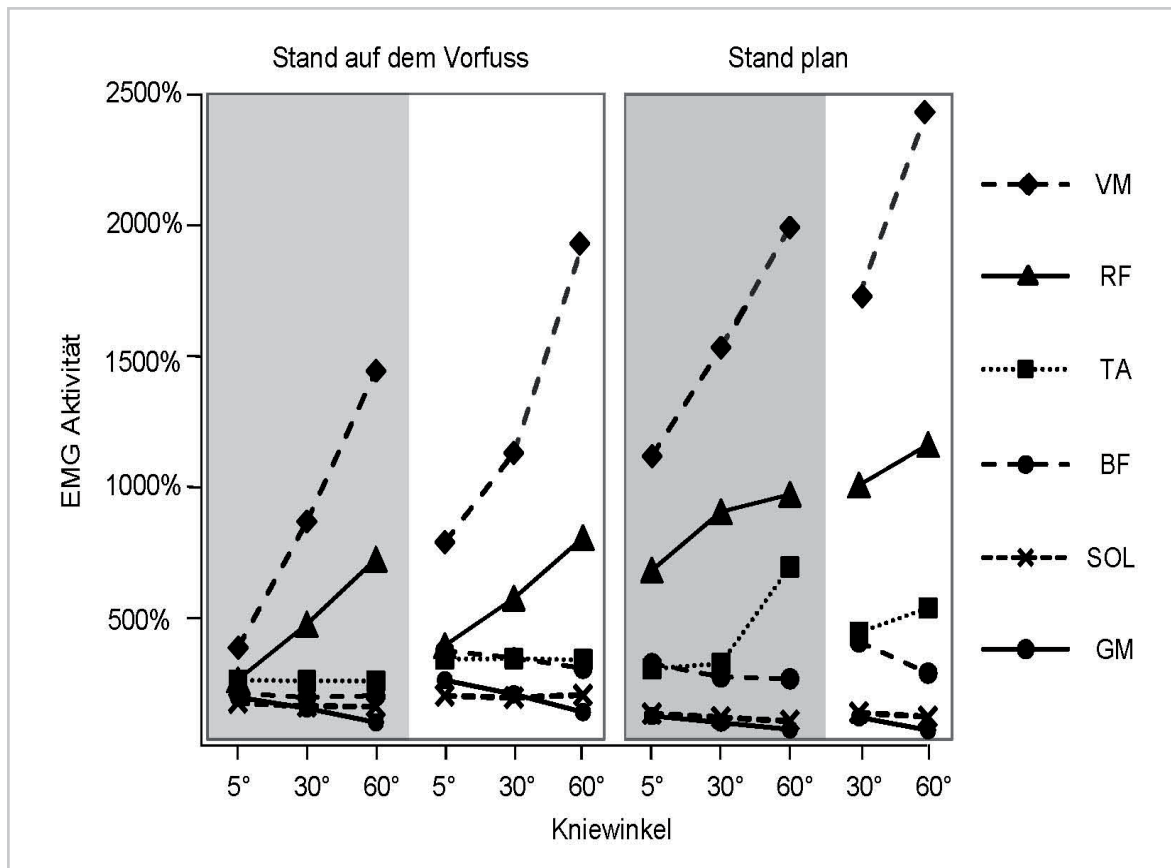


Abb. 1. Veränderung der neuromuskulären Aktivität während Ganzkörpervibration in Abhängigkeit des Kniwinkels (5, 30 und 60°), der Fußposition (Vorfußstand vs. planes Stehen) und der Zusatzlast (in grau die Bedingungen ohne Zusatzlast, in weiß die Bedingungen mit Zusatzlast).

Bei der Untersuchung zum Einfluss der Körperposition zeigte sich, dass die Veränderungen des Kniwinkels und der Fußstellung unterschiedliche Auswirkungen auf verschiedene Muskelgruppen haben: Während RF, VM und TA im 60° gebeugten Knie die höchsten EMG Antworten zeigten, war die neuromuskuläre Aktivierung im SOL, GM und BF im 5° gebeugten Knie am höchsten (Abb. 1). Im Vorfußstand zeigten die Plantarflexoren GM und SOL die höchsten EMG Antworten, wobei im planen Stand die neuromuskuläre Aktivierung im RF, VM, BF und TA am höchsten war.

B) Die H/M-Ratios zeigten eine signifikante Reduktion direkt nach sowie 5 und 10 Minuten nach der Ganzkörpervibration ( $t_1$ :  $0,55 \pm 0,19$ ;  $t_2$ :  $0,48 \pm 0,14$ ;  $t_3$ :  $0,48 \pm 0,16$  und  $t_4$ :  $0,50 \pm 0,16$ ;  $p < 0,05$ ). Diese Reduktion war mit -15 % am stärksten ausgeprägt direkt nach Ganzkörpervibration. Innerhalb der zehn Minuten nach Abbruch der Ganzkörpervibration erholten sich die H/M-Ratios (Abb. 2). Die mechanisch ausgelösten Dehnreflexe zeigten direkt nach der Ganzkörpervibration eine signifikante Reduktion um 30 % ( $t_1$ : 1;  $t_2$ :  $0,70 \pm 0,28$ ;  $t_3$ :  $0,86 \pm 0,28$ ;  $t_4$ :  $1,01 \pm 0,27$ ,  $p < 0,05$ ). Danach konnte ähnlich wie in der H-Reflex Messung eine sukzessive Erholung der Dehnreflexamplitude beobachtet werden (Abb. 2). Die SLR während der Hoppings veränderte sich nicht durch Ganzkörpervibration ( $t_1$ : 1;  $t_2$ :  $1,02 \pm 0,18$ ;  $t_3$ :  $1,07 \pm 0,21$ ;  $t_4$ :  $1,08 \pm 0,22$   $p = 0,14$ )

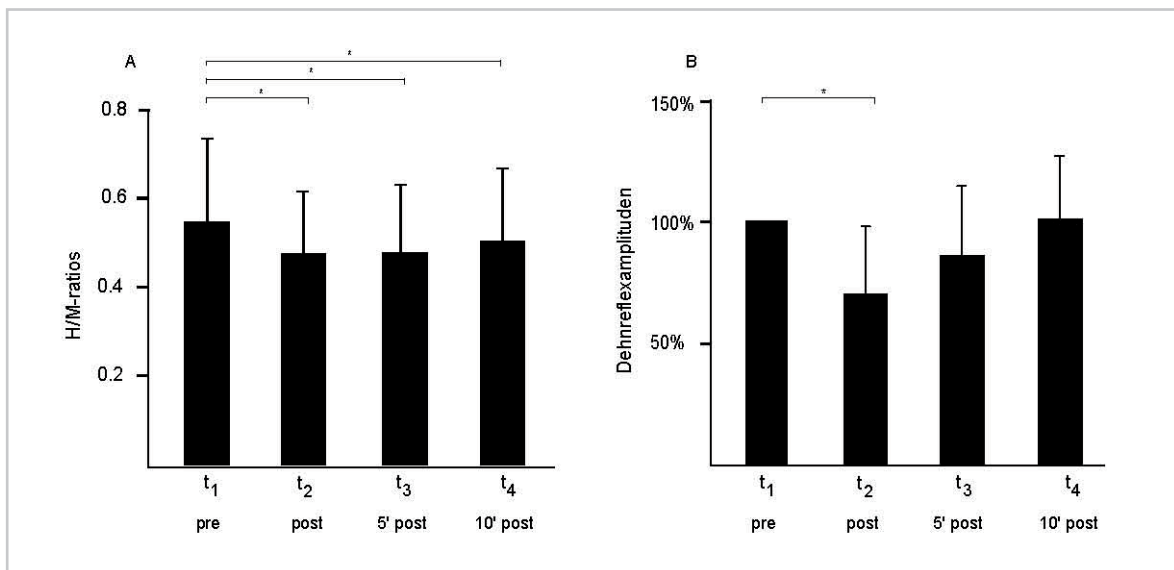


Abb. 2. A zeigt den Mittelwert und die Standardabweichung der H/M-Ratios und B den Mittelwert und die Standardabweichung der Dehnreflexamplituden (normiert auf t<sub>1</sub>) des gesamten Probandenkollektivs vor (t<sub>1</sub>), direkt nach (t<sub>2</sub>), 5 (t<sub>3</sub>) und 10 Minuten nach (t<sub>4</sub>) Ganzkörpervibration. Sowohl die H/M-Ratios als auch die Dehnreflexe zeigten eine starke Reduktion unmittelbar nach Ganzkörpervibration, erholten sich aber sukzessive innerhalb der 10 Minuten nach Ganzkörpervibration. Statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) sind mit \* markiert.

## Diskussion

Aus beiden Experimenten ergeben sich eine Reihe theoretischer und praktischer Überlegungen, die nun im Folgenden diskutiert und zusammengefasst werden sollen.

In der ersten Untersuchungsreihe zu den Determinanten des Vibrationstrainings konnte gezeigt werden, dass das schrittweise Steigern der Vibrationsfrequenz auch zum schrittweisen Anstieg der neuromuskulären Aktivierung der Muskeln führt. Eine physiologische Erklärung für diese Beobachtung könnten jüngst publizierte Arbeiten von Cochrane et al. (2009) und Ritzmann et al. (2010) liefern; beide schließen aus ihren Ergebnissen, dass die Ganzkörpervibration eine frequenzabhängige Aneinanderreihung von Dehnreflexen erzeugt, die wiederum zu einem frequenzabhängigen Anstieg der EMG Aktivität führt. Obgleich der Zusammenhang von EMG Aktivierung und Vibrationsfrequenz in allen aufgezeichneten Muskeln zu beobachten ist, zeigen insbesondere jene Muskeln, die sich am Unterschenkel befinden, stärkere Effekte im Vergleich zu jenen des Oberschenkels. Erklärungsmodelle für diese Beobachtungen können Arbeit von Bressel et al. (2010) und Pel et al. (2009) liefern, denn sie dokumentieren unterschiedliche Transmissionen des Vibrationsstimulus in Abhängigkeit von der Nähe zum Vibrationsgerät: so konnte festgestellt werden, dass die Beschleunigung vom Fuß über das Knie zur Hüfte je um den Faktor 10 abnimmt (Pel et al., 2009). Diese Abnahme könnte auch die Ursache dafür sein, dass die Muskeln an den verschiedenen Körpersegmenten unterschiedlich stark von der Vibration betroffen sind. Unabhängig von der Vibrationsfrequenz konnte gezeigt werden, dass sich durch die Verwendung von Zusatzlast die neuromuskuläre Aktivierung während der Ganzkörpervibration steigern lässt. Einen ungleich größeren Einfluss scheint allerdings der Vibrationstyp zu haben: bei der Verwendung einer seitalternierenden Plattform konnten eine bis zu 60 % höhere EMG Aktivität im Vergleich zur synchron vibrierenden Platte dokumentiert werden. Aus diesen Ergebnissen lässt sich zusammenfassend ableiten, dass die Kombination aus hochfrequentem Vibrationstraining auf einem seitalternierenden Vibrationsgerät mit Zusatzlast die höchsten neuromuskuläre Aktivierung während eines Ganzkörpervibrationstrainings verursacht. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die Körperposition des Trainierenden die neuromuskuläre Aktivität während des Vibrationstrainings ebenfalls beeinflusst. Liegt der Fokus des Vibrationstrainings auf der Oberschenkelmuskulatur, dann empfiehlt sich, das Vibrationstraining in gebeugter Knieposition durchzuführen. Entspricht es dem Trainingsziel, vor allem die Unterschenkelmuskulatur zu trainieren, dann sollte im Vorfußstand ohne Fersenkontakt trainiert werden.

In der zweiten Untersuchungsreihe wurden Kurzzeiteffekte der Vibration auf das Verhalten von Reflexen untersucht. Während die Ganzkörpervibration den H-Reflex und Dehnreflex stark und über einen längeren Zeitraum nach Vibration reduzierte, zeigte die SLR keine Veränderungen. Die hierarchische Anordnung des Experiments – vom elektrophysiologisch ausgelösten H-Reflex zum Reflexbeitrag, der komplex in einen Bewegungsablauf eingebunden ist – und die daraus gewonnenen Erkenntnisse führen zu folgender Überlegung: Die spinale Erregbarkeit ist durch Ganzkörpervibration reduziert, was bedeutet, dass das Ausmaß der Weiterleitung la afferenter Signale zum  $\alpha$ -Motoneuron (la afferente Signale können präsynaptisch

gehemmt werden) oder der Erregungszustand des  $\alpha$ -Motoneurons verändert ist. Die Reduktion der spinalen Erregbarkeit scheint jedoch kompensiert beim reaktiven Springen. Bei diesen schnell ablaufenden Kontraktionen im Dehnungs-Verkürzungszyklus, wie sie etwa bei den Hoppings auftreten, wird dem Dehnreflex eine wichtige funktionelle Bedeutung beigemessen. Dem Dehnreflex wird die Eigenschaft zugeschrieben, die muskuläre Aktivität zeitgenau zu erhöhen und dadurch die muskuläre Stiffness zu steigern. Aufgrund der funktionellen Bedeutung des Dehnreflexes im Dehnungs-Verkürzungszyklus ist es notwendig, dass die Reduktion der spinalen Erregbarkeit nach Ganzkörpervibration durch bahnende Einflüsse oder durch einen erhöhten zentralen Drive absteigender Bahnen vom Gehirn kompensiert werden. Daher lässt sich schlussfolgern, dass akute Ganzkörpervibration Reflexe zu beeinflussen vermag, denn auf niedrigen Komplexitätsniveaus sind H-Reflexe und Dehnreflexes stark gehemmt. Die Verringerung der spinalen Erregbarkeit ist jedoch in komplexen Bewegungsablauf wie dem des reaktiven Sprungs nicht sichtbar oder wird kompensiert. In jedem Fall kann die Verbesserung der Sprungleistung in Folge eines Ganzkörpervibrationstrainings nicht wie in der Literatur beschrieben (Cochrane & Stannard, 2005) auf höhere Reflexaktivität zurückgeführt werden.

## Literatur

- Bressel, E., Smith, G. & Branscomb, J. (2010). Transmission of whole body vibration in children while standing. *Clinical biomechanics* 25 (2), 181–186.
- Cochrane, D. J. & Stannard, S. R. (2005). Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players. *British journal of sports medicine* 39 (11), 860–865.
- Cochrane, D. J., Loram, I. D., Stannard, S. R. & Rittweger, J. (2009). Changes in joint angle, muscle-tendon complex length, muscle contractile tissue displacement, and modulation of EMG activity during acute whole-body vibration. *Muscle nerve* 40 (3), 420–429.
- Pel, J. J. M., Bagheri, J., van Dam, L. M., van den Berg-Emons, H. J. G., Horemans, H. L. D., Stam, H. J. & van der Steen, J. (2009). Platform accelerations of three different whole-body vibration devices and the transmission of vertical vibrations to the lower limbs. *Medical engineering & physics* 31, 937–944.
- Ritzmann, R., Kramer, A., Gruber, M., Gollhofer, A. & Taube, W. (2010). EMG activity during whole body vibration: motion artifacts or stretch reflexes? *European journal of applied physiology* 110 (1), 143–151.
- Rittweger, J. (2010). Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *European journal of applied physiology* 108 (5), 877–904.
- Trimble, M. H., Du, P., Brunt, D. & Thompson, F. J. (2000). Modulation of triceps surae H-reflexes as a function of the reflex activation history during standing and stepping. *Brain research* 858 (2), 274–283.