

---

# **Auswirkungen eines singulären und mehrwöchigen Ganzkörpervibrationstrainings auf die neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks bei Sportlern**

Mark Melnyk & Albert Gollhofer (Projektleiter)

Universität Freiburg

Institut für Sport und Sportwissenschaften

## **1 Problemstellung**

Das Ganzkörpervibrationstraining (GKV) wird zunehmend im Sport, in der Prävention und auch in der Rehabilitation als eine additive Trainingsmethode genutzt (Cardinale & Wakeling, 2005). Im Gegensatz zu den Erkenntnissen bezüglich der verbesserten Kraftentwicklung (Roelants et al., 2004; Delecluse, Roelants & Verschueren, 2003) ist der Effekt eines Vibrationstrainings auf die neuromuskuläre Gelenkstabilisierung bis heute unbekannt. Dieser Aspekt ist für den Sportler jedoch von großer Bedeutung, da das Vibrationstraining zunehmend als additive Trainingsform benutzt wird und möglicherweise eine Veränderung in der neuromuskulären Gelenkskontrolle hervorrufen kann. Vor allem hinsichtlich der vorderen Kreuzbandruptur (VKB), als eine der schwerwiegendsten Sportverletzungen (Hawkins & Fuller, 1998), ist die Kenntnis der Wirkungsweise von GKV auf die neuromuskuläre Kniegelenkskontrolle im Sinne der Verletzungsprävention von essentieller Bedeutung. Bisherige Studien wiesen sowohl eine direkte Reflexverschaltung zwischen dem vorderen Kreuzband (VKB) und der ischiocruralen Muskulatur intraoperativ (Friemert, Faist & Melnyk, 2005) als auch eine Reflexantwort unterschiedlicher Signalanteile unter funktionellen Bedingungen nach (Melnyk & Gollhofer, 2007), die einen möglichen protektiven Charakter für das VKB besitzen (Solomonow & Krogsgaard, 2001).

Das Ziel dieser Studie war es, den Einfluss eines singulären und vierwöchigen Ganzkörpervibrationstrainings auf die reflektorische Aktivität der ischiocruralen Muskulatur als Synergist des vorderen Kreuzbandes und der ventralen Oberschenkelmuskulatur während einer mechanisch induzierten posterior-anterioren Tibiatranslation zu untersuchen und darüber hinaus die funktionelle Bedeutung der Oberschenkelmuskulatur auf die Kniegelenksstabilität zu evaluieren.

## 2 Methode

In der vorliegenden Studie wurden 18 gesunde Probanden (n=13 Trainingsgruppe, n=5 Kontrolle) untersucht. Die Probanden wurden aufgefordert einen bipedalen Stand in einer 30°-Knieflexion einzunehmen. Um eine posterior-anteriore Tibiatranslation zu hervorzurufen, wurde über einen Seilzug ein definierter Impuls in den Unterschenkel des rechten Beins mit einer anterioren Wirkungsrichtung parallel zum Verlauf des Tibiakopfplateaus eingeleitet. Die eingeleitete Kraft wurde mittels eines zwischen dem Tragegestell und dem Gewicht implementierten Kraftaufnehmers ermittelt. Die Relativbewegung zwischen Tibia und Femur wurde mit einer an der Tibia fixierten Tragevorrichtung detektiert, an der zwei Linearpotentiometer angebracht waren, die auf der Patella und auf der Tuberositas Tibae platziert wurden. Der detektierte Beginn der Tibiabewegung wurde gleichzeitig als Triggersignal für den Beginn der Reflexzeitbestimmung verwendet. Jede Probandenmessung bestand aus 15 Einzelmessungen.

Die reflektorische Aktivität der Oberschenkelmuskulatur wurde mit Hilfe der Oberflächenelektromyographie (EMG) abgeleitet. Selbstklebende bipolare Elektroden wurden in longitudinaler Richtung auf dem Muskelbauch des M. biceps femoris, des M. semitendinosus/ M. semimembranosus, M. rectus femoris, M. vastus medialis und des M. vastus lateralis des rechten Untersuchungsbeins platziert. Die Referenzelektrode wurde auf der Patella angebracht. Vor der Elektrodenapplikation wurde die Haut rasiert und mit Alkohol desinfiziert. Die Muskelaktivität der Oberschenkelmuskulatur wurde mit Hilfe einer selbstentwickelten EMG-Software aufgezeichnet und analysiert. Zur EMG-Auswertung wurden die Signale gleichgerichtet und gemittelt. Generell wurden mittels des installierten Messsystems bei jeder Messung die Signale der EMGs mit einer Abtastfrequenz von 2000 Hz eingezogen, gleichgerichtet und gemittelt und synchron der Weg der posterior-anterioren Tibiatranslation aufgezeichnet. Zur Bestimmung der Reflexlaufzeiten der einzelnen Muskeln wurde manuell der Trigger auf den jeweils vorliegenden Beginn der Tibiatranslation und auf die jeweils vorliegenden Anstiege der eintreffenden Muskelantworten gesetzt. Das bestimmte Zeitintervall entsprach somit der Latenz des betreffenden Muskels. Ferner wurde das integrierte EMG (iEMG) der biphasischen Reflexantwort der Muskelspindelafferenzen berechnet (SLR, MLR; Melnyk & Gollhofer, 2007), um eine mögliche Veränderung in der Güte der Reflexantwort festzustellen.

Beim Vibrationstraining wurden die Probanden instruiert, auf einer Vibrationsplatte einen bipedalen aufrechten Stand einzunehmen. Hierbei zeigten die Füße eine leichte Außenrotation (<5°) und der Knieflexionswinkel betrug 30°. Die Ganzkörpervibration wurde mit einer Frequenz von 30 Hz bei einer vertikalen Bewegungsamplitude von 4 mm nach plantar eingeleitet. Die Vibrationsdauer betrug 3 x 60 Sekunden. Nach jedem Vibrations-

training erfolgte eine Pause von 30 Sekunden. Die Probanden der vierwöchigen Trainingsgruppe absolvierten dreimal pro Woche die o. g. Intervention.

### **3 Ergebnisse**

Alle Probanden berichteten über keinerlei schmerzhaft empfundene Empfindungen während oder nach dem Ganzkörpervibrationstraining. Darüber hinaus brach keiner der Probanden die Studie ab.

Die Ergebnisse des singulären Trainings zeigen eine signifikante Verbesserung der Kniegelenksstabilität. Der Weg der ventralen Tibiatranslation verringerte sich nach dem singulären Vibrationstraining signifikant. Korrespondierend dazu wurde eine höhere Reflexaktivität (iEMG) der short latency response (Gruppe I Afferenzen) in der ischiokruralen Muskulatur gefunden. In den übrigen untersuchten Muskeln wurden keine Veränderungen hinsichtlich der iEMGs gemessen. Im Weiteren wurden die Latenzzeiten aller Muskelantworten von dem singulären Vibrationstraining nicht beeinflusst.

Nach der vierwöchigen Trainingsperiode fand sich in allen Muskeln eine signifikante Reduktion der reflektorischen Muskelaktivität. Die iEMGs waren bis zu 60 % im Vergleich zur Messung vor der Trainingsintervention reduziert. Bei den Latenzzeiten konnten wie nach dem singulären Vibrationsreiz keine statistisch signifikanten Differenzen gemessen werden. Die Ergebnisse der untersuchten posterior-anterioren Tibiatranslation zeigten einen signifikant geringeren Tibiavorschub als vor dem Training.

In der Kontrollgruppe fanden sich weder für den Messzeitpunkt nach singulärem noch nach vierwöchigem Training signifikante Unterschiede in den Messparametern Tibiatranslation, Latenzzeiten und motorischen Aktivität (iEMG).

### **4 Diskussion**

Die vorliegende Studie lässt vermuten, dass ein Ganzkörpervibrationstraining einen positiven Effekt auf die Kniestabilität besitzt. Unter der Annahme, dass die ischiokrurale Muskelaktivität dem Tibiavorschub entgegenwirken kann, sind die Ergebnisse mit der erhöhten motorischen Aktivität und der geringeren Tibiatranslation nach einem singulären Training plausibel. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass das einmalige Ganzkörpervibrationstraining nur eine erhöhte Reflexaktivität in der SLR hervorruft und die MLR der ischiokruralen Muskulatur dagegen unbeeinflusst bleibt. Daher ist es wahrscheinlich, dass die MLR vermittelnden Gruppe II Afferenzen (Grey et al., 2001) nicht von der Ganzkörpervibration beeinflusst werden, während die SLR vermittelnden Gruppe I Afferenzen (Bove, Nardone & Schieppati, 2003) auf den Vibrationsstimulus reagieren. Diese Beobachtung bestätigt Studienergebnisse, dass Vibrationen überwiegend die Erregbarkeit der

nuclear chain, die von Gruppe Ia Afferenzen fortgeleitet wird, verändern (Burke et al., 1976). Erhöhte Entladungsraten der Muskelspindeln in einer ad-hoc-Situation, wie sie in unserer Studie durchgeführt wurden, können möglicherweise auf eine Modifikation des Tonic Vibration Reflexes (Hagbarth & Eklund, 1966) zurückgeführt und mit einer damit verbundenen Erhöhung der efferenten Signale in Verbindung gebracht werden (Matthews 1966). Bosco et al. (1999) sowie Issurin, Liebermann und Tenenbaum (1994) fanden eine Zunahme der Kraftentwicklung nach Ganzkörpervibration und sahen den Grund in einer effizienteren Gestaltung der neuromuskulären Koordination im Sinne einer synchronisierten muskulären Aktivität bzw. in einer größeren Anzahl rekrutierter motorischer Einheiten, die die höhere ischiokrurale Muskelaktivität in der SLR erklären könnte.

Die Ergebnisse nach vierwöchiger Intervention zeigen eine gegenläufige Ausprägung des Zusammenhangs zwischen ischiokruraler Muskulatur und Kniestabilität. Die bisherigen Erkenntnisse (Krogsgaard & Solomonow, 2002), die mit einer höheren Muskelaktivität eine verbesserte Kniestabilität assoziiert sahen, können für die vorliegenden Ergebnisse nicht in Anspruch genommen werden. Dass sich trotz der signifikant verringerten Muskelaktivität die Kniestabilität verbesserte, lässt auf einen anderen zugrunde liegenden Mechanismus schließen. Die sogenannte „muscle tuning theory“ könnte als ein Erklärungsmodell angeführt werden. Hierbei wird postuliert, dass auf den Körper wirkende Vibrationen die intrinsischen neuromuskulären Eigenschaften substantiell verändern (Cardinale & Wakeling, 2005). Yue und Mester (2002) zeigten in einer Simulationsstudie, dass der Muskel-Sehnen-Komplex nach einer Vibrationsapplikation signifikant weniger an Energie abgab als aufgenommen wurde. Das beobachtete mechanische Verhalten der viskoelastischen Eigenschaften des Muskels legt den Verdacht nahe, dass das Weichteilgewebe in der Lage ist, eingeleitete Energie vermehrt zu absorbieren. Ferner wiesen Nigg und Liu (1999) auf die Bedeutung der Muskulatur hinsichtlich einer höheren Stiffness-Regulation des Muskel-Sehnen-Komplexes bei der Absorption von externen Stoßbelastungen hin. So könnten die in der vorliegenden Studie applizierten Vibrationen einerseits zu einer erhöhten Stiffness-Regulation der Muskulatur führen und andererseits eine höhere Energieaufnahme induzieren, was die verbesserte Kniestabilität bei gleichzeitiger Abnahme der reflektorischen Muskelaktivität erklären könnte.

Trotz dieser positiven Effekte gibt es bisher keine Hinweise, wie lange diese gemessenen Veränderungen nachzuweisen sind. Ebenfalls ist noch nicht bekannt, in welcher Weise ein Ganzkörpervibrationstraining die Propriozeption der Gelenke, die vor allem bei komplexen Bewegungen eine bedeutende Rolle spielt, beeinflusst. Aus diesen Gründen sollten die vorliegenden Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden.

## 5 Literatur

- Bosco, C., Colli, R., Introini, E., Cardinale, M., Tsarpela, O., Madella, A., Tihanyi, J. & Viru, A. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology*, 19 (2), 183-187.
- Bove, M., Nardone, A. & Schieppati, M. (2003). Effects of leg muscle tendon vibration on group Ia and group II reflex responses to stance perturbation in humans. *Journal of Physiology*, 15 (550), 617-630.
- Burke, D., Hagbarth, K. E., Lofstedt, L. & Wallin, B. G. (1976). The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. *Journal of Physiology*, 261 (3), 673-693.
- Cardinale, M. & Wakeling, J. (2005). Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *British Journal of Sports Medicine*, 39 (9), 585-589.
- Delecluse, C., Roelants, M. & Verschueren, S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (12), 1033-1041.
- Grey, M. J., Ladouceur, M., Andersen, J. B., Nielsen, J. B. & Sinkjaer, T. (2001). Group II muscle afferents probably contribute to the medium latency soleus stretch reflex during walking in humans. *Journal of Physiology*, 1 (534), 925-933.
- Hagbarth, K. E. & Eklund, G. (1966). Tonic vibration reflex (TVR) in spasticity. *Brain Research*, 2, 201-203.
- Hawkins, R. D. & Fuller, C. W. (1998). An examination of the frequency and severity of injuries and incidents at three levels of professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 32 (4), 326-332.
- Krogsgaard, M. & Solomonow, M. (2002). The sensory function of ligaments. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12 (3), 165.
- Matthews, P. B. (1966). The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to wrist tendon. *Journal of Physiology*, 184, 450-472.
- Friemert, B., Faist, M., Spengler, C., Gerngross, H., Claes, L. & Melnyk, M. (2005). Intraoperative direct mechanical stimulation of the anterior cruciate ligament elicits short and medium latency hamstring reflexes. *Journal of Neurophysiology*, 94 (6), 3996-4001.
- Issurin, V. B., Liebermann, D. G. & Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *Journal of Sports Science*, 12 (6), 561-566.
- Melnyk, M. & Gollhofer A. (2007). Submaximal fatigue of the hamstrings impairs specific reflex components and knee stability. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* (in press).
- Nigg, B. M. & Liu, W. (1999). The effect of muscle stiffness and damping on simulated impact force peaks during running. *Journal of Biomechanics*, 32 (8), 849-856.
- Roelants, M., Delecluse, C., Goris, M. & Verschueren, S. M. (2004). Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *International Journal of Sports Medicine*, 25 (1), 1-5.

- Solomonow, M. & Krogsgaard, M. (2001). Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11 (2), 64-80.
- Yue, Z. & Mester, J. (2002). A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. *Journal of Biomechanics*, 35 (5), 639-647.