

G. Berschin, H.-M. Sommer

Vibrationskrafttraining und Gelenkstabilität: EMG-Untersuchungen zur Wirkung von Vibrationsfrequenz und Körperhaltung auf Muskelaktivierung und -koaktivierung

Vibration strength training and joint stabilization: EMG based examination of the influence of vibration frequency and posture on muscle activation and co-activation

Abteilung Sportmedizin, Institut für Sportwissenschaft und Motologie, Universität Marburg

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, im Rahmen einer elektromyographischen Untersuchung zu überprüfen, wie sich die EMG-Aktivität von Agonist und Antagonist beim Training auf einer Vibrationsplattform in Abhängigkeit von Frequenz und Rumpfhaltung ändert.

Dazu wurde bei 15 männlichen und 15 weiblichen sportstudierenden Probanden (Alter: 24 (19-28) Jahre) die integrierte EMG-Aktivität (iEMG-Aktivität) von M. rectus femoris und M. biceps femoris bei einer gehaltenen Viertelkniebeuge auf einer Trainingsplattform erhoben.

Die Ergebnisse zeigen in der Spontanhaltung eine linear ($r=0,97$; $p<0,01$) mit der Vibrationsfrequenz zunehmende Koaktivierung beider Muskeln. Eine Haltungskorrektur, eingeleitet durch eine willkürliche Aktivierung der Bauch- und Rückenmuskulatur, ergab bei der iEMG-Aktivität des M. rectus femoris keine Änderung der Aktivität, jedoch eine signifikant erhöhte Aktivität des M. biceps femoris ($p<0,05$).

Somit konnte gezeigt werden, dass ein Training auf Vibrationsplattformen eine Koaktivierung von Beuger und Strecker der unteren Extremitäten hervorruft, die unter dem Aspekt einer stabilen Gliedmaßenführung als positiv betrachtet werden kann. Das deutet darauf hin, dass ein Krafttraining auf Vibrationsplattformen - neben der nachgewiesenen Wirksamkeit auf maximal- und schnellkräftige Kraftfähigkeiten - den Vorteil eines gleichzeitigen Trainings der aktiven Gliedmaßenstabilisierung, insbesondere durch Kräftigung der ischiocruralen Muskulatur, hat.

Schlüsselwörter: EMG, Koaktivierung, Körperhaltung, Krafttraining, Vibrationsbelastung

Einleitung

Ein Training auf Vibrationsplattformen erwies sich in einigen Studien zur Verbesserung von Kraftfähigkeiten (1, 3, 9, 16) und der Abstimmung des neuromuskulären Systems als geeignet (1). Es wird vermutet, dass die Wirksamkeit auch auf einer verstärkten Koaktivierung der Muskelschlingen durch diese spezifische Trainingsbelastung beruht. Eine Koaktivierung als eine synergistische Aktivierung von Agonist und Antagonist bei der Gliedmaßenstabilisation gilt als eine bedeutsame Voraussetzung für die muskuläre Stabilisation von Gelenken. Sie entspricht auch dem in der Statik ver-

Summary

The aim of this study was to determine the relation between electromyographic activity of lower extremity extensor and flexor muscle by the vibration-frequency on vibration platform training. An additional goal was to determine whether or not active postural changes with a raised pelvis could influence the EMG pattern.

In a group of 15 male and 15 female sport-students the EMG activity of M. rectus femoris and M. biceps femoris in an isometric held squat was measured using a vibration training platform.

The results show, under normal posture conditions, a straight linear correlation ($r=0,97$; $p<0,01$) with the vibration-frequency and an increasing co-activation of both muscles. A change of posture with the pelvis raised by contracting abdominal and gluteal muscles did not lead to significant changes of M. rectus femoris iEMG pattern, but led to significant changes ($p<0,05$) in M. biceps femoris iEMG pattern.

This study has shown that vibratory training on platforms leads to an increased co-activation of lower extremity extensor and flexor muscles, which is considered to have a positive effect on joint stabilization. It can be concluded that training on vibration-platforms is not only effective for increasing maximum and velocal strength but also has the advantage of active joint stabilization.

Key words: EMG, co-activation, posture, muscle training, vibratory stimulation

folgten Gegenspannungsprinzip, das eine optimale Stabilität mit möglichst geringem Materialaufwand verbindet und auch bezüglich des Haltungs- und Bewegungsapparates unverzichtbar ist (4). Eine Belastbarkeitsoptimierung nach diesem Prinzip ist nicht nur in Hinblick auf die sportliche Leistungsfähigkeit, sondern auch unter dem Gesichtspunkt der Verletzungs- und Überbelastungsprävention und nicht zuletzt dem der Rehabilitation von Interesse. Die Herstellung einer Koaktivierung der Mm. ischiocrurales zum M. quadriceps femoris stellt deshalb zu recht ein bedeutsames Ziel der Rehabilitation nach einer vorderen Kreuzbandoperation dar. Dabei ist nicht nur der Schutz des vorderen Kreuzbandtrans-

plantates über die synergistische Wirkung der Mm. ischiocrurales zu erwarten, sondern auch die Optimierung der muskulären Kniegelenkstabilisation (6).

Eine spezielle Möglichkeit des Trainings von und in der Koaktivierung sind Vibrationsplattformen. Dazu ist bereits bekannt, dass ein Krafttraining auf Vibrationsplattformen und die damit erzielte rhythmische neuromuskuläre Stimulation (10) in Abhängigkeit von Vibrationsfrequenz und -amplitude nicht nur in der agonistisch arbeitenden Muskulatur eine verstärkte Innervierung und Rekrutierung motorischer Einheiten (tonic vibration reflex) hervorruft, sondern dass dieser Effekt auch in der antagonistischen Muskulatur festgestellt werden kann (12). Diese Koaktivierung und insbesondere eine Verstärkung derselben wird allerdings nicht nur als positiver Effekt (12) eingeschätzt, sondern auch als ein Zeichen der Ermüdung (8), wofür jedoch bisher keine direkte kausale Erklärung gefunden wurde. Berschin (2) konnte hingegen belegen, dass sich mit der Ermüdung beim Sprung die Koaktivierung der Knieflexoren in Relation zu den -extensoren reduziert und mit einer verstärkten Ausweichbewegung der unteren Extremität einhergeht; diese Ausweichbewegung ist Ausgangsursache von verschiedenen vor allem in der Ermüdung auftretenden Verletzungen und Überbelastungsschäden (2).

Die Koaktivierung von Extensoren und Flexoren ist auch als Stammhirnreaktion in der Motorikregelung von zentraler Bedeutung und wird u. a. gemäß Vojta (15) durch die Haltung des Rumpfes und Kopfes maßgeblich beeinflusst. Dabei kann in dem Maße mit einer verstärkten Koaktivierung gerechnet werden, in dem die Rumpfaufrichtung und damit besonders die Beckenaufrichtung zunimmt. Hofmeier (7) und Weist (17) belegen einen Einfluss der Rumpfaufrichtung nicht nur auf die Koaktivierung der Mm. ischiocrurales, sondern auch auf die propriozeptiven Eigenschaften des Kniegelenkes und auf die Fußhaltung.

Es sollte daher in dieser Studie im Rahmen einer elektromyographischen Untersuchung überprüft werden, wie sich die Aktivität von Extensoren und Flexoren der unteren Extremität beim Training auf Vibrationsplattformen in Abhängigkeit von der Vibrationsfrequenz verändert und wie sich die Haltung des Rumpfes und damit auch des Beckens auf die Aktivität und insbesondere auf die Koaktivierung auswirkt. Es sollten folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Die iEMG-Aktivitäten bei Vibrationsbelastungen steigen linear mit der Vibrationsfrequenz.
2. Eine Vibrationsbelastung führt zu einer frequenzabhängigen Koaktivierung von M. biceps femoris und M. rectus femoris.
3. Die iEMG Aktivitäten verändern sich infolge einer Körperhaltungsveränderung mit einer aktiven Beckenaufrichtung.

Material und Methode

Das Untersuchungskollektiv bestand aus 15 männlichen (KH: 179 (171-192)cm; Gewicht 84 (68-98)kg) und 15 weiblichen (KH 172 (160 – 180)cm; Gewicht: 66 (50-73)kg, jeweils Median (Minimum – Maximum) sportstudierenden, freiwilligen Probanden (Alter: 24 (19-28) Jahre). Die Probanden waren frei von Verletzungen und ohne erschöpfende sportliche Belastung innerhalb der letzten zwei Tage vor der Testung.

Zur Durchführung dieser Untersuchung wurden auf einer Vibrationsplattform (Galileo 900, Novotec) in der Stellung einer gehaltenen statischen Viertelkniebeuge (Kniewinkel 60 Grad normal null) die EMG-Aktivitäten des biarticulären Flexors (M. biceps femoris caput longum) und Extensors (M. rectus femoris) des Kniegelenkes bilateral gemessen. Die Probanden wurden aufgefordert, mit einer Langhantel auf den Schultern und einer individuellen Zusatzlast von der Hälfte des Körpergewichts die Viertelkniebeuge über einen Zeitraum von 20 Sekunden zu halten. Die Einnahme und Beibehaltung der Ausgangsstellung wurde mit Hilfe einer Winkelschablone überprüft.

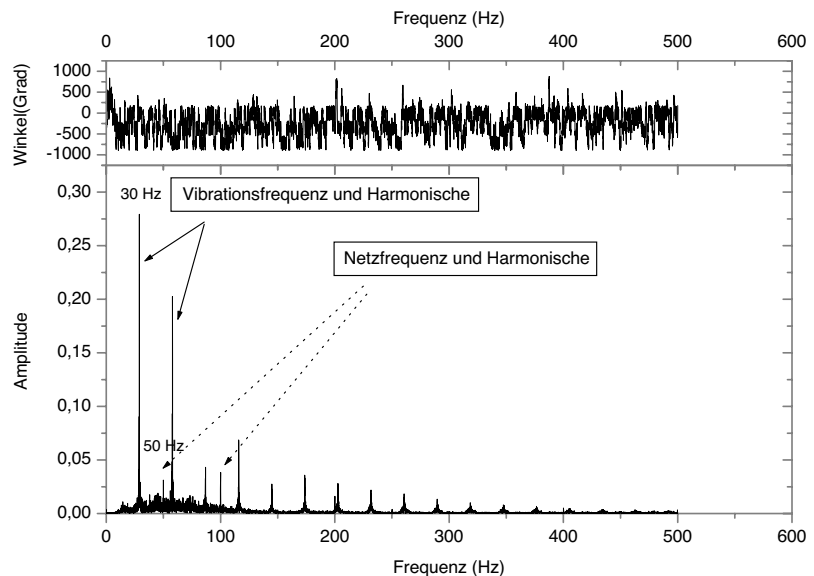


Abbildung 1: Beispiel für Artefakte im Fourierspektrum eines EMG-Signals bei einer Vibrationsfrequenz f von 30 Hz

Pro Proband wurden insgesamt vier Messserien durchgeführt, wobei die ersten zwei mit einer individuell frei festgelegten Rumpfhaltung (Spontanhaltung) vorgenommen wurden. Zur Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der Becken- und Rumpfaufrichtung wurde die Anweisung gegeben, durch den aktiven Einsatz der Bauch- und Glutealmuskulatur das Becken und damit den Rumpf aufzurichten. Diese Haltungskorrektur erfolgte über ein für alle gleich lautes Aufforderungsmuster in Analogie zu Weist (17).

Gemessen wurde in der Spontanhaltung und nach einer Haltungskorrektur ohne Vibration (0Hz) sowie bei Vibrationsfrequenzen von 7,5 Hz, 15 Hz, 22,5 Hz und 30 Hz und einer Amplitude von 7 - 9 mm auf einer Trainingsplattform. Die Ableitung der EMG-Aktivität (Samplingfrequenz $f=2000$) er-

folgte über eine Zeitdauer von 10 Sekunden bipolar mit einem Elektromyographen (Biovision). Vor der Applizierung der Elektroden (Medicotest Blue Sensor N-00-S) wurden die Haut durch eine Rasur und einer anschließenden Entfettung mit Isopropylalkohol vorbereitet. Die vorverstärkten EMG-Signale (1000 fach) wurden online aufgezeichnet (DasyLab 5.6), bandpassgefiltert (Vibrations- und Netzfrequenz sowie harmonische Oberschwingungen), gleichgerichtet und im 10-Sekunden-Intervall integriert (Origin 6.0). Es wurden alle Signale vor der Filterung mit einer Fast-Fourier-Analyse (FFT) auf vibrations- und netzspannungsinduzierte Artefakte hin untersucht (Abb. 1). Dabei wurden Rechteckfenster und eine Vektorlänge von $N=20000$ verwendet.

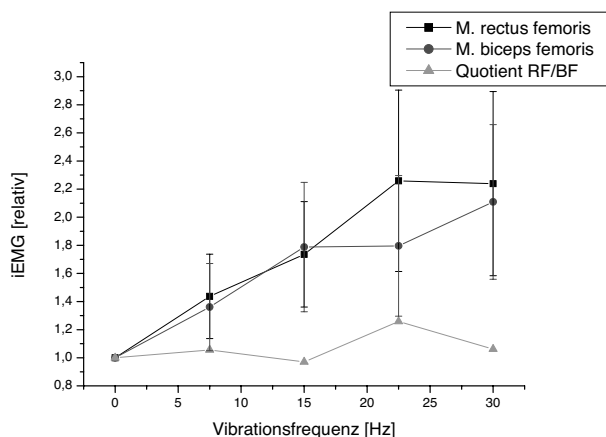


Abbildung 2: Relative iEMG-Aktivität in der Spontanhaltung. M. rectus femoris = RF, M. biceps femoris = BF, Arithmetisches Mittel, $X \pm S$

Die Datenauswertung erfolgte deskriptiv durch Verwendung von arithmetischem Mittel, Standardabweichung sowie Verwendung der linearen Regression. Ein Zusammenhang der Muskelaktivitäten im Sinne einer Koaktivierung (Zusammenhangshypothese) wurde über eine Korrelationsberechnung überprüft. Im zweiten Teil wurde mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells und der unabhängigen Variable Vibrationsfrequenz (UV1) als Kovariate und dem festen Faktor Körperhaltung (UV2), der Einfluss auf die abhängige Variable iEMG-Aktivität des M. biceps femoris (AV1) und M. rectus femoris (AV2) überprüft. Der Faktor Körperhaltung hat zwei Ausprägungen (Spontanhaltung versus korrigierter Haltung). Als multipler Vergleich im Sinne eines post-hoc-Mehrfachvergleichs wurde für beide Ausprägungen der Kovariaten Körperhaltung (Beckenaufrichtung) getrennt ein Bonferroni-Test gerechnet. Als Signifikanzniveau wurde $p=0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Als Ausgangs- und Referenzwert wurde die iEMG-Aktivität bei der statischen Viertelkniebeuge in der Spontanhaltung und ohne Vibration gemessen. Alle weiteren Werte (iEMG-Integrale) wurden in Bezug auf diesen Wert normiert. Die iEMG-Aktivitäten beider Muskeln zeigen bei individueller, spontaner Becken- und Rumpfhaltung im gemessenen

Frequenzbereich von 7,5 – 30 Hz eine gleichförmige Zunahme (Abb. 2). Diese Zunahme ist sowohl beim M. rectus femoris (RF) als auch beim M. biceps femoris (BF) mit hoher Korrelation $r=0,97$ ($p<0,01$) im gemessenen Bereich linear. Das Verhältnis der iEMG-Aktivitäten der beiden biartikulären Muskeln bleibt mit als geringfügig einzuschätzenden Schwankungen konstant. Die Aktivitäten korrelieren mit $r=0,39$ überzufällig ($p>0,01$). Es findet eine mit der Frequenz zunehmende Koaktivierung beider Muskelgruppen statt. Somit bestätigen sich die Hypothesen einer Koaktivierung und einer weitgehenden Linearität der iEMG-Signale in dem untersuchten Frequenzbereich für beide Muskeln (Zusammenhangshypothesen 1 und 2).

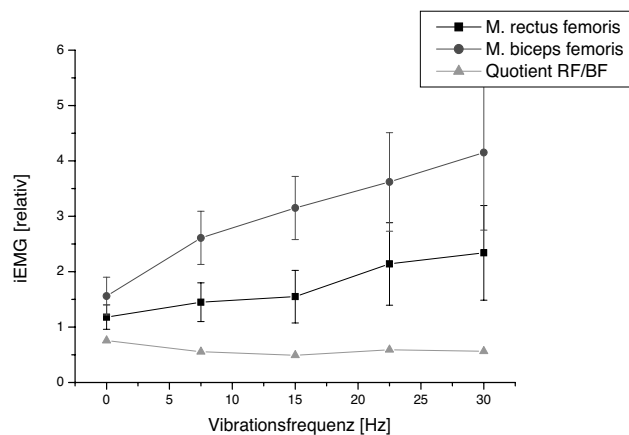


Abbildung 3: Relative iEMG-Aktivität nach Haltungskorrektur. Arithmetisches Mittel, $X \pm S$

Nach der Aufforderung zur Einnahme einer aufgerichteten Rumpfhaltung und der Aufrichtung des Beckens durch den aktiven Einsatz der Bauch- und Glutealmuskulatur konnte eine Veränderung der iEMG-Signale festgestellt werden (Abb. 3). Während die Aktivität der kniestickehenden Muskulatur nahezu unverändert blieb (Abb. 4), gab es beim M. biceps femoris als Repräsentanten der ischiocruralen Muskulatur eine signifikant ($p<0,05$) höhere iEMG-Aktivität (Abb. 5). Es wurde bei allen Probanden und über alle Frequenzen eine deutliche und signifikant ($p<0,01$) erhöhte iEMG-Aktivität gemessen; diese nahm mit zunehmender Vibrationsfrequenz weiter zu und lag über die gemessene Bandbreite der untersuchten Frequenzen etwa bei der doppelten Aktivität im Vergleich zur Spontanhaltung.

Die Ergebnisse der auf Grundlage des allgemeinen linearen Modells durchgeführten Varianzanalyse zeigen bei den Haupteffekten sowohl für die Kovariate Vibrationsfrequenz als auch für den Faktor Körperhaltung hochsignifikante Effekte ($p<0,01$) auf die iEMG-Aktivität beider untersuchter Muskeln. Die dem Modell zugrunde liegende Linearitätsannahme konnte bestätigt werden. Die Analyse der Zwischensubjekteffekte ergab für die Vibrationsfrequenz signifikante Effekte auf die iEMG-Aktivität von M. biceps femoris und M. rectus femoris, der Faktor Körperhaltung ergab nur auf die Aktivität des M. biceps femoris einen signifikanten Einfluss. Eine Schätzung der Effektstärke 2 ergab für die

Haupteffekte Vibrationsfrequenz einen Wert von 0,44 und für die Körperhaltung 0,48. Der Interaktionseffekt lag bei

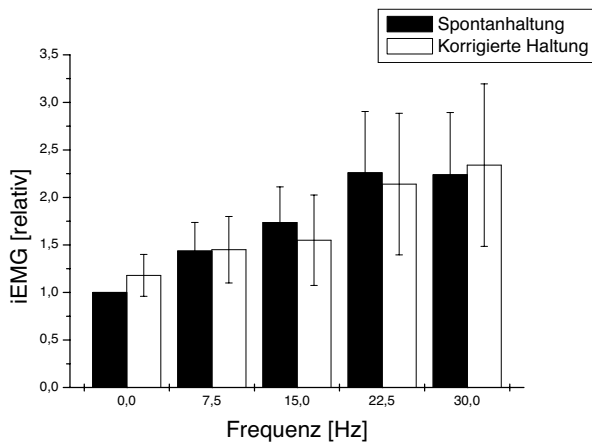


Abbildung 4: Relative iEMG-Aktivität für den M. rectus femoris im Vergleich: Spontanhaltung/ Korrigierte Haltung. Arithmetisches Mittel, $X \pm S$

0,62 in Bezug auf die Aktivität von BF und 0,28 beim RF. Der signifikante Anstieg und somit Unterschied der iEMG-Werte mit der Vibrationsfrequenz wird für beide untersuchten Muskeln und für beide Ausprägungen der Kovariaten Beckenaufrichtung bei der Überprüfung durch einen post-hoc-Mehrfachvergleich bestätigt.

Diskussion

In dieser Studie sollte mit Hilfe von EMG-Ableitungen an den unteren Extremitäten der Einfluss von Vibrationsbelastungen als Trainingsmittel auf das neuromuskuläre System untersucht werden. Insbesondere wurde neben der Koaktivierung ein Einfluss der Parameter Körperhaltung (Beckenaufrichtung) und der Vibrationsfrequenz auf die Innervierung der Muskeln der unteren Extremitäten am Beispiel zweier Muskelschlingenrepräsentanten untersucht. Dabei konnte eine direkte und linear hoch korrelierende Abhängigkeit der Muskelaktivität von der Vibrationsfrequenz gezeigt werden. Die Ergebnisse belegen, dass es bei einer überlagernden Vibrationsbelastung zu einer von der Frequenz linear abhängigen Koaktivierung sowohl in der Streck- als auch in der Beugeschlinge der unteren Extremitäten kommt. Die gewählte Zusatzlast von 50 % des Körpergewichtes wurde von den Probanden als mittelschwer empfunden und ist vergleichbar mit der bei Spitzenpfeil (14) verwendete Intensität. Es kann in Analogie zu De Gail (5) geschlossen werden, dass der zunehmende Vibrationsreiz bei konstanter Belastung einen tonic vibration reflex (TVR) auslöst und es somit zu einem Anstieg des EMG-Signals kommt, was als zunehmende Rekrutierung und Innervierung von motorischen Einheiten zu interpretieren ist. Dieser reflektorische Vorgang wird belegt durch Arbeiten von Park und Martin (11), die einen Anstieg von 1a-Afferenzen als Folge eines Vibrationsreizes feststellen konnten. Zur Aktivitätsentwicklung ist besonders hervorzuheben, dass dies in der Spontanhaltung bei Agonist und Antagonist gleichermaßen zu beob-

achten ist und es somit zu einer verstärkten Koaktivierung kommt. Eine solche Erkenntnis wird gestützt durch Ergebnisse von Rothmüller und Cafarelli (12), die als Folge eines Vibrationsreizes ebenfalls eine verstärkte Innervierung der antagonistischen ischiocruralen Muskulatur feststellen konnten. Dies deutet darauf hin, dass durch die spezielle Form der Vibrationsbelastung, der Mechanismus der reziproken Hemmung der antagonistischen Muskulatur unterdrückt wird.

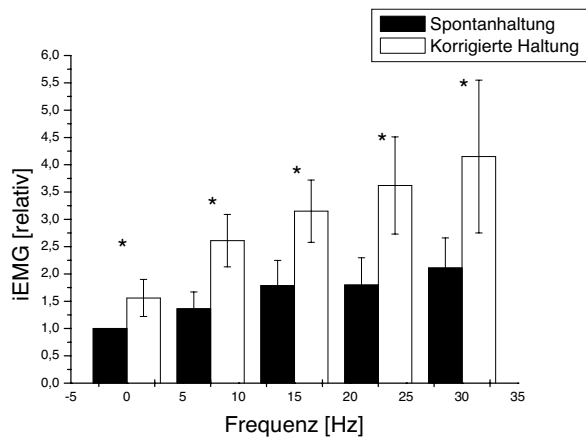


Abbildung 5: Relative iEMG für den M. biceps femoris im Vergleich: Spontanhaltung/ Korrigierte Haltung. Arithmetisches Mittel, $X \pm S$; * $p > 0,05$

Der zweite Parameter der Veränderung der Körperhaltung im Sinne einer Becken- und Wirbelsäulenaufriechung ist insbesondere bei der ischiocruralen Muskulatur ein beeinflussender Faktor. Damit ist isometrisches Vibrationskrafttraining mit aktiv aufgerichtetem Becken geeignet, die ischiocrurale Muskelgruppe zu trainieren, deren Schwäche als eine der bedeutsamen Risikofaktoren bei der Pathogenese von Kniegelenkstraumen gilt (6).

Die beckenaufriechende Funktion der biarticulären ischiocruralen Muskulatur geht einher mit einer verstärkten muskulären Verspannung des Kniegelenkes. Das bedeutet eine erhöhte Koaktivierung von Extensoren und Flexoren am Kniegelenk unter der Zwangsbedingung einer statisch fixierten Gelenkstellung. Die wirkenden Kräfte und Momente können allerdings nicht quantifiziert werden, da das EMG-Signal nur eine Abschätzung für die Muskelaktivität und keinesfalls ein exaktes Maß für die absolute oder relative Muskelkraft ist.

Die iEMG-Werte sind als Folge des aufwändigen Verfahrens mit Signal-Spektralanalyse und anschließender Bandpassfilterung als valide einzuschätzen. Dieses aufwändige Vorgehen der Signalanalyse mit der konsekutiven Bandpassfilterung war notwendig, da die FFT-Analysen der EMG-Signale einen großen Signalanteil an Vibrationsartefakten aufzeigten (Abb. 1). Es konnte hier auch gezeigt werden, dass eine den Gütekriterien entsprechende Verwendung von EMG-Signalen bei Vibrationsbelastung eine sorgfältige Signalbearbeitung voraussetzt.

Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, das ein Training auf Vibrationsplattformen als Trainingsmittel den Vorteil der nachgewiesenen Wirksamkeit auf die maximal- und schnellkräftige Kraftfähigkeiten (1, 3, 9, 16) mit den Vorteilen eines gleichzeitigen Trainings der aktiven Koaktivierung von Agonist und Antagonist im Sinne einer verbesserten Gliedmaßenstabilisierung vereint, und somit auch der Verletzungsprophylaxe im Sinne von Griffin et al. (6) durch eine positive Beeinflussung eines Risikofaktors dienen kann.

Literatur

1. *Berschin G, Schmiedeberg I, Sommer H*: Zum Einsatz von Vibrationskrafttraining als spezielles Trainingsmittel in Sportspielen (am Beispiel Rugby). *Leistungssport* 33/4 (2003) 11-13.
2. *Berschin G*: Das bewegungsbedingte Schädigungspotential bei der Pathogenese von Supinations-Inversions-Traumen des oberen Sprunggelenks. *Görich & Weiherhäuser*, Marburg, 1999, 119-122.
3. *Bosco C, Cardinale M, Tsarpella O, Colli R, Tihanyi J, Duvillard SP, Viru A*: The influence of whole body vibration of on jumping performance. *Biol of Sport* 15 (1998) 157-164.
4. *Fung YC*: Biomechanics. Springer. New York, Heidelberg, Berlin, 1981, 383-388.
5. *De Gail P, Lance JW, Neilson PD*: Difference on tonic and phasic reflex mechanism produced by vibration on muscle in man. *J Neurol Neurosurg PS* 29 (1996) 1-11.
6. *Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, Garrick JG, Hewett TE, Huston L, Ireland ML, Johnson RJ, Kibler WB, Lephart S, Lewis JL, Lindenfeld TN, Mandelbaum BR, Marchak P, Teitz CC, Wojtyls EM*: Non-contact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg* 8 (2000) 141-145.
7. *Hofmaier A, Berschin G, Sommer, HM*: Propriozeptive Fähigkeiten des Kniegelenks unter kritischer Betrachtung messtechnischer, methodischer und wissenschaftlicher Gesichtspunkte. *Dtsch Z Sportmed* 52/S7-8 (2001) 93.
8. *Hoffmann U, Leyk D, Mester J, Mader A, Spitzenpfeil P, Wackerhage H*: Effects of Vibration on muscle energy turnover, in: Herzog W, Jinha A (Hrsg): *Book of abstracts: 17th Congress of the Society of Biomechanics*. ISB, Calgary, 1999, 287.
9. *Issurin VB, Tennebaum G*: Acute and residual effects of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Science* 12 (1999) 561-566.
10. *Künnemeyer J, Schmidbleicher D*: Die neuromuskuläre Stimulation RNS. *Leistungssport* 27/2 (1997) 39-42.
11. *Martin BJ, Park HS*: Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronisation and fatigue. *Eur J Appl Physiol* 75 (1997) 504-511.
12. *Rothmüller C, Cafarelli E*: Effect of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue in humans. *J Physiol* 485 (1995) 857-864.
13. *Sommer HM, Rohrscheidt C*: Zentrale Fehlsteuerung als Ursache von Bewegungsstörungen im Leistungssport. *Sportverletz Sportsch* 2/1 (1988) 10-14.
14. *Spitzenpfeil P, Hartman U, Schwarzer J, Mester J*: Load setting in strength training with whole body vibrations, in: Mester J, King G, Strüder H, Tsolakidis E, Osterburg A (Hrsg): *Book of abstracts: 6th Annual congress of ECSS, Sport & Buch Strauß, Köln, 2001*, 477.
15. *Vojta V, Peters A*: *Das Vojta-Prinzip*. Springer, Heidelberg, 1992, 11-21.
16. *Weber R*: Muskelstimulation durch Vibration. *Leistungssport* 27/1 (1997) 53-57.
17. *Weist R, Berschin G, Sommer HM*: The influence of trunk stabilization on foot architecture and foot load. *Int J Sports Med* 21/S2 (2002) 83.

Korrespondenzadresse:
Dr. Gereon Berschin
Institut für Sportwissenschaft und Motologie
Universität Marburg
Barfüßerstr. 1
35032 Marburg
E-mail: berschin@mail.uni-marburg.de