

## „Lokale Muskel-Vor-Ermüdung“

Hans-Alexander Thorhauer (Projektleiter) & Sven Michel

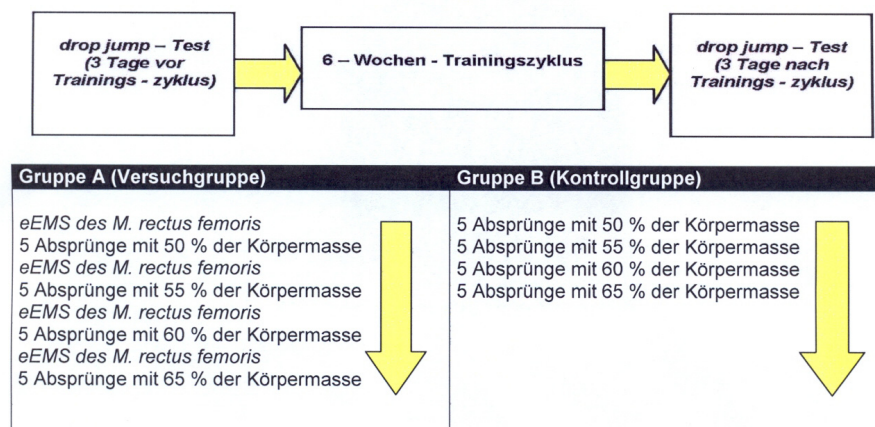
Universität Jena, Institut für Sportwissenschaft

### Problem

Die Steigerung der sportlichen Leistung ohne Doping und Pharmakamissbrauch erfordert neue Herangehensweisen, die sowohl das trainingsmethodische Vorgehen als auch eine stärkere wissenschaftliche Fundierung individueller Trainingsmaßnahmen einschließen. In vielen Sportarten sind muskuläre Anforderungen im Grenzbereich der menschlichen Leistungsfähigkeit kennzeichnend. Auf der Grundlage früherer Untersuchungen wird ein zentraler Forschungsansatz hergeleitet, der durch experimentelle Untersuchungen differenzierter zu unterlegen ist. Der Ansatz lautet: *Gezielte lokale muskuläre Ermüdung (Vor-Ermüdungsprinzip) kann Kompensationsmechanismen aktivieren, die zu einer Leistungsverbesserung des agierenden muskulären Systems im nicht ermüdeten Zustand führen.*

### Methode

Hauptziel der Studie in Form eines Trainingsexperiments war es zu prüfen, ob mit dem Prinzip der lokalen Muskel-Vor-Ermüdung eine Leistungssteigerung erzielt werden kann, welche über der Steigerungsrate des bisher eingesetzten Verfahrens liegt. Das Experiment bestand aus einem Trainingszyklus (6 Wochen), in welchem 2 Gruppen (Gruppe A = Versuchsgruppe, Gruppe B = Kontrollgruppe) zu je 11 Sportlern des C/D- und C-Kaders) ein aus dem Hochleistungssport (Sportart: Leichtathletik, Disziplin: Hochsprung) stammendes spezielles Schnellkrafttraining durchführten (⇒ Übung: Absprünge mit Zusatzlasten, Schlagmethode). Bei Gruppe A erfolgte jeweils vor Beginn der Absprungserie zusätzlich eine beidseitige Vorermüdung des M. rectus femoris mittels externer Elektromyostimulation (eEMS). Die Überprüfung der sportlichen Leistungsfähigkeit vor und nach dem Trainingszyklus erfolgte im unermüdeten Zustand mit einem *drop jump-Test*.



- Zwischen den Absprungserien erfolgte jeweils eine Pause von 10 min
- Die eEMS begann 4 min vor Beginn der jeweiligen Absprungserie beidseitig in Sitzhaltung
- Die Absprünge erfolgten aus einer Flexion von 110° im Kniegelenk
- Vor dem Training wurde allgemein und speziell standardisiert erwärmt:  
Fahrradergometer 5 min/120 W/75 rpm; 50 Seilsprünge, barfuß.

### EMS – Programm:

<b>Impulsstärke:</b>	40 mA		
<b>Impulsbreite:</b>	individuell nach folgender Gleichung: $CK * [1 + (450 - R / 300)] = IB$		
	Ck . . . Chronaxiekoeffizient des M. rectus femoris		
	R . . . Körperhöhe <sup>2</sup> / Körpermasse	IB . . . Impulsbreite	
<b>Impulsform:</b>	symmetrischer Zweiphasen – Rechteckimpuls		
<b>Impulsfrequenz:</b>	120 Hz		
<b>Kontraktionsdauer:</b>	4s	<b>Pausendauer:</b>	2s
<b>Zahl der Wiederholungen:</b>	40	<b>Gesamtdauer (eEMS – Programm):</b>	4 min.
<b>Gesamtarbeitsquantität eines Kontraktions - /</b>			
<b>Pausenzykluses, Gesamtarbeitsquantität:</b>	486 J, 19440 J		

### Ausgewählte Ergebnisse

1. Das Trainingsexperiment erreicht in beiden Gruppen einen Leistungszuwachs in der Sprunghöhe/Flugzeit. Die Zuwachsraten fallen unterschiedlich aus. Die Versuchsgruppe (VG) erreicht einen mittleren Zuwachs von 3,6 cm, die Kontrollgruppe (KG) kann sich um 1,5 cm verbessern. Sowohl die Zuwachsraten in VG und KG als auch die Mittelwertsunterschiede zwischen den beiden Gruppen sind signifikant. Daraus kann gefolgert werden, dass das Prinzip der lokalen Muskel-Vor-Ermüdung zu größeren Trainingseffekten führt und dem bisherigen Ansatz überlegen erscheint.
2. Die Leistungssteigerungen der KG basieren auf einer unveränderten Dauer der Bodenkontaktzeit (0,250 s zu 0,254 s). Dagegen ist die Sprunghöhenzunahme der VG mit einer signifikanten Erhöhung der Bodenkontaktzeit (0,273 s zu 0,300 s) verbunden. Dies muss als ein Kompensationsmechanismus im Sinne der Leistungssicherung trotz Muskelermüdung wesentlicher Kinetoren aufgefasst werden. Trainingsmethodisch ist demnach zu prüfen, ob der erzielte Trainingseffekt mit den Erfordernissen der Leistungsstruktur vereinbar ist.
3. Die erfassten kinematischen Parameter Sprunggelenk-, Kniegelenk-, und Hüftgelenkwinkel sowie der Verlauf des KSP unterscheiden sich hinsichtlich der Bewegungskinematik im Prä-Post-Vergleich *nicht* von einander. Das heißt bewegungsstrukturelle Komponenten sind durch das gesetzte Training in wesentlichen Aspekten unverändert, was untersuchungstechnisch für die Möglichkeit eines direkten Vergleichs

der erzielten Effekte spricht und trainingspraktisch günstige Voraussetzungen für die Übertragung in die Wettkampfbewegung schafft.

- Die EMG-Analysen zeigen im Post-Test sowohl für die VG als auch für die KG einen signifikanten Anstieg des Muskelaktionspotentials **aller** ausgewählten Muskeln auf.

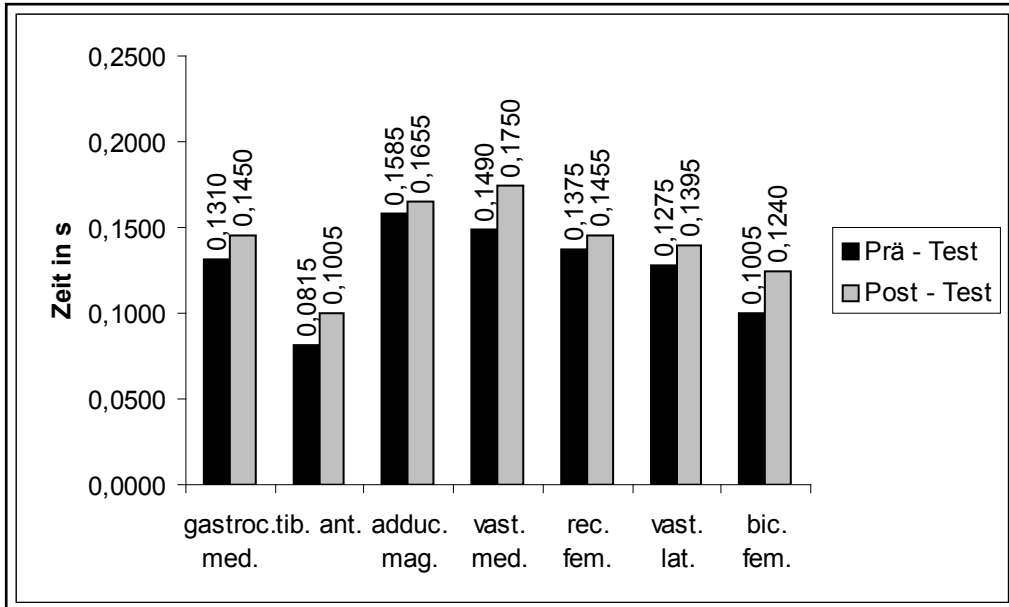


Abb. 1: Mittlere EMG-Maxima ausgewählter Muskeln des linken Beines eines Probanden der VG: Prä-Test (links) – Post-Test (rechts)

Der Anstieg äußert sich in einer signifikanten Zunahme der Voraktivierung wie Vorinnervationsdauer, EMG-Maximum während der Vorinnervation, das integrierte EMG (IEMG) während der Vorinnervationsphase und der muskulären Aktivität während der Hauptaktivitätsphase insbesondere im EMG-Maximum und dem IEMG

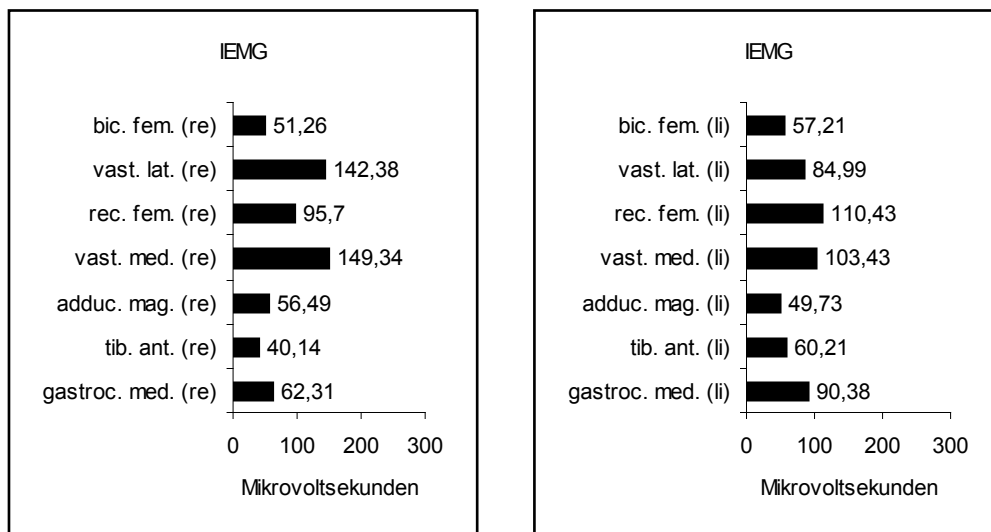


Abb. 2: Mittleres integriertes EMG ausgewählter Muskeln des linken Beines eines Probanden der VG: Prä-Test (links) – Post-Test (rechts)

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse sind insbesondere für das spezielle Krafttraining bedeutsam. Im Bereich des Hochleistungstrainings wird darunter überwiegend ein disziplinspezifisches Krafttraining verstanden. Die zur Anwendung kommenden Übungen müssen folglich eine hohe dynamisch-zeitliche Übereinstimmung mit der Wettkampfübung insgesamt bzw. adäquaten Teilbewegungen der Wettkampfübung aufweisen. Die dabei vordergründig genutzten Kraftübungen werden vom äußeren Erscheinungsbild der Wettkampfübung abgeleitet: innere Wirkungsrichtungen von Trainingsmitteln/ Kraftübungen auf die Wettkampfübung sind dagegen wenig erforscht und kaum Grundlage methodischer Vorgehensweisen. Die Steuerung der Belastungsgestaltung erfolgt meist anhand realisierter Trainingsumfänge bei submaximalen und maximalen Intensitäten, der erreichten sportlichen Leistung, auf der Grundlage subjektiver Empfindungen des Athleten und der Erfahrungswerte des Trainers. Wissenschaftlich begründete und individualisierte Trainingsvorgaben und trainingsbegleitende Objektivierungen sind jedoch unerlässlich für die Trainingsgestaltung in Spitzensport und im viel stärkerem Maße als bisher üblich zu sichern.

Die hier dargestellte Untersuchung liefert erneut Hinweise darauf, dass mit der Muskel-Vor-Ermüdung neuartige Potenziale der Leistungssteigerung erschlossen werden können, die wenig oder nicht ausreichend systematisch trainingsmethodisch untersetzt sind. Wissenschaftstheoretisch ist insbesondere die Frage von Interesse, wie hohe (neuro-)muskuläre Beanspruchungen die motorische Kontrolle beeinflussen bzw. wie die Veränderungen des (neuro-)muskulären Funktionszustandes kompensiert werden, um die motorische Aufgabe trotz dieser Veränderungen zu erfüllen. Insoweit wird mit dem Untersuchungsansatz an die Theorie der motorischen Kontrolle angeknüpft, die bisher in der Bewegungs- und Trainingsforschung wenig thematisiert und experimentell untersetzt wurde (Olivier, 1996, 2001; Thorhauer/Carl & Türk-Noack, 2001).

## Literatur

- Akima, H., Foley, J.M., Prior, B.M., Dudley, G.A. & Meyer, R.A. (2002). Vastus lateralis fatigue alters recruitment of musculus quadriceps femoris in humans. *Journal of applied physiology*, 92 (2),679-84.
- Greiwing, A. (2006). *Zum Einfluss verschiedener Krafttrainingsmethoden auf Maximalkraft und Kraftausdauer auf die Muskeldicke des M. quadrizeps femoris*. Dissertation, Universität Wuppertal. [http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fbg/sportwissenschaft/diss2006/greiwing/dg06\\_01.pdf](http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fbg/sportwissenschaft/diss2006/greiwing/dg06_01.pdf)
- Hoffmann L (2006). *Die Auswirkung differenzieller Ermüdungskonzepte (Synergisten, Agonisten, Antagonisten) der unteren Extremitäten auf Parameter der sportlichen Leistung und der intermuskulären Koordination*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Michel, S. (2003). *Externe Elektromyostimulation und lokale Muskelermüdung-Auswirkung auf ausgewählte Bewegungsparameter der unteren Extremitäten*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Olivier, N. (1996). *Techniktraining und konditionelle Belastung*. Schorndorf: Hofmann Verlag.
- Scharschmidt, F., Pieper, K.-S., Appelt, D. & Gerberg, G. (1979). *Aussagewert muskelbiopischer Untersuchungen für die biologischen Wirkungen von Belastung und Training sowie eignungsdiagnostische Fragestellungen. Analyse von Belastung und Training mit der Biopsie-Methode*. Leipzig: Scharschmidt F., 7-21.
- Thorhauer, H.-A./Carl, K. & Türk-Noack, U. (Hrsg.) 2001. *Muskelermüdung*. Köln: Sport und Buch Strauß
- Thorhauer, H.-A./Hoffmann, L. & Michel, S. (2006). *Kompensationsmechanismen bei lokaler Muskelermüdung*. Wissenschaftliches Symposium, Graz
- Wiemann, K. (1992). *Modell zur Bestimmung der Fasertyp-Kraftrelation der ischiokruralen Muskeln*. In [www2.uni-wuppertal.de/.../wiemann/explo.html](http://www2.uni-wuppertal.de/.../wiemann/explo.html)

