

Muskuläre Ermüdung im Techniktraining unter besonderer Berücksichtigung koordinativer Aspekte im Schnellkrafttraining – Muskelermüdung

H.-A. Thorhauer (Projektleiter), L. Hoffmann,
F. Werner, S. Michel, K. Sorour, P. Fackelmayer

Universität Jena
Institut für Sportwissenschaft
Arbeitsbereich Trainingswissenschaft

1 Problem

Die Leistungsoptimierung im Hochleistungssport verlangt eine weitere wissenschaftliche Fundierung der Trainingsmaßnahmen, insbesondere eine Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit ohne Doping und Pharmakamissbrauch. Fortschritte sind aus einem differenzierten Verständnis des belastungsmethodischen Vorgehens im Sport abzuleiten.

Hier spielen unter anderem komplexe Fragestellungen zur Problematik von Ermüdungsvorgängen eine übergeordnete Rolle. Grundsätzlich sind Ermüdungsphänomene bei allen sportlichen Belastungen festzustellen.

Unter Ermüdung wird „die durch anhaltend intensive Belastungen hervorgerufene reversible Verminderung der Leistungsfähigkeit eines Organs oder des Organismus“ verstanden (SIMONSON/WEISER 1976; HOLLMANN/HETTINGER 1980; FINDEISEN 1980; KEUL u.a. 1984). Dabei kommt es temporär auch zu Funktionsverlusten im muskulären System (THIESS/SCHABEL 1987; KOMI 1994), wobei „Ermüdung“ offensichtlich einen Prozess bezeichnet, der wesentlich differenzierter abläuft, strukturelle und funktionelle Kompensationsmechanismen einschließt, die bisher nicht systematisch und für dynamische Muskelkontraktionen untersucht wurden (OLIVIER 1996, 2001).

Für den vorliegenden Forschungsansatz soll die Ermüdung progressiv „zur Leistungssteigerung“ genutzt werden. Nachgewiesen ist, dass infolge wiederholter Reizsetzungen, temporäre Funktionsdefizite im beanspruchten neuromuskulären System auftreten. Existierende Mechanismen sollen erkannt und durch systematisches Training so entwickelt werden, dass das Nerv-Muskel-System im unermüdeten Zustand bei konkreten sporttechnischen Anforderungen mit einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit reagiert.

2 Methodik

Insgesamt wurden 14 Sportstudenten/-studentinnen aus den Ausdauerdisziplinen Mittel- und Langstreckenlauf, den Sportsportarten Basketball, Fußball und Volleyball sowie den Kampfsportarten Judo und Karate in die Untersuchung einbezogen. Untersuchungsgegenstand war die isolierte Ermüdung einzelner Kinetoren unter Laborbedingungen. Die Ermüdung der unteren Extremitäten (m.triceps surae) wurde an einem speziellen Ermüdungstrainer (Hackenschmidt-Gerät) durchgeführt. Kontrollübung war ein Dreifach-Strecksprung (Squat jump – Drop jump – Drop jump) ohne Armeinsatz. Zu Beginn der Untersuchung wurden die Probanden einem Eingangstest zur Bestimmung der isometrischen Maximalkraft unterzogen, dem sich zwei Versuchsserien im Abstand von vier Wochen anschlossen. Die Gewährleistung der Untersuchungs-Validität erforderte hohe Aufwendungen zur Standardisierung der Untersuchungsbedingungen. Abbruchkriterien waren erhebliche Abweichungen bei der Sicherung der Belastungsvorgaben sowie externe „Ermüdungs-Indikatoren“, die eine subjektiv empfundene Ausbelastung anzeigten.

Mess- und Analyseverfahren:

- ? Videoaufzeichnungen (digital „Canon XL 1 bzw. analog SVHS)
- ? Videoschnittsystem (ES 3 von SONY)
- ? Videodigitalisierungssystem (DIVAS von Datenhaus Berlin)
- ? Videoanalysestystem (2-D „Motiolyse“ ISW der Uni Bielefeld ; Winalyzer)
- ? Kurzzeitmesssystem (optisches System „Opto Jump“)
- ? Elektromyographie (8-Kanal/16-Kanal, bipolare Oberflächenelektroden, HBM Spider/Catman, „Biovision“ Frankfurt)
- ? Weg-Zeit-Messgerät IGR (Incrementaler Geber Rotatorisch, Zeiss Jena)
- ? Optisch-akustischer Wegsignalgeber (Eigenbau)
- ? Goniometer (Penny&Giles) bzw. Beschleunigungsaufnehmer (Synotech, Biovision)
- ? Diverse medizinisch-physikalische Messverfahren (HF, Blutdruck, Laktat, Haut-Temperatur u.a.) sowie optional Laborausrüstungen der Forschungspartner (Pathophysiologie, Sportmedizin, Biomechanik)

3 Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse sind exemplarisch. Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang die Auswirkungen auf Parameter der sportlichen Leistungsfähigkeit (Quotient aus Flugzeit und Bodenkontaktzeit), Auswirkungen auf die Muskelaktionspotentiale (EMG-Verhaltensmuster) sowie die Auswirkungen auf kinematische Parameter der Bewegungsausführung (Knie-, Hüftgelenkwinkel, Körperschwerpunkt).

Kinematik

- Dreifachstrecksprung 1 – zu Beginn des Ermüdungsexperiments (unermüdet)
- Dreifachstrecksprung 2 – während des Ermüdungsexperiments (teilermüdet)
- Dreifachstrecksprung 3 – am Ende des Ermüdungsexperiments (ermüdet)

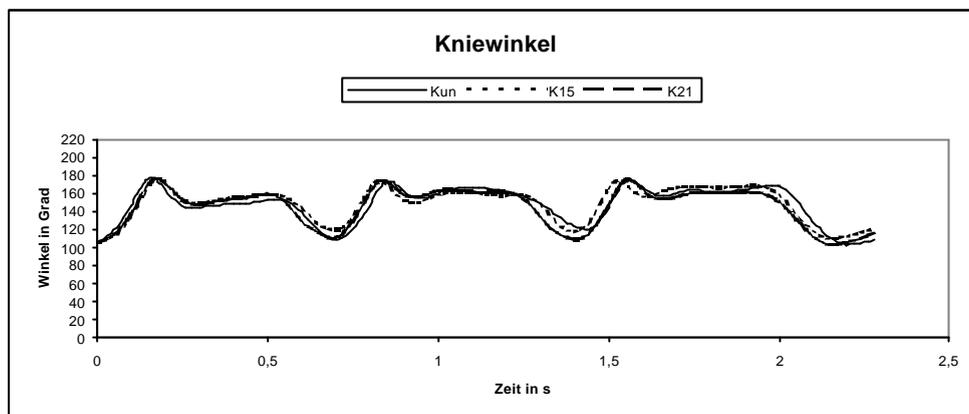


Abb. 1: Darstellung der synchronisierten Bewegung des Kniegelenkwinkels bei fortschreitender lokaler Ermüdung des m.triceps surae

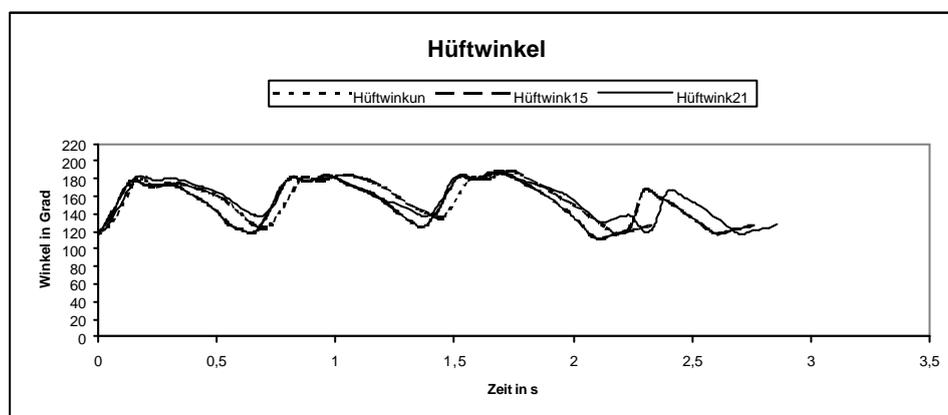


Abb. 2: Darstellung der synchronisierten Bewegung des Hüftgelenkwinkels bei fortschreitender lokaler Ermüdung des m.triceps surae

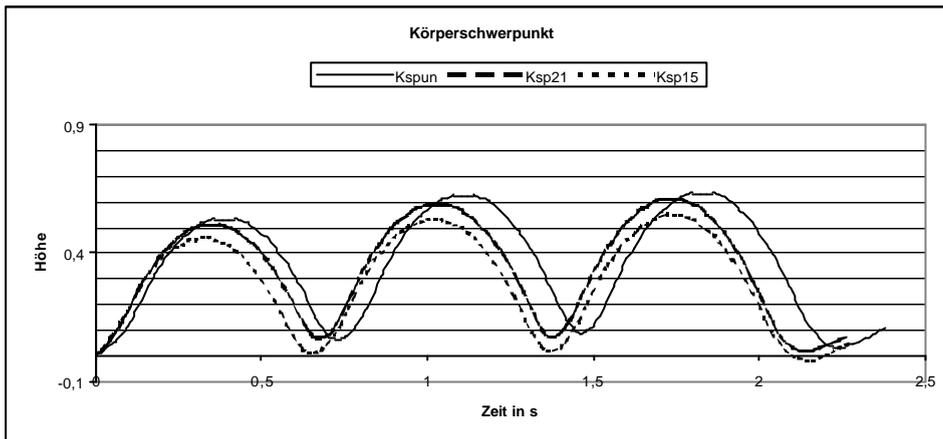


Abb. 3: Darstellung der synchronisierten Bewegung des Körperschwerpunktes bei fortschreitender lokaler Ermüdung des m.triceps surae

Beim Vergleich verschiedener kinematischer Bewegungsparameter lässt sich zusammenfassend herausstellen:

- ? Auch bei vollständiger Ermüdung des m. triceps surae bleibt das individuelle Bewegungsmuster in seiner Grundstruktur erhalten.
- ? Die Übereinstimmung der Bewegungsstruktur ist im 1. Sprung (Squat Jump) stärker ausgeprägt. Die sich anschließenden beiden Drop Jump weisen Strukturähnlichkeiten auf. Besonderes Merkmal ist eine bestimmte ermüdungsabhängige Phasenverschiebung und eine stärkere Aufstreckung in der Flugphase und der Landevorbereitung.
- ? Zeitliche Minima- und Maximaverschiebungen beim Übergang vom 1. zum 2. Sprung und vom 2. zum 3. Sprung sowie in der Flugphase können als kinematische Kompensationsmechanismen der Ermüdungsregulation verstanden werden.

Leistungskennwert

Der Leistungskennwert ist der Quotient aus Bodenkontaktzeit und Flugzeit.

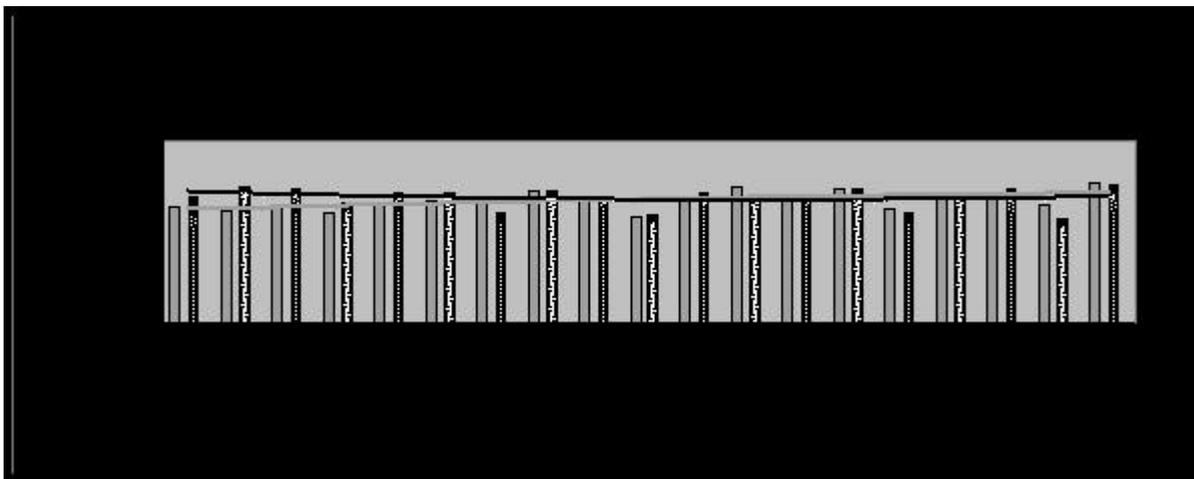


Abb. 4: Beispiel für die graphische Darstellung der Leistungskennwerte.

Die Leistungskennwerte für alle Probanden zeigen in der tendenziellen Betrachtung kaum eine Beeinträchtigung der globalen Leistungsfähigkeit der Muskelschlinge. Infolge lokaler Ermüdungsbelastung der Wadenmuskulatur konnten messbare Defizite in der sportlichen Leistung nur in Einzelfällen nachgewiesen werden.

Es liegen offensichtlich Kompensationsmechanismen vor, die im neuro-muskulären Bereich vermutet werden. Untersuchungen von OLIVIER (1996, 155ff) verweisen auch auf zentralnervöse Steuermechanismen, während biomechanische Untersuchungen (vgl. SEYFARTH 1999) die Problematik der Beinsteifigkeit verstärkt diskutieren.

Muskelaktionspotentiale

Bei der Auswertung der EMG-Daten können keine generalisierenden Aussagen getroffen werden. Entsprechende Kompensationsmechanismen sind eher nach individuellen Programm-Mustern zu ordnen.

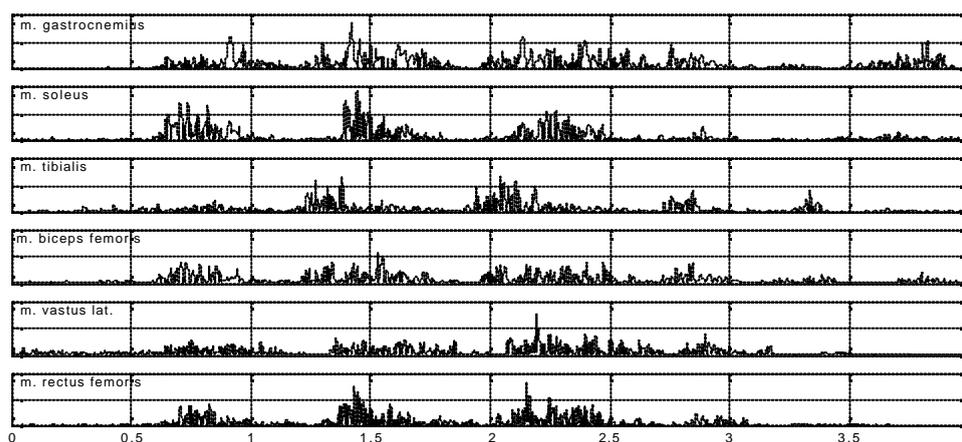


Abb. 5: Muskelaktionspotenziale für ausgewählte Muskeln in der Dreier-Sprungfolge während der Ermüdungsbelastung

Die Muskelaktionspotenziale (MAP) zeigen eine ausgeprägte Muskelspezifität sowie Variabilität in der muskulären Struktur. Die zeitlich-räumliche Charakteristik der MAPs. sind stark individuell geprägt und legen funktionelle wie auch strukturelle Kompensationsmechanismen nahe.

Hervorgehoben werden können:

- ? Erhöhung der Aktions-Amplituden (für einzelne Muskeln z.B. Rectus femoris aber auch Gastrocnemius und Soleus bis 100% beim Drop Jump);

- ? Verringerung der Aktions-Amplituden (z.B. für Soleus aber auch Tibialis anterior);
- ? Quasi-Stabilität der Aktions-Amplituden im Ermüdungsprozess (z.B. Soleus, Gastrocnemius);
- ? Vorverlagerung der Einschaltzeitpunkte (bevorzugt bei der lokalmüdeten Muskulatur: Soleus, Gastrocnemius);
- ? Rückverlagerung der Einschaltzeitpunkte (bevorzugt in der Ermüdungs-Muskulatur);
- ? Quasi-Stabilität der Einschaltzeitpunkte (bevorzugt im Sinne der Kompensation durch die Strecker Vastus und Rectus);
- ? Antagonistenhemmung, d.h. Zunahme der Amplitude des Biceps femoris mit Ermüdung und innerhalb der Sprungserie mit jedem Sprung.

4 Diskussion

Die durchgeführten Untersuchungen und die dabei beobachteten Phänomene verdeutlichen, dass die gezielte Ermüdung einzelner Muskeln oder Muskelsysteme zu nicht einheitlichen Reaktionen führt. Ein in der Literatur oft beschriebener Abfall der sportlichen Leistungsfähigkeit kann für Bedingungen der lokalen Ermüdung der Wadenmuskulatur anhand von Streck-Sprung-Serien nicht bestätigt werden. Wahrscheinlich ist, dass andere Körpersysteme, insbesondere Prozesse der autonomen Muskel-Regulation, den partiellen Ausfall bestimmter Kinetoren kompensieren und nachregulieren.

Wie und warum diese Kompensationsmechanismen auftreten, welche Abhängigkeit von bestimmten Ausgangsbedingungen und den im Ermüdungsprozess selbst erzeugten Verlaufsbedingungen bestehen, ist noch nicht hinreichend geklärt. Zur Beantwortung der offenen Fragen ist es notwendig, insbesondere die verschiedenen Abhängigkeiten wie Genspezifik, Anpassungsspezifik, Programmspezifik differenzierter und disziplinübergreifend experimentell abzuprüfen. Erforderlich sind Labor- und Felduntersuchungen sowie Einzel- und Gruppenexperimente mit längerfristigen Interventionen.

In Abhängigkeit von den erwarteten Erkenntnissen sollen angepasste Strategien zur Gestaltung von Trainingsprogrammen und Belastungsmethoden abgeprüft werden, die das bisherige sportartspezifische Kraft-Technik-Training im Hochleistungssport ergänzen.

5 Literatur

BÜHRLE, M.: Grundlagen des Maximalen- und Schnellkrafttrainings. Schorndorf 1985

FINDEISEN, G.R.; LINKE, R.-G.; PICKENHAIN, L.: Grundlagen der Sportmedizin. Leipzig 1980

HOLLMANN, W.; HETTINGER, T.: Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen Stuttgart, New York 1980

- KEUL, J.; BERG, A.; LEHMANN, M.; DICKHUTH, H.H.; SCHMIDT, P.; JAKOB, E.: Erschöpfung und Regeneration des Muskels im Training und Wettkampf. *Leistungssport* 14 (1984) 5, 13-18
- KOMI, P.V.: Kraft- und Schnellkraft im Sport. Köln 1994
- LEE, S.C. et al.: Activation of human quadriceps femoris muscle during dynamic contractions effects of load on fatigue. *J. Appl. Physiol.* 89 (2000) 3, 926–936
- MICHEL, S.: Muskuläre Ermüdung. Theoretische Grundlagen und experimentelle Befunde. In: Tectum der Wissenschaftsverlag (Hrsg): Edition Wissenschaft. Marburg 2001
- OLIVIER, N.: Techniktraining unter konditioneller Belastung. Schorndorf 1996
- OLIVIER, N.: Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft* 31 (2001) 4, 437-453
- SEYFAHRTH, A. et al.: Dynamics of the long jump. *J. of Biomechanics* 32 (1999), 1259-1267
- SIMONSON, E.; WEISER, P.: Psychological aspects and physiological correlated of work capacity and fatigue. Springfield (Ill.) 1976
- THIESS, G.; SCHNABEL, G.: Leistungsfaktoren im Training und Wettkampf. Berlin 1987
- THORHAUER, H.-A.; TÜRK-NOACK, U.; HOFFMANN, L.; WERNER, F.; MICHEL, S.; TRUNK, S.; FACKELMAYER, P.: Muskuläre Ermüdung im Techniktraining. BISp-Abschlussbericht. Jena 2001

