

... hat **Helmar HASENÖHRL** (Wien) den „Leitplan für die Entwicklung des Spitzensports in Österreich“ (Projektbericht des Österreichischen Spitzensportausschusses) zu den Aspekten „Stellung des Sports in der Gesellschaft“, „Leistungsgerechte Struktur des Sports“, „Wissenschaft und der Sport“, „Heeressport- und Nahkampfschule und soziale Absicherung“, „Schule und Sport“, „Sportvereine“ und „Leitplan für die finanzielle Förderung“ zusammengestellt.

... nimmt **Lutz MÜLLER** (Bremen) unter dem Titel „Zum Ideologischen in der Umweltdebatte des Sports“ den Beitrag von Reinhard Bacheleitner zum Anlaß, um „Anfragen zu ideologischen Tendenzen im Naturverhältnis 'des Sports'“ zu formulieren. Der Autor zeichnet nicht nur den ideologischen Streit in der Umweltdebatte des Sports nach, sondern bezieht dort eine kritische Position, wo der gewählte Maßstab des Ideologischen auf den Formaspekt 'falschen Bewußtseins' reduziert wird. Mit dem Konzept zu einer „Theorie des Ideologischen“ (W. F. HAUG) wird eine Meta-Ebene der Ideologiediskussion im Verhältnis von Sport und Umwelt angestrebt.

... haben wir **Herrmann KNÖFLACHER** (Wien) als Nicht-Sportwissenschaftler dafür gewinnen können, zum Thema „Umwelt und Sport“ von einer fachexternen Position aus Stellung zu beziehen.

... versuchen **Karl SCHÖRGHUBER & Raimund SOBOTKA** (Wien) im **Interpretorial** eine 'Entschlackung' des Phänomens 'Ideologie' am Beispiel der im vorliegenden Heft abgedruckten Beiträge von Reinhard BACHLEITNER und Lutz MÜLLER.

... stellt **Arnold BACA** (Wien) das Buch von Thomas SCHMALZ (1994) mit dem Titel „Biomechanische Modellierung menschlicher Bewegung“ ausführlich und unter Einarbeitung zahlreicher fachlicher Querverweise vor.

... nimmt **Erich MÜLLER** (Salzburg) die Besprechung des von Günter SCHNABEL, Dietrich HARRE & Alfred BORDE herausgegebenen Buches „Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf“ in vier umfassend ausgeführten Abschnitten vor.

... rezensiert **Rudolf MÜLLNER** (Wien) das Buch von Hajo BERNETT „Körperkultur und Sport in der DDR. Dokumentation eines geschlossenen Systems.“

... zeichnen **Raimund SOBOTKA & Günter AMESBERGER** (Wien) die Chronologie des „FOCUS-Ranking der Sportarten“ nach und problematisieren, „wie aus einer fachlichen Beratung ein 'Projekt' wurde.“ Der Beitrag kann als Anleitung im Umgang mit Medien gesehen werden.

... faßt **Kordula LEITES** (Hamburg) die 2. gemeinsame Tagung von dvs, ÖSG und SGS zusammen, die vom Lehrstuhl für Sportpädagogik der Universität Augsburg (28.-30. März 1995) ausgerichtet und unter dem Titel „Forschung und Lehre - zwei flüchtige Bekannte? Zur Verbindung von Forschung und Lehre in sportwissenschaftlichen Studiengängen“ durchgeführt wurde.

... berichtet **Rosa DIKETMÜLLER** (Wien) über die Tagung der dvs-Kommission Frauenforschung zum Thema „Sportwissenschaftliche Frauenforschung - bisherige Wirkung, heutiger Standort, künftige Aufgaben“ (25.-27.5.1995 in Tecklenburg-Bröcherbeek).

Raimund Sobotka und Konrad Kleiner

## Neuromuskuläre Aspekte beim reaktiven Bewegungsverhalten

### NEUROMUSCULAR ASPECTS IN REACTIVE MOVEMENT BEHAVIOUR

#### Zusammenfassung:

Reaktive Leistungsfähigkeit hängt in hohem Maße vom Ausprägungsgrad der intermuskulären Koordination ab. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit den Fragen, inwiefern bei reaktiven Tief-Hoch-Sprüngen eine generelle motorische Programmierung stattfindet und welche die varianten und die invarianten Anteile derartiger Ansteuerungsprozesse sind. Das Konzept der reaktiven Bewegungsleistung kann nur unter der Prämisse angenommen werden, daß hohe, reflektorisch generierte Aktivierungsbeiträge in das Bewegungsprogramm eingebaut werden. Aus diesem Grunde stehen die Anpassungsmechanismen propriozeptiver Reflexaktivität an die jeweilige Belastungshöhe im Zentrum des Interesses.

Eine Analyse der motorischen Programmsteuerung kann experimentell mit Hilfe der Elektrostimulation erfolgen, indem sowohl bewegungsphasenspezifisch als auch muskelfysisch externe Muskelstimulationen appliziert werden. Damit sind die Bedingungsfaktoren der intra- und intermuskulären Koordination separierbar.

Aus den Untersuchungsergebnissen kann abgeleitet werden, daß es durch die Elektrostimulation zu weitreichenden koordinativen Veränderungen kommt, die die reaktive Leistungsfähigkeit vorwiegend negativ beeinflussen. Nur in Situationen, in denen die zusätzliche Aktivität in das motorische Programm „paßt“, können die positiven Effekte zusätzlicher Aktivierung im Sinne verbesserter Kontraktilität auch in Bewegungsleistung umgesetzt werden.

#### Summary:

Performance in activities of reactive nature largely depends on the quality of intermuscular coordination. The present paper is focused on the question whether reactive drop jumps are based on a general motor program. Thus, the identification of the variant as well as the invariant components has been investigated.

The concept of generalized reactive movement patterns can only be maintained if one assumes that effective sensory inputs from peripheral reflex receptors are integrated into the movement program. Thus, adaptations of proprioceptive reflex activity to the specific stimuli (i.e. stretch loads) need to be investigated.

One experimental approach to the analysis of motor control is the application of electrostimulation. External stimulation can be applied in specific movement phases as well as to selected muscles. The method thus allows separation of the determinants for intra- and intermuscular coordination.

The results indicate that electrostimulation interferes drastically with movement patterns and primarily causes decreased drop jump performance.

Only if the external stimulus 'fits' into the motor program, additional activation of the contractile units can improve performance in reactive movements.

## 1. Einleitung

Der menschliche Organismus reagiert auf die veränderten motorischen Situationen des täglichen Lebens, besonders aber des sportlichen Trainings mit Anpassungsmechanismen. Analysen derartiger Adaptationen zählen in der Sportwissenschaft zu den interessantesten Forschungs komplexen. Im Zentrum des Interesses stehen neben den konditionellen vor allem die koordinativen Aspekte.

In zahlreichen sportlichen Bewegungsabläufen bestimmt der Ausprägungsgrad der reaktiven Schnellkraftfähigkeit den Grad des Leistungsvermögens. Eine gute reaktive Fähigkeit ist dabei nicht nur auf einem entsprechend ausgebildeten muskulären Potential begründet (GOLLHOFER 1987), von entscheidender Bedeutung ist vielmehr, wie das Nervensystem die Muskulatur versorgt und damit die mechanischen Eigenschaften des Bewegungsapparates kontrolliert.

Typische Kontraktionsform des reaktiven Bewegungsverhaltens ist der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ). Er bestimmt in einer Vielzahl alltäglicher und sportlicher Aktionsformen die motorische Leistungsfähigkeit (z. B. Laufen, Hüpfen, Springen etc.) und wird häufig als die „natürliche“ Form muskulärer Arbeitsweise bezeichnet (KOMI 1984, KOMI 1986, GOLLHOFER 1986).

Die klassische Form, reaktive Bewegungsleistung zu analysieren, stellt der Tief-Hochsprung dar. Dabei versucht der Athlet aus unterschiedlichen Niedersprunghöhen mit möglichst kurzer Bodenkontaktzeit einen maximalen Vertikalsprung zu realisieren.

Auf der Basis faktorenanalytischer Untersuchungen konnte GOLLHOFER 1987 zeigen, daß die reaktive Kraftfähigkeit im DVZ durch mehrere Faktoren bestimmt ist: Neben der willkürlich realisierbaren Kraftfähigkeit sind noch weitere Einflußgrößen bestimmend, die sich als abhängig von der gewählten Niedersprunghöhe, also der Dehnungsbelastung formulieren lassen. Die Untersuchungsergebnisse stützen die bereits 1972 von WERCHOSHANSKIJ formulierte These, nach der das „reaktive Bewegungsverhalten eine relativ eigenständige Dimension“ darstellt und folglich auch mit eigenen Trainingsmethoden trainiert werden muß.

In mehreren Untersuchungen zur neuromuskulären Aktivierungscharakteristik bei reaktiven Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen wurde bislang übereinstimmend festgestellt, daß die Bein Streckmuskulatur vor dem Bodenkontakt aktiviert wird. Dieser Aktivierungsbeitrag ist sicherlich Bestandteil eines zentralen Bewegungsprogramms und dient funktionell der Steifheitseinstellung (Stiffness) des tendomuskulären Systems. In der ersten Bodenkontaktphase wird der aktivierte Muskel gedehnt. Funktionell könnten zusätzliche Aktivierungsanteile, die über das sensorische (afferente) System generiert werden, in dieser Phase die muskulären Kontraktionseigenschaften entscheidend erhöhen (NICHOLS 1974, HOUK et al. 1981). Aufgrund der motorischen Reaktionszeit können frühestens 120 ms nach dem Aufprall der Beine auf dem Boden erstmals über willkürliche Beeinflussungsmöglichkeiten die mechanischen Eigenschaften des Muskelsehnenkomplexes beeinflusst werden. Eine „bewußte“ Modifikation ist demnach allenfalls in der zweiten Hälfte der Bodenkontaktzeit zu erwarten (MARS DEN et al. 1978) (Abb. 1).

In Abb. 1.1. ist zur graphischen Demonstration möglicher Reflexaktivität die Latenzzeit der in der Literatur angegebenen Reflexkomponenten in ein real abgeleitetes EMG-Muster beim Tief-Hoch-Sprung eingezeichnet (MARS DEN et al. 1978). Das EMG wird mit Oberflächenableitung registriert und elektronisch gleichgerichtet. Die zeitsynchrone Mittelung erfolgt zu Beginn des Bodenkontakts mit Hilfe einer speziell entwickelten

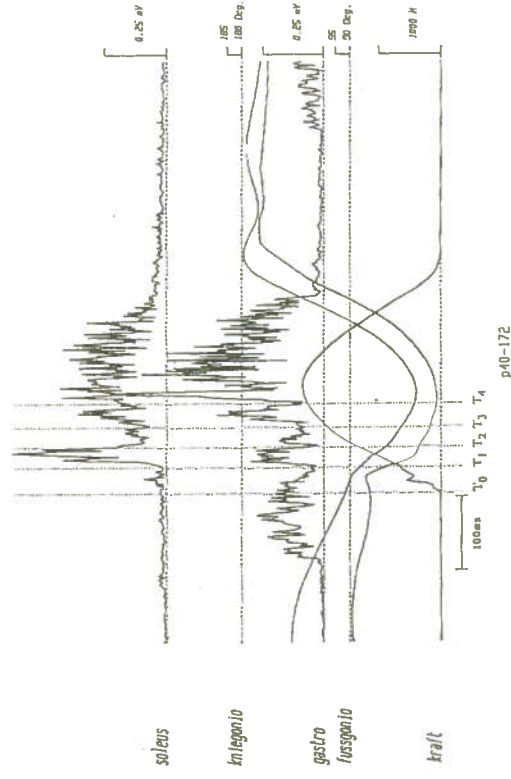


Abb. 1.1.: Gemitteltes und gleichgerichtetes Electromyogramm sowie Kraft-Zeit-Kurve der vertikalen Bodenreaktionskraft und Winkelveränderung im Knie- und Sprunggelenk beim Tiefsprung aus 40 cm Niedersprunghöhe. Eingezeichnet sind die Zeitpunkte des ersten Bodenkontakts (T0), das Auftreten der monosynaptischen Reflexlatenz (T1) und der Latenzen für Medium (T2) und Long-Latenz-Komponenten (T3). T4 indiziert die motorische Reaktionszeit (nach Marsden et al. 1978).

Software (Trippel, Freiburg) (methodische Details des Ableiteverfahrens siehe Gollhofer 1987).

Reaktive Bewegungsfertigkeiten werden vor allem „open-loop“ gestaltet: das bedeutet, daß bei der Bewältigung einer definierten motorischen Aufgabe dem propriozeptiven System über zentrale Bewegungsprogrammierung bereits vor der Bewegungsausführung eine situationsspezifische Rolle in der Muskelaktivierung zugewiesen werden muß. Vom zeitlichen Aspekt der Aktivierungsreihenfolge ist die reflektorische Muskelaktivierung als Bindeglied zwischen Voraktivierung und Willkürkontraktion zu betrachten. Von funktionellen Gesichtspunkten aus betrachtet, wird, wie in Grundlagenexperimenten bereits mehrfach der Nachweis erbracht wurde, über die Bereitstellung hochfrequenter Aktivierungsbeiträge die muskuläre Stiffness unter Dehnung optimiert.

Mit dem vorliegenden Beitrag sollte nachgewiesen werden, ob das Konzept der generellen motorischen Programmierung (GMP) auf die Bewegungsprogrammierung bei reaktiven Bewegungsformen anwendbar ist.

In einem spezifischen Ansatz soll die Frage der Interdependenz der einzelnen funktionellen Programmanteile aufgeworfen werden. Mit Hilfe gezielter Störung durch Elektrostimulation sollte versucht werden, in definierten Phasen das Bewegungsprogramm hinsichtlich der zeitlichen Aspekte der Koordination zu untersuchen. Durch selektive Stimulation definierter Muskelgruppen wurde zusätzlich der muskelspezifische Einfluß auf die reaktive Leistungsfähigkeit überprüft.

## 2. Material und Methoden

An den Untersuchungen nahmen insgesamt eine weibliche und sieben männliche sportlich trainierte Versuchspersonen teil (mittleres Alter 32,6 Jahre  $\pm$  3,2; Körpergröße 179,1 cm  $\pm$  2,8; Gewicht 76,8 kg). Die Versuchspersonen führten reaktive Tief-Hoch-Sprünge aus einer Sprunghöhe von 32 cm aus. Die Elektrostimulation (Impulszug 100 ms Länge) bestand aus 100 Hz bipolaren konstanten Stromstößen, deren Amplitude auf eine submaximale Größe eingestellt war. Vor den eigentlichen Tests wurde die Stromamplitude individuell während isometrischer Maximalkontraktion graduell so lange erhöht, bis die Versuchsperson maximale Tolerierbarkeit anzeigte. Die gerade noch tolerierbare Stärke diente anschließend in den Tief-Hoch-Sprüngen als Stimulationsamplitude. Über großflächige Elektroden (8 x 5 cm), jeweils am proximalen und distalen Ende der Muskulatur angebracht, konnten der M. Tibialis und der M. Triceps surae direkt stimuliert werden: einmal vor der Landephase, einmal zu Beginn der Landung und einmal in der zweiten Hälfte der Bodenkontaktphase. Wie Abbildung 1.2 zeigt, fallen diese Applikationszeiträume in die Voraktivierungsphase (PRE), in die reflexinduzierte Aktivierungsphase (RIA) und in die Phase der späten EMG-Antworten (LER) (Gollhofer 1987). Für jede dieser drei Zeitphasen wurden drei unterschiedliche Stimulationsbedingungen ausgewählt: Einmal wurden beide Muskelgruppen simultan aktiviert (BO), einmal nur der M. Tibialis (TA) und einmal nur der M. Triceps surae (TR).

Für eine exakte Vergleichbarkeit der einzelnen Effekte innerhalb einer Versuchsbedingung und damit auch für die Einsatzmöglichkeiten zur individuellen Mittelwertbildung war es notwendig, daß die Applikation der elektrischen Impulse zu definierten Zeitpunkten erfolgte. Die Stimulation während der Voraktivierungsphase wurde durch eine Lichtschranke, die 25 cm über der Kraft-Meßdruckplatte angebracht war, getriggert. Während die Versuchspersonen mit den Füßen die Lichtschranke passierten, startete der Impuls der Elektrostimulation. In der RIA-Phase löste der erste steile Kraftanstieg in der vertikalen Bodenreaktionskraft die Elektrostimulation aus (20 N Triggerschwelle entspricht zirka 1 bis 2 ms nach dem Aufsetzen der Beine auf dem Boden). Für die LER-Stimulation wurde das Triggersignal der ersten Bodenreaktionskraft um die Hälfte der Bodenkontaktzeit elektronisch verzögert. Sowohl die elektrische Stimulation als auch die Kontrolle der Lichtschranke war über ein spezifisches Software-Paket computergesteuert kontrolliert (Meilhouse ME 66, ME 23; Programmpaket Trippel, Aible, Universität Freiburg). Als Elektrostimulator diente ein Vier-Kanal-Präzisions-Stimulationsgerät (Universität Ljubljana, Slowenien).

Von jeder experimentellen Situation wurden sechs Sprünge aufgezeichnet. Nachdem die Versuchspersonen ein kontrolliertes Aufwärmprogramm absolviert hatten, wurden sechs reaktive Tief-Hoch-Sprünge aus 32 cm Niedersprunghöhe ohne Elektrostimulation aufgezeichnet, um eine mittlere Bodenkontaktzeit für die LER-Phasenstimulation zu ermitteln. Die ersten sechs Sprünge dienten auch zur Konditionierung. Im Anschluß daran führten die Versuchspersonen reaktive Tief-Hoch-Sprünge unter den einzelnen

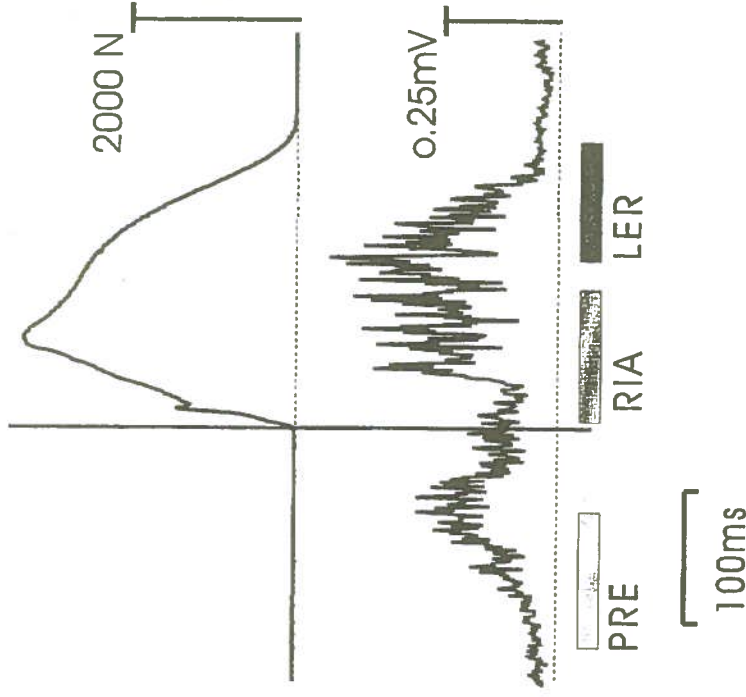


Abb. 1.2.: Exemplarischer Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskraft und gleichgerichteten und gemitteltes EMG-Muster von M. Gastrocnemius beim reaktiven Tief-Hoch-Sprung. Eingezeichnet sind die Phasen, in denen die Vpn mit submaximalen elektrischen Impulsen (100 Hz für 100 ms) stimuliert wurden.

experimentellen Bedingungen durch. Die Bedingungen wurden randomisiert angeboten, um Lern-, Ermüdungs- oder Faszilitätseffekte statistisch auszugleichen. In die einzelnen Sprünge mit Elektrostimulation wurden auch Sprünge ohne Stimulation eingestreut. Diese dienten zur Festlegung der Kontroll- oder Normierungsbedingung. Die Versuchspersonen wurden vor jedem Sprung über die Art der Elektrostimulation unterrichtet. Die Elektrostimulation verursachte bei keiner Versuchsbedingung Schmerzen. Zwei Versuchspersonen berichteten jedoch über bemerkenswerte Unannehmlichkeiten, besonders wenn die Elektrostimulation in der frühen Kontaktphase appliziert wurde.

Die Signale der Bodenreaktionskraft wurden A/D-gewandelt (1 kHz Wandelrate pro Kanal) und digital gespeichert (PC 486). Die Sprunghöhe wurde über die Flugzeit des

Körperschwerpunktes bestimmt. Aus jeder Untersuchungsbedingung wurde individuell die mittlere Höhe aller durchgeführten Sprünge errechnet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen wurden berechnet. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsbedingungen wurden auf ihre statistische Signifikanz mit Hilfe einer multifaktoriellen Varianzanalyse (MANOVA-WSFACTORS) überprüft.

### 3. Ergebnisse

In Abb. 1.3. sind die Mittelwerte der normalisierten Differenzen zwischen den Experimentalbedingungen und den Kontrollversuchen zusammengestellt. Die Nulllinie definiert diejenige Sprunghöhe, die in den Sprüngen ohne Elektrostimulation erzielt wurde. Die errechneten Signifikanz der Mittelwertsunterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsbedingungen sind in Abb. 1.3. eingetragen.

Bei der Stimulation beider Unterschenkelmuskeln (BO) war die anschließende Sprunghöhe sehr stark reduziert, besonders dann, wenn die Stimulation während der PRE- und RIA-Phase appliziert wurde. Wenn die Elektrostimulation während der späten Kontakphase ausgelöst wurde, waren hingegen nur kleine Reduktionen (3,6 %) beobachtbar. Im Gegensatz zur Stimulation beider Unterschenkelmuskeln besaß die reine Stimulation des M. Tibialis a. qualitativ ähnliche Effekte. Die Reduktionen waren allerdings deutlich vermindert.

Die selektive Stimulation des Plantarflexors (TR) verursachte nur in der PRE-Phase eine kleine Reduktion. Elektrostimulation während der RIA- oder der LER-Phase des Kontakts hatte sogar eine geringfügige Erhöhung der Sprungleistung zur Folge.

### 4. Diskussion

In der bewegungswissenschaftlichen Fachliteratur ist bislang die Anwendung von Elektrostimulation nur als Ersatz für ein reaktives Sprungkrafttraining beschrieben worden (CABRIK/APPELL 1987). Eine Überprüfung der motorischen Koordinationseffekte durch die Anwendung von Elektrostimulation bei reaktiven Sprüngen wurde bislang in der Literatur noch nicht vorgenommen. Dabei ist nicht die fehlende sportmotorische Relevanz die eigentliche Ursache, sondern vielmehr die spezifische Struktur der Kontraktionsformen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Mit seiner Aufgliederung in mehrere funktionelle Aktivierungsphasen, die einen hohen Grad gegenseitiger Abhängigkeiten besitzen, stellt der reaktive Tief-Hoch-Sprung ein sehr komplexes Kontraktionsmodell dar, welches die motorische Koordination von efferenten und afferenten Aktivierungsbeiträgen einbeziehen muß.

Für einen Einsatz der Elektrostimulation bei Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen müssen nicht nur muskelspezifische lokale Argumente, sondern auch phasenspezifische (zeitliche) Abhängigkeiten in die Überlegungen miteinbezogen werden. Mit dem vorliegenden Ansatz sollte mit Hilfe der Elektrostimulation die relative Bedeutung muskel- und phasenspezifischer Einflüsse vor dem Hintergrund generalisierter motorischer Programme untersucht werden. Vom bewegungswissenschaftlichen Standpunkt aus sind solche Fragestellungen sehr attraktiv, da mit der Elektrostimulation „quasi von außen“ ein zusätzlicher Aktivitätsbeitrag (sowohl lokal als auch zeitlich steuerbar) selektiv in ein Bewegungsprogramm hineingebaut werden kann. Ein Vergleich von „stimuliertem“ und „nichtstimuliertem“ Bewegungsvollzug müßte in der Lage sein, Aufschluß über die Bedeutung wichtiger Bewegungsphasen zu liefern.

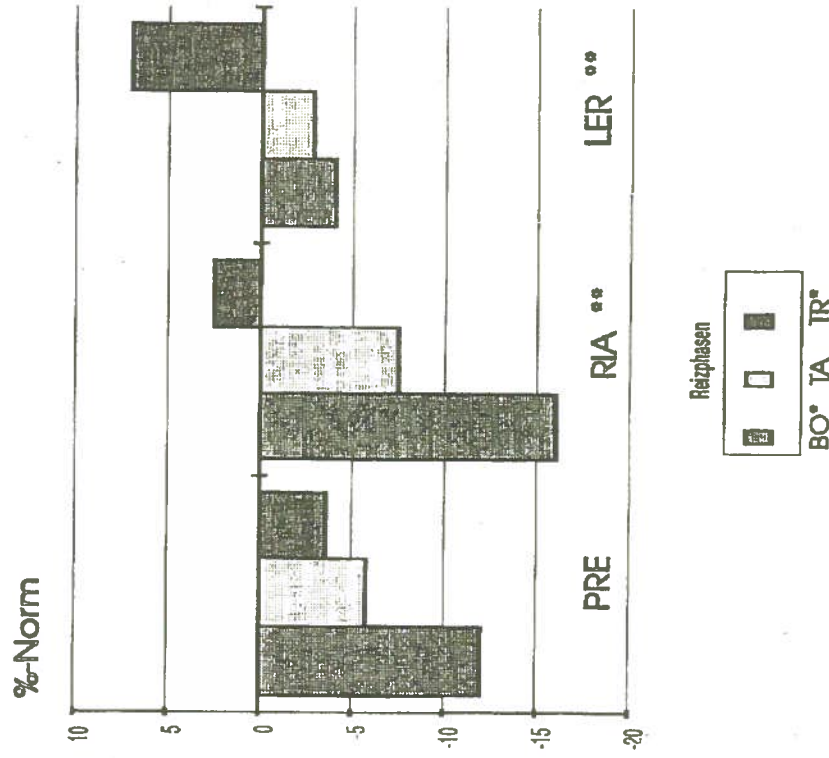


Abb. 1.3.: Mittelwertsdifferenzen der reaktiven Sprungkraftleistungen in den einzelnen Untersuchungs- bzw. Stimulationsbedingungen. Die reaktive Sprungleistung beim Tief-Hoch-Sprung ohne Elektrostimulation diente zur Festlegung des Normierungsniveaus (=0%). PRE, RIA und LER beziehen sich auf die Zeiträume, in denen die Elektrostimulation appliziert wurde (siehe Abb. 1.2). BO, TA und TR definieren den stimulierten Muskel (BO = Stimulation von M. Tibialis und M. Triceps s.; TA = Stimulation von M. Tibialis; TR = Stimulation des M. Triceps s.). Die jeweilige Signifikanz der Mittelwertsdifferenzen ist eingezeichnet (\*p < 0,005).

Über die Wirkungsweise von Elektrostimulation gibt es in der Literatur noch eine breite Diskussion. Prinzipiell können die Mechanismen in zwei Gruppen unterteilt werden: 1. Die direkte Muskelstimulation kann den kontraktile Apparat so beeinflussen, daß der mechanische Wirkungsgrad verbessert wird. Nach STRASS/StROJNIK 1991 ist besonders eine Verbesserung in den muskulären Kontraktionseigenschaften Maximalkraft und Kontraktionsgeschwindigkeit zu erwarten. 2. Der Einfluß zusätzlicher 'elektrischer' Aktivität kann jedoch auch die motorischen Programme so stören, daß eine Reduktion der Bewegungskoordination anzunehmen ist. Besonders unter der Annahme generalisierter motorischer Programmierung dürfte sich ein zusätzlich

eingestreuter Beitrag nicht eindeutig auswirken: Elektrostimulation kann einerseits einen direkten Einfluß auf die motorische Programmierung der Muskulatur haben. Durch das veränderte sensorische Feedback kann aber auch über die veränderten Afferenzen die Bewegungskoordination empfindlich gestört werden.

Entgegen den zu erwartenden mechanisch kontraktiven Vorteilen durch zusätzliche Elektrostimulation wird fast generell eine negative Interferenz mit dem motorischen Programm beobachtet. Obwohl bei Stimulation während der Voraktivitätsphase noch genügend Zeit für die unterschiedlichsten neuronalen Korrekturmechanismen zur Verfügung stehen sollte, ist die Reduktion der Sprunghöhe besonders dann ausgeprägt, wenn beide Gruppen gleichzeitig (BO) stimuliert werden. Vermutlich handelt es sich hier um eine ausgeprägte Rückkopplung von sensorischem Feedback des propriozeptiven Systems und der motorischen Programmierung. Damit wäre auch erklärbar, warum die Stimulation während der frühen Phase der reaktiven Sprünge zu einer ausgeprägten Reduktion der motorischen Leistungsfähigkeit führt. Auch hier ist die Inkonsistenz zwischen dem geänderten efferenten Muster und dem unerwarteten sensorischen Feedback hervorgehoben. Zwei Argumente unterstützen diese Beobachtung: erstens sind die negativen Effekte von Elektrostimulation eher noch verstärkt, wenn beide Muskeln simultan stimuliert werden, zweitens ist die Beeinträchtigung durch Elektrostimulation während der späten Kontaktphase reduziert, teilweise sogar aufgehoben. In dieser Phase ist bereits der größte Teil des motorischen Programms zum Muskel gesandt, so daß ein mögliches, inkonsistentes, sensorisches Feedback dann weniger bedeutsam sein sollte.

Die Sprungleistung ist auch erhöht, wenn die zusätzliche Stimulation die eigentliche muskuläre Aktion während der Absprunghase unterstützt. Die mechanischen Effekte der zusätzlichen Aktivierung sind besonders in den späten Kontaktphasen dominant. Hier stimmt die normale, im Bewegungsprogramm vorgesehene Kontraktionsform mit der von der Elektrostimulation aufgezwungenen Aktivierung überein. Es ist folglich anzunehmen, daß in diesem Falle die negativ interferierenden Einflüsse eliminiert sind.

In der Bewegungsforschung ist es praktisch unmöglich, unter Ausschaltung eines Systems die Wirkungskette der verbleibenden Regulationsmechanismen isoliert zu untersuchen. Im komplexen Ansatz muß deshalb stets von einer ganzheitlichen Betrachtung des gesamten physiologischen Systems ausgegangen werden. Aus diesem Grunde kann der vorliegende Ansatz über die Modulationsfähigkeit der menschlichen Motorik durch Elektrostimulation nur als indirekter Nachweis dafür verstanden werden, daß das motorische Programm tatsächlich gestört sein könnte. Anhand der dargestellten Ergebnisse kann jedoch festgehalten werden, daß durch Elektrostimulation das reaktive Bewegungsprogramm eindeutig beeinflusst werden kann, und zwar nicht nur hinsichtlich der muskel-, sondern vor allem hinsichtlich phasen-spezifischer Aspekte.

Für ein Technik- bzw. Konditionstraining im Bereich der reaktiven Bewegungsformen bedeutet dies, daß es neben den muskelspezifischen Effekten von Elektrostimulation auch kritische Phasen im Aktivierungsprogramm gibt, die das motorische Produkt leistungsnegativ beeinflussen können.

## 5. Konsequenzen für das reaktive Schnellkrafttraining

Tief-Hoch-Sprünge sind die am häufigsten durchgeführten Formen des reaktiven Krafttrainings. In der Sportpraxis sind systematische Belastungsvariationen wesentliche Bestandteile des reaktiven Trainings. Veränderungen im motorischen Programm der

Beinmuskulatur können, auf die jeweilige Belastungsstufe bezogen, wichtige Aufschlüsse über die neuromuskulären Regelungsmechanismen der reaktiven, weitgehend vorprogrammierten Bewegungsabläufe liefern.

Im Bereich der reaktiven Schnellkraft muß aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen für ein Technik- bzw. Konditionstraining der Schluß gezogen werden, daß Elektrostimulation als Trainingsmittel nur dann eingesetzt werden kann, wenn die zusätzliche Aktivierung auch in die motorische Bewegungsprogrammierung „paßt“. Für die Bewegungsforschung läßt sich folgern, daß jede Intervention von außen zu weitreichenden koordinativen Veränderungen in der Bewegungsausführung führt, die die Leistungsfähigkeit des Systems drastisch reduzieren.

### Literatur:

- CABRIC, M.; APPELL, H. J.: Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men. In: *Int. J. Sports Med.* 8: 256-260, 1987.
- GOLLOFFER, A.: Diagnose und Training der Schnellkraftleistung im Dehnungsverkürzungszyklus. In: MECHLING, H.; SCHMIDTBLEICHER, D.; STARISCHKA, S.: *DVS-Projekt 22, Aspekte der Bewegungs- und Trainingswissenschaft*, 205-216, 1986.
- GOLLOFFER, A.: Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. *Erfensee-SFT*, 1987.
- HOUK, J. C.; RYMER, W. Z.; CRAGO, P. E.: Dependence of dynamic response of spindle receptors on muscle length and velocity. In: *J. Neurophysiol.* 46, 143-166, 1981.
- KOMI, P. V.: Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. In: *Exercise and Sport Sciences Rev.* 12:81-121, 1984.
- KOMI, P. V.: The stretch-shortening cycle and human power output. In: JONES, N. L.; MCCARTNEY, N.; MCOMAS, A. J. (eds): *Human Muscle Power*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 27-38, 1986.
- MARSDEN, C. D.; MERTON, P. A.; MORTON, H. B.; ADAM, J.: The effect of lesions of the central nervous system on long-latency stretch reflexes in the human thumb. In: DESMEDT, J. E.: *Cerebral Motor Control in Man* Long Loop Mechanism, Basel, Karger Verlag, 334-341, 1978.
- NICHOLS, T. R.: Soleus muscle stiffness and its reflex control, Cambridge, Harvard Uni. 1974.
- STRASS, D.; STROJNIK, V.: Die Wirkung von Elektrostimulation und Willkürinnervation auf das maximale Kraftverhalten. In: *Dtsch. Z. Sportmed.* 42: 574-580, 1991.
- WERCHOSHANSKI, J.: Grundlagen des speziellen Krafttrainings. In: ADAM, D.; WERCHOSHANSKI, J. V.: *Modernes Krafttraining im Sport*. Trainerbibliothek, 4, 37-148, 1972.