
Belastungsbedingte Adaptabilität im Dehnungs-Verkürzungszyklus. Trainings-Wirkungsanalyse zur Determination der neuromuskulären Anpassungsprozesse auf Belastungsvariationen beim reaktiven Schnellkrafttraining¹

Albert Gollhofer (Projektleiter), Dieter Bubeck, Jannis Sialis

Universität Freiburg

Institut für Sport und Sportwissenschaft

1 Einleitung

Sportliche Bewegungen werden sehr häufig im Bewegungsmuster des Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) durchgeführt. Die Besonderheiten dieser Bewegungsform und deren eigenständiger Charakter führen dazu, dass der DVZ sehr häufig Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen ist und andererseits diese Beanspruchungsform als spezifischer Inhalt im Trainingsalltag des Leistungs- und Hochleistungssports seine Anwendung findet. Als entscheidende physiologische Einflussgröße für die Leistungsfähigkeit im DVZ bei sog. reaktiven Drop Jumps ist das neuromuskuläre System anzusehen. Hierbei spielen die zeitlichen Aktivierungsmechanismen und die muskelphysiologischen Eigenschaften der leistungsbestimmenden Muskulatur eine wichtige Rolle. Aufgrund der Besonderheiten der neuronalen Aktivierung und der muskelphysiologischen Voraussetzungen im reaktiven DVZ (vgl. Gollhofer, 1987; Schmidtbleicher, 1985) müssen die Bewegungsformen, welche zum Training bzw. zur Analyse der reaktiven Schnellkraftfähigkeiten herangezogen werden sollen, Belastungsparameter aufweisen, welche zu trainingswirksamen Beanspruchungen des neuromuskulären Systems führen. Dabei wird die Belastung zum einen durch die entsprechenden Belastungsnormative und zum anderen durch die Art der Belastung (Trainingsinhalt) determiniert (Bubeck & Gollhofer, 2001).

Hinsichtlich der Belastungsnormative können zur Ansteuerung der reaktiven Leistungsfähigkeit verallgemeinert die nachfolgenden Trainingsprogramme unterschieden werden:

- Programme mit unterschiedlichen Belastungsumfängen
- Programme mit unterschiedlichen Belastungsintensitäten (Variation der Fallhöhen beim Drop Jump) (vgl. Bosco & Pittera, 1982; Clutch et al., 1983; Schmidtbleicher et al., 1987; Wilson et al., 1997; Neubert, 1999).

¹ VF 0407/05/02/2002

Während die Auswirkungen von unterschiedlichen Belastungsintensitäten bereits vielfältig untersucht wurden, gibt es noch keine ausreichenden Erkenntnisse hinsichtlich der Auswirkung von verschiedenen Belastungsumfängen auf die reaktive Sprungleistungsfähigkeit. Das hier bearbeitete Folgeprojekt beabsichtigte, systematisch die neuronalen und muskelphysiologischen Anpassungseffekte beim Training der reaktiven Kraftfähigkeiten auf unterschiedliche Belastungsreize und -umfänge hin zu untersuchen. Im Einzelnen sollen dabei anhand längsschnittlich angelegter Trainings-Wirkungsanalysen folgende übergreifende Fragestellungen analysiert werden:

1. Welchen Einfluss hat der Belastungsumfang auf die neuromuskulären und mechanischen Parameter beim reaktiven DVZ?
2. Welchen Einfluss hat die Art und Weise der Belastungseinwirkung auf die neuromuskulären Anpassungsprozesse?

Die Beantwortung dieser Fragen erfolgte durch zwei voneinander unabhängig durchgeführten Trainings-Wirkungsanalysen. Im Rahmen der erste Studie wurden die Auswirkungen von unterschiedlichen Belastungsumfängen in Form von extensiven und intensiven Trainingsprogrammen untersucht, die zweite Untersuchung diente der Analyse der Auswirkungen von unterschiedlichen Sprungtrainingsformen auf die reaktive Sprungleistungsfähigkeit. Hierbei wurden freie Drop Jumps (DJ) und vergleichbare Jumps auf einem speziell hierfür konstruierten Schlittensprungsystem (SJS) hinsichtlich ihrer Wirkungsweise untersucht.

2 Material und Methoden

Die Inhalte und der Gesamtablauf der Trainingsstudien sollen durch die Darstellung der Probandenauswahl, der spezifischen Trainingsinhalte, der Belastungsgestaltung, des zeitlichen Ablaufes und der verwendeten Diagnoseparameter spezifiziert werden. Dabei wurden für jede Trainingsstudie zwei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe vorgesehen. Alle Gruppen absolvierten ihr normales Training mit Ausnahme der Belastungen im reaktiven Sprungkraftbereich und im Maximalkraftbereich der Beinmuskulatur.

Die Studie zur Analyse der Auswirkungen von Variationen der Belastungsumfänge wies das in der nachfolgenden Tabelle dargestellte Untersuchungsdesign auf.

Tab. 1: Trainingsdesign der Längsschnittstudie „Belastungsumfangsvariation“

	Gruppe 1 (intensiv)	Gruppe 2 (extensiv)	Kontrollgruppe
Anzahl n	7-10	7-10	7-10
Trainingsinhalt	Drop Jumps + normales Training	Drop Jumps + normales Training	normales Training
Belastungsintensität	optimal	optimal	--
Trainingsumfang pro TE	3 - 4 x 12	3 - 4 x 40	--
Serienpause	5 min	5 min	--
TE pro Woche	2 - 3	2 - 3	--
Trainingsdauer (Wochen)	4	4	4

Trainingsinhalt waren normale Drop Jumps die aus der optimalen Fallhöhe realisiert wurden. Die Studie zur Analyse der Auswirkungen von Variationen des Sprungsystems wies das in der nachfolgenden Tabelle dargestellte Untersuchungsdesign auf.

Tab. 2: Trainingsdesign der Längsschnittstudie „Sprungsystemvariation“

	Gruppe 1 (DJ)	Gruppe 2 (SJS)	Kontrollgruppe
Anzahl n	7-10	7-10	7-10
Trainingsinhalt	Drop Jumps + normales Training	Sledge Jumps + normales Training	normales Training
Belastungsintensität	0,4 m	0,4 m	--
Trainingsumfang pro TE	5 x 10 bis 8 x 10	5 x 10 bis 8 x 10	--
Serienpause	5 min	5 min	--
TE pro Woche	2-3	2-3	--
Trainingsdauer (Wochen)	4	4	4

Als Trainingsinhalte für die Gruppe 1 dienten normale Drop Jumps von Erhöhungen die von 0,4 m hohen Absprüngekästen ausgeführt wurden. Trainingsgruppe 2 absolvierte Sprünge am Schlittensprungsystem wobei wiederum die Belastung so gewählt wurde, dass sie einer Fallhöhe von 0,4 m entsprach.

Zu Beginn der Trainingsstudie und nach vier Wochen Training wurden die mechanischen und physiologischen Parameter zur Charakterisierung der reaktiven Leistungsfähigkeit erhoben. Dabei wurden Sprünge aus 30, 40, 50 und 60 cm Fallhöhe sowie bei der optimalen Belastungsintensität beim Drop Jump durchgeführt. Zur Analyse der Veränderungen durch den Trainingsprozess wurden die folgenden mechanischen und physiologischen Parameter erhoben:

- Bodenreaktionskräfte
- Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes und Energie
- reale Fallhöhe

- Gelenkwinkel: Fuß- und Kniegelenk
- Oberflächenelektromyographie: *M. soleus*, *M. gastrocnemius*, *M. tibialis anterior*, *M. vastus medialis*, *M. rectus femoris* und *M. biceps femoris*.

3 Ergebnisse Belastungsumfangsvariation

Veränderung der mechanischen Parameter

Die mechanischen Parameter lassen eine Veränderung sowohl für die Gruppe „intensiv“ als auch für die Gruppe „extensiv“ erkennen. Die intensive Trainingsmethode verursachte nach der Trainingsphase eine leichte Erhöhung der Bodenreaktionskraft und eine Erhöhung der Flugzeit.

Im Gegensatz dazu verursachte die extensive Trainingsmethode nach der Trainingsphase eine deutliche Senkung der Bodenreaktionskraft und eine Reduzierung der Flugzeit.

Veränderung der neuromuskulären Parameter

Bei beiden Gruppen lassen sich Modifikationen der neuromuskulären Aktivierungsmuster beobachten, die sich eindeutig in der Charakteristik des EMG-Musters zeigen. Besonders deutliche Veränderungen des EMG-Musters sind während der VOR (onset – tkont)-Phase zu beobachten. Das EMG-Muster der Gruppe „intensiv“ weist hierbei eine Linksverschiebung und eine Amplitudenvergrößerung auf, während die Veränderungen der Gruppe „extensiv“ durch eine Rechtsverschiebung ihres EMG-Musters und eine Aktivitätsverringerng charakterisierbar sind.

4 Ergebnisse Sprungsystemvariation

Veränderung der mechanischen Parameter beim Drop Jump

Die mechanischen Parameter lassen bei den Bodenkontaktzeiten eine Erhöhung bei der Kontrollgruppe und der SJS-Gruppe beobachten. Die DJ-Gruppe zeigt keine Veränderungen. Bei den Sprungleistungen im Anschluss an den Bodenkontakt verhält es sich umgekehrt, d.h. die DJ-Gruppe erhöht ihre Sprungleistung signifikant während die beiden anderen Gruppen keine Veränderungen zeigen. Beide Werte resultieren im reaktiven Leistungsindex, der infolge o.g. Veränderungen bei der DJ-Gruppe eine Erhöhung, bei der SJS-Gruppe eine Verringerung und bei der KG keine Veränderung aufweist. Die maximalen Gelenkwinkel in Knie- und Sprunggelenk während des Bodenkontaktes werden infolge des Trainingsprozesses bei der DJ-Gruppe signifikant reduziert, wohingegen keine Veränderungen bei der KG und nur im Fußgelenk bei der SJS-Gruppe signifikant Verringerungen feststellbar sind.

Veränderung der neuromuskulären Parameter beim Drop Jump

Beispielhaft für die Veränderungen der beteiligten Muskulatur durch den Trainingsprozess zeigt der *M. soleus* bei der DJ-Gruppe signifikant Reduktionen im EMG während der Latenzphase (LAT) und der Reflexinduzierten Phase (RIA) auf. Bei der Kontrollgruppe finden nahezu keine Veränderungen statt, und bei der SJS-Gruppe kommt es zu signifikant Erhöhungen der Aktivität in der Phase der späten EMG-Antworten (LER).

Tab. 3: Prozentuale Veränderungswerte des *M. soleus* in den unterschiedlichen Phasen der Bewegung

Gruppe	Phase			
	PRE	LAT	RIA	LER
DJ	6,2%	-16,2% p = 0.006	-12,0% p = 0.009	-3,1%
Kontroll	-1,9%	-4,3%	-1,3%	4,0%
SJS	10,4%	-0,5%	1,2%	10,5% p = 0.009

Die Ergebnisse deuten auf eine Rechtsverschiebung des EMG-Musters bei der SJS-Gruppe hin, während es bei der DJ-Gruppe zu einer Verringerung der muskulären Aktivität während der Hauptarbeitszeit der Muskulatur kam. Ähnliche Effekte lassen sich bei den anderen beteiligten Muskelgruppen beobachten.

5 Diskussion

Bewegungsabläufe in Form eines schnell ablaufenden DVZ (Bewegungszeit ca. 200 ms) werden als „geschlossene Fertigkeiten“ bezeichnet. Der Bewegungsablauf bei derartigen Kontraktionsformen ist bereit vorprogrammiert. Die Innervationscharakteristik beim DVZ zeigt eine Stabilität besonders hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufes. Eine Änderung der Innervationsstrategie wurde allerdings durch den Einfluss der Belastung beobachtet. Der Einwirkung belastungsbedingter Faktoren führt zur Änderung des Innervationsmusters und damit zur Erhöhung des willkürlichen Aktivitätsanteils (Rechtsverschiebung des EMG-Musters). Die hohen Zusammenhänge des linksgerichteten EMG-Musters mit dem Lindex belegen einen hohen Einfluss der frühen Aktivitätsanteile des Innervationsmusters auf die reaktive Leistungsfähigkeit. Somit kann festgestellt werden, dass ein ausgeprägtes Schnellkraftniveau bei schnell ablaufenden DVZ durch ein „linksgerichtetes“ EMG-Muster verwirklicht werden kann. Dies wird deutlich, wenn Trainingsprogramme mit intensiven bzw. extensiven Belastungscharakteristiken zum Einsatz kommen. Dabei konnten beide Trainingsprogramme das Innervationsmuster auf unterschiedlicher Weise beeinflussen.

Die intensive Belastungscharakteristik sorgte für eine Linksverschiebung des Innervationsmusters, die extensive dagegen für eine Rechtsverschiebung.

Ähnliche Beobachtungen lassen sich durch Veränderungen des Sprungsystems machen. Dabei kommt es infolge des Trainingsprozesses am Sprungschlitten (SJS) zu Rechtsverschiebungen im EMG, welche sich in einer reduzierten Leistungsfähigkeit im DVZ äußern.

6 Schlussfolgerungen

Zur Erzeugung hoher Schnellkraftleistungen bei Bewegungsabläufen in Form eines schnell ablaufenden DVZ ist ein linksgerichtetes Innervationsmuster (Ausprägung der frühen EMG-Zeitphasen) notwendig. Für die Trainingspraxis lässt sich folgern, dass der Einsatz von Trainingsmethoden mit einer intensiven Belastungscharakteristik funktionelle Anpassungen erzeugt, die zur Betonung der frühen Zeitphasen des Innervationsmusters und somit zur Erhöhung der reaktiven Leistungsfähigkeit führen können.

7 Literatur

- Bosco, C. & Pittera, C. (1982). Zur Trainingswirkung neuentwickelter Sprungübungen auf die Explosivkraft. *Leistungssport*, 12 (1), 36-39.
- Bubeck, D. & Gollhofer, A. (2001). Effects of load variations on jump performance and muscle activation patterns. In J. Mester, G. King, H. Strüder, E. Tsolakidis & Osterburg, A. (eds.), *Perspectives and Profiles. Book of Abstracts 6th Annual Congress of the ECSS* (S. 321). Köln.
- Clutch, D., Wilton, M., McGown, C. & Bryce, G.R. (1983). The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Research Quarterly*, 54 (1), 5-10.
- Gollhofer, A. (1987). *Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Erlensee.
- Neubert, A. (1999). *Zur Diagnostik und Trainierbarkeit des reaktiven Bewegungsverhaltens*. Freiburg.
- Schmidtbleicher, D. (1985). Neurophysiologische Aspekte des Sprungkrafttrainings. In K. Carl & J. Schiffer (Hrsg.), *Zur Praxis des Sprungkrafttrainings* (S. 56-72). Köln.
- Schmidtbleicher, D., Gollhofer, A. & Frick, U. (1987). Auswirkungen eines Tiefsprungtrainings auf die Leistungsfähigkeit und das Innervationsverhalten der Beinstreckmuskulatur. *Dt. Z. Sportmed.* 38 (9), 389-394.
- Wilson, G.J., Murphy, A.J. & Walshe, A.D. (1997). Performance benefits from weight and plyometric training: effects of initial strength level. *Coaching and Sport Science Journal* 2 (1), 3-8.