

Die Einflussnahme eines reaktiven Krafttrainings auf die Sprungkraftleistung und die spinale Erregbarkeit des monosynaptischen Dehnreflexes bei Kontraktionen im DVZ

Albert Gollhofer (Projektleiter), Wolfgang Taube & Christian Leukel

Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

Problemstellung

Sportliche Leistungen werden durch verschiedene Arten von Muskelkontraktionen realisiert. Dabei stellt der Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) eine für den Sport effiziente und somit wichtige Muskelkontraktionsform dar. Der DVZ ist durch eine Dehnung (exzentrische Muskelarbeit) und darauf folgende Kontraktion (konzentrische Muskelarbeit) des Zielmuskels gekennzeichnet. Bei schnell ablaufenden Kontraktionen im DVZ, wie etwa bei Drop-Jumps, wird in der Literatur der monosynaptische Dehnreflex als wichtige Komponente diskutiert (Komi, 2003). Die muskuläre Wirksamkeit des monosynaptischen Dehnreflexes kann durch 2 Arten verändert werden: Einerseits durch das fusimotorische System (γ -motorisches System), andererseits durch die Modulation des Ia afferenten Input auf spinaler Ebene. Die spinale Modulation in Abhängigkeit der Fallhöhe bei Drop-Jumps wurde in einer vorhergehenden Studie untersucht (Leukel et al., 2007). Dabei stellte sich heraus, dass die spinale Erregbarkeit von Ia Afferenzen zum Zeitpunkt der short latency response des Dehnreflexes (SLR) bei hoher Höhe (76 cm) geringer war als bei niedriger Höhe (31 cm). Die Reduktion des spinalen Input bei hoher Höhe wurde funktionell als Verletzungsprophylaxe aufgrund der hohen Belastung des Muskel-Sehnensystems beim Aufprall auf den Boden gedeutet. Im Fall der niedrigen Höhe sind diese Belastungen stark reduziert und die spinale Erregbarkeit ist gleichzeitig erhöht. Dies ist funktionell am wahrscheinlichsten dadurch zu erklären, dass eine hohe spinale Erregbarkeit die muskuläre Stiffness steigert und dadurch elastische Energie während der exzentrischen Phase des Drop-Jumps im tendomuskulären System besser gespeichert werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Studie sollte dem Punkt der „funktionellen Reflexanpassung“ vertieft nachgegangen werden, indem in einem ersten Schritt die spinale Erregbarkeit bei Drop-Jumps mit der spinalen Erregbarkeit bei Landungen verglichen wurde. Bei Letzterem ist die Speicherung elastischer Energie in das Muskel-Sehnensystem funktionell irrelevant. Dementsprechend wurde eine reduzierte spinale Erregbarkeit bei dieser Bewegung im Vergleich zu reaktiven Sprüngen erwartet.

In einem zweiten Schritt wurde mit einer Experimentalgruppe ein Reaktivkrafttraining über 4 Wochen durchgeführt. Es wurde der Frage nachgegangen, inwieweit eine verbesserte Sprungleistungsfähigkeit (maximale Sprunghöhe) mit Änderungen der spinalen Erregbarkeit von Ia Afferenzen einhergeht. Aufgrund der funktionellen Bedeutung des monosynaptischen Dehnreflexes beim DVZ wurde die Hypothese aufgestellt, dass der spinale Beitrag der Ia Afferenzen (der H-Reflex) nach dem Training erhöht sein müsste.

Methoden

23 Versuchspersonen (Trainingsgruppe: $n = 13$, Kontrollgruppe: $n = 10$) wurden in dieser Studie untersucht. Drop-Jumps wurden von 3 unterschiedlichen Höhen ausgeführt, 30 cm (LH), 50 cm (MH) und 70 cm (EH). Landungen wurden von 30 cm Höhe durchgeführt. H-Reflexe wurden am N. tibialis (m. soleus) appliziert. Der H-Reflex wird als etabliertes Instrument in neurophysiologischen Untersuchungen verwendet, um die spinale Erregbarkeit von Ia afferenten Bahnen widerzuspiegeln. Die Stimulation in der vorliegenden Arbeit wurde so appliziert, dass der Peak des H-Reflexes entweder mit dem Bodenkontakt oder mit der SLR zeitlich übereinstimmte. Zusätzlich zu der neurophysiologischen Untersuchungsmethode wurden Bodenreaktionskräfte, Sprung- und Kniegelenkwinkel, Elektromyogramme (EMGs) von m. soleus, m. tibialis anterior, m. gastrocnemius medialis und rectus femoris während der Sprünge bestimmt. Außerdem wurde bei allen Sprunghöhen die maximale Sprungleistungsfähigkeit bestimmt.

Das spezifische Sprungkrafttraining wurde 4 Wochen durchgeführt, die Inhalte des Trainings orientieren sich an der Arbeit von Sialis (2004) (Trainingsplan „intensiv“). Die Probanden führten pro Trainingseinheit je 10 Drop-Jumps von 30 cm, 50 cm und 70 cm aus. Zwischen den einzelnen Sprüngen wurden Pausen von 10 - 12 Sekunden eingehalten. Bei dem Wechsel von einer Sprunghöhe zur nächsten fand eine 10-minütige Pause statt. Für die Auswertung des Querschnitts der Studie (Drop-Jumps versus Landungen) wurden die Daten der Eingangsmessung verwendet.

Ergebnisse

Drop-Jumps versus landings

Zum Zeitpunkt der SLR waren die H-Reflexe bei Landungen im Vergleich zu Drop-Jumpserniedrig (H/M ratio Landungen: $0,33 \pm 0,18$; H/M ratio Drop-Jumps: $0,49 \pm 0,18$, $p < 0,001$). Zum Zeitpunkt des Bodenkontakts ergaben sich keine Unterschiede zwischen Landungen (H/M ratio: $0,46 \pm 0,14$) und Drop-Jumps (H/M ratio: $0,46 \pm 0,15$).

H-Reflexe vor und nach Training

Unabhängig von der Fallhöhe ergaben sich keine Unterschiede in der H/M -Ratio vor und nach Training (weder zum Zeitpunkt der SLR noch bei Bodenkontakt). Die Sprunghöhe hingegen verbesserte sich bei allen Fallhöhen bei der Trainingsgruppe signifikant (LH prä: 25 ± 5 cm; LH post: 27 ± 6 cm, $p < 0,05$; MH prä: 24 ± 6 cm; MH post: 29 ± 7 cm, $p < 0,001$; EH prä: 25 ± 6 cm; EH post: 29 ± 7 cm, $p < 0,01$). In der Kontrollgruppe war kein Unterschied in der maximalen Sprunghöhe festzustellen (LH prä: 27 ± 3 cm; LH post: 23 ± 5 cm; MH prä: 28 ± 2 cm; MH post: 26 ± 5 cm; EH prä: 27 ± 1 cm; EH post: 25 ± 5 cm).

Tab. 1: *H/M ratios der Kontrollgruppe und der Trainingsgruppe zum Zeitpunkt des Bodenkontakts und der SLR*

	Kontrollgruppe			
	Bodenkontakt		SLR	
	prä	post	prä	post
LH	0,48 ± 0,16	0,49 ± 0,14	0,51 ± 0,16	0,52 ± 0,12
MH	0,46 ± 0,17	0,48 ± 0,17	0,45 ± 0,14	0,52 ± 0,11
EH	0,42 ± 0,16	0,44 ± 0,14	0,41 ± 0,15	0,45 ± 0,11

	Trainingsgruppe			
	Bodenkontakt		SLR	
	prä	post	prä	post
LH	0,44 ± 0,15	0,38 ± 0,17	0,44 ± 0,19	0,43 ± 0,14
MH	0,45 ± 0,13	0,42 ± 0,15	0,41 ± 0,19	0,39 ± 0,11
EH	0,39 ± 0,13	0,42 ± 0,13	0,39 ± 0,18	0,37 ± 0,13

Diskussion

Bei Landungen waren die H-Reflexe zum Zeitpunkt der SLR signifikant niedriger als bei Drop-Jumps. Bei Bodenkontakt ergab sich kein Unterschied zwischen den Bedingungen. Ein erhöhter spinaler Input von Ia Afferenzen bei Drop-Jumps zum Zeitpunkt der SLR könnte funktionell als Mechanismus zur Erhöhung der tendomuskulären Stiffness gedeutet werden (Komi & Gollhofer, 1997). Eine erhöhte tendomuskulären Stiffness ist bei Kontraktionen im DVZ bedeutend, da hiermit in der exzentrischen Phase der Bewegung elastische Energie in die Sehne eingespeichert werden kann. Diese Energie kann zur verbesserten Leistung in der nachfolgenden konzentrischen Phase freigegeben werden (Komi, 2003). Bei Landungen ist die Speicherung elastischer Energie unbedeutend. Vielmehr hat hauptsächlich die untere Extremität die Aufgabe, freiwerdende kinetische Energie schnellstmöglich zu absorbieren. Somit hat das neuronale System unterschiedliche aufgabenspezifische Anforderungen zu bewältigen. Die Unterschiede der H-Reflexe zwischen den Bedingungen könnten einen Teil der neuronalen Adaptation repräsentieren. Sie zeigen auf, dass sich das spinale System aufgabenspezifisch und funktionell „einstellen“ lässt. Aufgrund der kurzen Latenz der SLR kommen für diese „Einstellung“ nur supraspinale Zentren in Frage, die im Sinne einer feedforward-Regelung die spinale Erregbarkeit situationsspezifisch modulieren (es findet ein „pre-setting“ statt).

Beim Längsschnitt dieser Studie konnte die vorab aufgestellte Hypothese nicht bestätigt werden. Die H-Reflexe unterschieden sich nicht bei Drop-Jumps von unterschiedlichen Höhen vor und nach Training. Es könnte vermutet werden, dass andere neuronale Systeme, die den Drop-Jump maßgeblich steuern und regeln, ihren Output durch das Training moduliert haben. Dies könnte sich durch adaptierte muskuläre Pattern zeigen. Andererseits wäre eine Adaptation des tendomuskulären Systems zu diskutieren, das durch Anpassung der „stiffness“ Änderungen der Sprunghöhe bei gleicher neuronaler Ansteuerung bewirken könnte. Um diese Fragen zu klären, werden im Moment weiterführende Auswerteschritte unternommen.

Abschließend ist zu sagen, dass sich die in dieser Studie verwendete hochintensive (wenig Umfang, lange Pausen, maximale Sprünge) Trainingsform zur Verbesserung der Sprungleistungsfähigkeit sehr gut eignet.

Literaturverzeichnis

- Komi, P.V. & Gollhofer, A. (1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. *Journal of applied biomechanics*, 13, 451-460
- Komi, P.V. (2003). Stretch-Shortening Cycle. In P.V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pp. 184-202). Oxford: Blackwell Science.
- Leukel, C., Taube, W., Gruber, M., Hodapp, M. & Gollhofer, A. (2007). Influence of falling height on the excitability of the soleus H-Reflex during Drop-Jumps. *Acta physiologica* (Oxford) (published online ahead of print)
- Sialis, J. (2004). *Innervationscharakteristik und Trainingsadaptibilität im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus*. Stuttgart: Universität Stuttgart.