

Zusammenfassung

Die Wirkung von Dehnen auf die maximale Bewegungsreichweite wird wesentlich von den Belastungsgrößen Intensität, Dauer, Dichte und Häufigkeit bestimmt. Insbesondere die Intensität der Dehnung ist in experimentellen Untersuchungen bisher nicht thematisiert. Vorgestellt wird eine Untersuchung zur differentiellen Wirkung einer wiederholten submaximalen (sog. „weiches“ Dehnen) bzw. maximalen Dehnung auf die kurzfristige Veränderung der Bewegungsreichweite. Die maximale Bewegungsreichweite wurde vor und unmittelbar nach der Trainingsprozedur erfaßt. Beide Maßnahmen in Form einer Serie aus 15 Wiederholungen zeigen signifikante kurzfristige Verbesserungen der maximalen Bewegungsreichweite, die maximale Dehnintensität ist dabei der submaximalen Dehnintensität deutlich überlegen. Die Ergebnisse werden unter dem Gesichtspunkt ihrer Generalisierbarkeit diskutiert.

Schlüsselworte: Beweglichkeit, Bewegungsreichweite, Dehnen, Dehnintensität

Summary

Stretching-effects on the acute and chronic range of motion (ROM) changes depend considerably on the strain factors intensity, duration, density and frequency. Especially stretch intensity has not been an issue in experiments before. The following experiment refers to the differentiating effects of a submaximum („soft stretch“) and a maximum stretch on the acute ROM change. The ROM measurements were obtained before and immediate after any treatment. Both procedures, each consisting of one sequence of 15 trials, show significant acute increases of ROM. Thereby the maximum intensity leads to significant greater effects than the „soft stretch“. The results will be discussed according to their generalization.

Keywords: Flexibility, range of motion, stretching, intensity

Wie beeinflussen unterschiedliche Dehnintensitäten kurzfristig die Veränderung der Bewegungsreichweite?

Effects of different stretch-intensity on the acute change of range of motion

Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft (Leiter: Prof. Dr. Reinhard Dausgs)

Einleitung

Dehnen wird nicht nur im Leistungs- und Breitensport, sondern auch in Prävention und Rehabilitation zum Aufbau und Erhalt funktioneller Leistungsfähigkeit der Muskulatur, hier der Beweglichkeit bzw. der Bewegungsreichweite, eingesetzt. Es liegen zahlreiche Befunde zu deren wirkungsvollem Einsatz vor. Ganz im Gegensatz dazu steht der empirische Gehalt von Erklärungsansätzen dieser Effekte. Die aktuelle Forschungslage sowohl im sportwissenschaftlichen als auch im medizinischen Bereich ist leider dadurch gekennzeichnet, daß nur wenige Ansätze zu finden sind, die sich mit der Überprüfung gängiger Erklärungsmechanismen über die Wirkungen des Dehnens auseinandersetzen (7). Für einen auch unter praktischen Gesichtspunkten so relevanten Anwendungsbereich im Sport und in der Krankengymnastik/Physiotherapie ist dies besonders kritisch: Empfehlungen und Verfahren bei der Anwendung von Dehnübungen, die hinsichtlich der zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen nicht oder nur durch teilweise sich widersprechende Annahmen erklärt werden können, implizieren den Anschein von hoher Beliebigkeit und damit die Gefahr eines sehr problematischen, möglicherweise auch wirkungslosen „Herumprobierens“ an Sportlern und Patienten.

Neben dem generellen Defizit an grundlegenden Untersuchungen ist eine Ursache für die z.T. widersprüchliche Befundlage und darauf bezogene ebenso widersprüchliche Handlungsempfehlungen in der uneinheitlichen und teilweise fehlenden Beschreibung der für die Beweglichkeit relevanten Belastungsparameter zu suchen. Eine Analyse (vgl. Tab. 1) zeigt, daß die im Sinne von Trainingsanpassungen essentiellen Parameter Intensität, Dauer, Dichte und Häufigkeit einer Dehnbelastung nicht hinreichend präzisiert sind und nicht nur in experimentellen Untersuchungen sondern auch in der Trainingspraxis (Sport und Krankengymnastik/Physiotherapie) unsystematisch verwendet werden (15, 19). Dies gilt insbesondere für die eine Trainingsmethode wesentlich kennzeichnende Belastungsgröße „Intensität“.

Die Dehnintensität ist als unabhängige Variable bisher explizit nicht thematisiert, so daß zu deren spezifischer Wirkung keine Befunde vorliegen. Praktische Empfehlungen zur Ausführung von Dehnübungen auch in orthopädischer Fachliteratur zeichnen sich zudem häufig dadurch aus, daß operationalisierbare Angaben zur Intensität völlig fehlen. Dieser Mangel ist als besonders gravierend zu betrachten, da die Intensität einer Dehnung des tendomuskulären Systems einen hohen Einfluß darauf hat, welche der beteiligten Teilsy-

| Autor(en) | Dehndauer/ Wiederholungen | Dehnintensität |
|------------------------------------|------------------------------|---|
| (a) Stretching Sachbücher | | |
| ANDERSON 1989 | 20-60 sec | „bis milde Spannung“ |
| BITTMANN 1995 | 60-120 sec | „Untergrenze Schmerzschwelle“ |
| EINSINGBACH/WESSING/ HAAGE 1993 | 15-30 sec | „gering/mittel; 40% - 60%“ |
| GROSSER/HERBERT 1992 | 10-30 sec | „bis an die Grenze der Schmerzempfindungen“ |
| KEMPF 1990 | 15-30 sec | „bis Schmerzgrenze“ |
| SPRING ET AL. 1986 | 15-30 sec | „bis leichtes Ziehen“ |
| STERNAD 1987 | 10-20 sec | „spürbares Spannungsgefühl ohne Schmerz“ |
| (b) Experimentelle Arbeiten | | |
| HOLT/TRAVIS/OKITA 1970 | 20 sec | „until he could feel stretch“ |
| SADY/WORTMAN/BLANKE 1982 | 6 sec | „full range of motion“ |
| SCHÖNTHALER/OTT 1994 | 45 sec | „bis zum maximalen durch den Probanden bestimmten Dehn- reiz“ |
| WIEMANN 1991 | 20 sec | „weiches Vordehnen, Nachdehnen bis zum Maximum“ |
| WYDRA/BÖS/KARISCH 1991 | 20 Wdh./20 sec | „bis zum Erreichen der Schmerzschwelle“ |

Tabelle 1: Exemplarische Zusammenstellung empfohlener (a) und in experimentellen Untersuchungen verwendeter (b) Dehndauern und Dehnintensitäten

steme (Muskelgewebe, Bindegewebe) in welcher Weise beansprucht werden, und auf welche dieser verschiedenartigen Beanspruchungen Veränderungen der Bewegungsreichweite dann zurückgeführt werden können.

Der Nachweis einer differentiellen Wirkung unterschiedlicher Dehnintensitäten hat nicht nur grundlegende theoretische Bedeutung, er ist auch von hohem praktischen Nutzen in den verschiedenen Anwendungsbereichen von Dehnverfahren, insbesondere in der muskulären Rehabilitation sowie im gesundheitssportlich orientierten Freizeit- und Breitensport, aber auch im Leistungssport.

Fragestellung

Das mechanische Muskelmodell von *Hujing* 1992 (11) legt nahe, daß unterschiedliche Intensitäten mechanischer Dehnbelastungen in differentieller Weise einerseits elastische und plastische Strukturen innerhalb der Muskelfasern andererseits elastische Strukturen der Sehne bzw. des Muskel-Sehnen-Übergangs beanspruchen. Dane-

ben sind auch neuromuskuläre Teilsysteme möglicherweise unterschiedlich beteiligt. Die Längenregulation, die Spannungsregulation und die über Nozizeptoren gesteuerten Kontrollmechanismen. Die durch mechanische Dehnbelastungen hervorgerufenen unterschiedlichen Reaktionen dieser Systeme (Aktivierung, Hemmung; Habituation, Adaptation) werden in der einschlägigen Fachliteratur als Einflußfaktoren auf die Veränderung der Bewegungsreichweite gesehen (zusammenfassend 12, 31), ohne daß Übereinstimmung über deren jeweils spezifischen Einfluß bzw. Anteil an der Veränderung besteht.

Ullrich/Gollhofer führen Verbesserungen der maximalen Bewegungsreichweite gemessen als Verringerung des muskulären Dehnwiderstandes (vgl. auch 30) vorwiegend auf die Dehnung des bindegewebigen Anteils des tendo-muskulären Systems zurück und erklären dieses Phänomen über den „creeping“-Effekt (28). Da dieser erst bei Muskellängen im maximalen physiologischen Bereich bei hinreichend langer Dehndauer auftritt, ist davon auszugehen, daß hierfür auch eine

maximale Dehnintensität erforderlich ist. Gegen eine solche Hypothese wäre allerdings der Einwand geltend zu machen, daß hohe Dehnintensitäten mit Schmerzempfindungen verbunden sind (maximales Dehnen wird häufig als „Dehnen an der Schmerzgrenze“ bezeichnet), die sich dann negativ auf die von *Ullrich/Gollhofer* (28) postulierte Reduktion des muskulären Widerstandes auswirken würden (vgl. 14, 18, 22). Submaximale Dehnintensitäten könnten diesen negativen Effekt verhindern. Bezogen auf Anpassungsvorgänge während einer Serie wiederholter submaximaler Dehnungen der ischiocruralen Muskulatur liegen aus einer Pilotstudie von *Helmrath* (9) Daten von 12 Dehnserien vor, die eine Verschiebung der subjektiv bestimmten Dehnschwelle innerhalb einer Serie über 20 Wiederholungen (mittlere Dehngeschwindigkeit 3,5°/s, mittlere Haltezeit in der Endposition 2,1 s) von durchschnittlich 9,5° zeigen. Bei wiederholten maximalen Dehnungen innerhalb einer Serie könnte in Folge auftretender Schmerzen erwartet werden, daß sich die maximale Bewegungsreichweite nicht verändert, möglicherweise sogar verringert (vgl. 19).

Faßt man diese Argumente zusammen, so scheint die maximale Intensität einer Dehnung Voraussetzung für die kurzfristige Veränderung der Bewegungsreichweite zu sein. Allerdings könnte gleichzeitig durch die bei maximaler Dehnung auftretenden Schmerzempfindungen ein negativer Effekt auftreten.

In einem ersten Schritt soll deshalb geprüft werden, wie sich unterschiedlich intensive mechanische Dehnbelastungen der ischiocruralen Muskulatur auf die maximale Bewegungsreichweite auswirken und wie sich innerhalb einer Serie mit wiederholten Dehnungen der subjektiv angesteuerte Gelenkwinkelbereich verändert. Die unabhängige Variable Dehnintensität ist zweifach gestuft (submaximales weiches Dehnen an der Dehnschwelle; maximales Dehnen); die unabhängige Variable Meßzeitpunkt ist ebenfalls 2-fach gestuft (unmittelbar vor und nach jeder Dehnserie). Die Intensitätsstufen wurden durch die Probanden nach einer an die operationalen Definitionen angelehnten Instruktion angesteuert (s.u.). Als abhängige Variable wurden die Veränderungen der D_{max} als Differenzwerte in Winkelgraden erfaßt.

Zur experimentellen Bearbeitung des aufgezeigten Problemfeldes wurden zunächst in einer Voruntersuchung drei Dehnintensitäten operational definiert und hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit sowie ihrer jeweiligen Relation geprüft (4):

- Die Dehnschwelle (DS), definiert als „deutlich spürbares Dehngefühl in der gedehnten Muskulatur“, klassifiziert als submaximales weiches Dehnen,
- die Dehngrenze (DG), definiert als „unangenehmes, aber noch aushaltbares Dehngefühl in der gedehnten Muskulatur“, klassifiziert als submaximales Dehnen und
- die maximale Dehnung (D_{max}), definiert als „größtmögliches Dehngefühl, welches sofort nach Erreichen wieder aufgelöst werden muß“, klassifiziert als maximales Dehnen.

Die Ergebnisse stellen sicher, daß die so operationalisierten Dehnintensitäten hinreichend reliabel angesteuert werden können. Die mittlere Abweichung bei der Ansteuerung der DS lag bei $1,16 \pm 0,58^\circ$ ($n=80$), bei der Ansteuerung der DG bei $1,12 \pm 0,69^\circ$ ($n=80$). Die Relation der Intensitäten ändert sich in Abhängigkeit von der absoluten Größe der Bewegungsreichweite. Bei maximalen Hüftbeugewinkeln $> 115^\circ$ liegt die DS im Mittel bei 78% der BR_{max} , die DG im Mittel bei 89% der D_{max} . Bei maximalen Hüftbeugewinkeln $> 135^\circ$ beträgt die Relation zur D_{max} 90% für die DS und 95% für die DG. Ohne diese Befunde, die in weiteren Untersuchungen hinsichtlich ihrer Generalisierbarkeit überprüft werden müssen, weiter zu diskutieren, kann von einer hinreichenden Differenzierbarkeit der drei Intensitätsstufen DS, DG und D_{max} ausgegangen werden. Eine Objektivierung der Intensitäten über Verlaufskarakteristika der Dehnungs-Spannungs-Kurve setzt die Reliabilität der subjektiven Parameter voraus und wird z.Zt. bearbeitet. Die in der vorliegenden Untersuchung treatmentunabhängig durchgeführten wiederholten Messungen der maximalen Bewegungsreichweite zeigen durchweg hohe Korrelationen ($r > 0,98$) und sind damit ebenfalls als Grundlage für die Belastungssteuerung innerhalb einer Untersuchung geeignet.

Untersuchungsmethode

In der vorliegenden Untersuchung wurden die in der Literatur häufig empfohlenen Intensitätsstufen „weiches“ Dehnen und Dehnen an der Schmerzgrenze in Form der definierten Intensitäten DS und D_{max} gegenübergestellt. An der Untersuchung nahmen 21 Versuchspersonen teil (9 Frauen und 12 Männer; Alter $24,8 \pm 3,4$ J.; Größe $172,9 \pm 8,5$ cm; Gewicht $66,6 \pm 11,0$ kg). Über die differenzierte Behandlung von rechter und linker Beinseite konnten insgesamt 42 Fälle ausgewertet werden. Die Zuweisung der Beinseite zur jeweiligen Dehnintensität erfolgte ebenso wie die Reihenfolge der Trainingsprozedur zufällig, um Reihenfolgeeffekte ausschließen zu können. Die Stichprobengröße konnte aufgrund bekannter Effektgrößen mit einer Effektstärke (ES) von 0,8 und einer Teststärke von 80% (27) festgelegt werden. Damit ist gewährleistet, daß nur relevante Effekte auf dem üblichen Signifikanzniveau von 5% abgesichert werden. Mit Hilfe eines Fragebogens wurden Motivation und subjektive Befindlichkeit als Kontrollvariablen erfaßt. Die Datenerhebungen fanden bei relativ konstanter Raumtemperatur ($22,0 \pm 1,1^\circ$) und Luftfeuchtigkeit ($54,7 \pm 8,0\%$) statt.

Die Untersuchung erfolgte auf einem von *Ott und Schönthaler* entwickelten Meßtisch. Unter Berücksichtigung von Drehachse, fixierter Wirbelsäule und fixiertem Gegenbein wird über eine elektronische Steuerung mit konstanter Geschwindigkeit von $1,5^\circ/s$ die Dehnposition für die ischiocrurale Muskulatur angefahren. Die Dehnendposition wurde nur kurzzeitig gehalten (< 2 s) und bei beiden Trainingsprozeduren unmittelbar nach dem Erreichen wieder aufgelöst. Die Winkelmessung erfolgt über einen digitalen Drehimpulsgeber (ausführliche Beschreibung in 23).

Versuchsablauf

Die Versuchspersonen wurden nach einem Eingewöhnungstest zur Erfassung der D_{max} zufällig den treatment-Gruppen „Weiches Dehnen“ und „Maximales Dehnen“ zugewiesen. Nach einer spezifischen Erwärmung der ischiocruralen Muskulatur durch eine fahrradergometrische Belastung von 1,5 Watt/kg Körpergewicht und

einer anschließenden standardisierten Kniegelenkbeugung wurde im Vortest die D_{max} erfaßt. Die treatment-Prozedur beinhaltete insgesamt 15 Wiederholungen ohne Pause aus der Neutral- 0° -Position des Hüftgelenks bis zur jeweiligen von der Versuchsperson bestimmten treatment-Grenze. Der Untersuchungstermin schloß mit der nochmaligen Erfassung der D_{max} ab.

Es wurde erwartet, daß

- die Dehnintensitäten unterschiedliche Wirkung auf die Veränderung der D_{max} haben (Hypothese 1);
- daß es im Verlauf von 15 Wiederholungen zu unterschiedlichen Veränderungen der subjektiv angesteuerten Gelenkwinkelbereiche in Abhängigkeit von der Dehnintensität kommt. Die „DS“ sollte sich deutlicher verschieben als die „ D_{max} “ (Hypothese 2).

Ergebnisse

Zur inferenzstatistischen Bearbeitung der Daten wurden entsprechend den gegebenen Voraussetzungen und des Designs 2-faktorielle Varianzanalysen mit Meßwiederholung auf beiden Faktoren durchgeführt (3).

Zur Hypothese 1

Beide gewählten Intensitätsstufen führen kurzfristig zu einer signifikanten Verbesserung der maximalen Bewegungsreichweite ($F(1/20)=87,23$; $p<0,001$). Die Differenz der D_{max} zwischen Vortest und Nachtest beträgt im Mittel $7,24 \pm 4,19^\circ$ bei maximaler Intensität und $3,29 \pm 4,53^\circ$ bei submaximaler Intensität („weiches“ Dehnen). Die Veränderung der Bewegungsreichweite mit maximaler Intensität unterscheidet sich allerdings statistisch bedeutsam von der Veränderung nach 15 Wiederholungen mit submaximaler Intensität ($F(1/20)=6,62$; $p<0,05$; vgl. Abb. 1). Die erhobenen Kontrollvariablen Motivation und Tagesform zeigen keine Interaktion mit den gefundenen Trainingseffekten.

Zur Hypothese 2

Im Verlauf der 15 Wiederholungen kommt es entgegen der Erwartung zu keiner Verschiebung der Dehnschwelle (DS) in größere Gelenkwinkelbereiche.

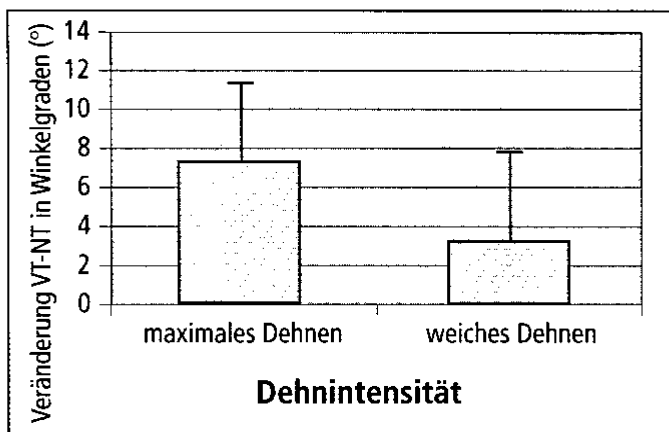


Abbildung 1: Veränderung der maximalen Bewegungsreichweite nach maximaler und submaximaler Dehnung

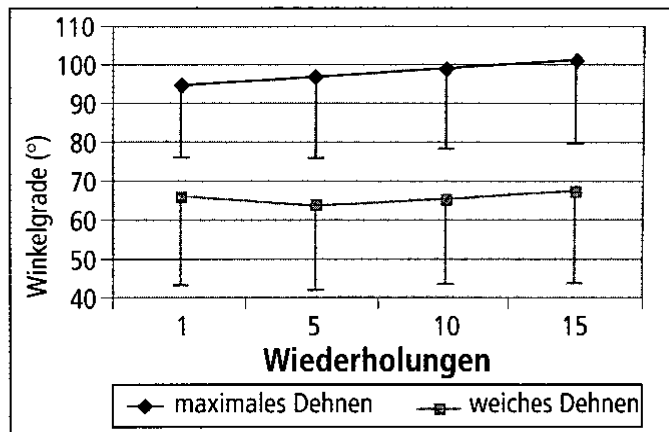


Abbildung 2: Veränderung der maximalen Bewegungsreichweite und der Dehnschwelle im Verlauf der 15 Wiederholungen

Die mittlere Differenz zwischen Ausgangs- und Endwert der Serie beträgt $0,43^\circ$ (vgl. Tab. 2 und Abb. 2). Die maximale Bewegungsreichweite verschiebt sich dagegen über die 15 Wiederholungen der Trainingsserie bedeutsam (vgl. Tab. 2 und Abb. 2) und erreicht mit $6,24^\circ$ als Differenz zwischen erster und fünfzehnter Wiederholung nahezu den gleichen Differenzwert wie zwischen Vor- und Nachtest. Die Varianzanalyse weist eine signifikante Interaktion aus mit $F(3/120)=8,9; p<0,001$.

bare Verschiebung der maximalen Bewegungsreichweite in größere Gelenkwinkelbereiche. Die dadurch gegebene progressive Belastung scheint ein Faktor zu sein, der zu einer deutlicheren Erhöhung der Dehnungs-Spannungs-Toleranz führt. Befunde von *Magnusson et al.* (17), wonach maximale Dehnungen gegenüber submaximalen, 90 s gehaltenen Dehnungen signifikant bessere Trainingseffekte bewirken, werden damit zumindest teilweise bestätigt. Zu den Ursachen der Er-

mit der Dehnung der ischiocruralen Muskulatur einhergehende Dehnung des N. ischiadicus (6) die gezeigten Anpassungserscheinungen. Die geringeren Effekte der submaximalen Dehnintensität könnten darauf zurückzuführen sein, daß der Anteil der Beanspruchung des serienelastischen Bindegewebes für die Auslösung einer Anpassungsreaktion insgesamt zu gering ist. In einer Folgeuntersuchung zur Replikation der Wirkung der maximalen Dehnintensität soll deshalb auch der Einfluß der submaximalen Intensität „Dehngrenze“ (vgl. 4) betrachtet werden.

| Dehnintensität | 1. Wdh. | 5. Wdh. | 10. Wdh. | 15. Wdh. |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Weiches Dehnen | 65,33° (21,75°) | 63,76° (20,77°) | 64,62° (21,06°) | 65,76° (21,84°) |
| Maximales Dehnen | 95,04° (19,95°) | 96,81° (20,67°) | 99,62° (20,69°) | 101,29° (21,58°) |

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiv angesteuerten Gelenkwinkelbereiche in der Dehnserie (n=21)

Die vorliegenden Ergebnisse müssen unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte hinsichtlich ihres Gültigkeitsbereichs jedoch auch kritisch betrachtet werden:

Diskussion

Die wiederholte Dehnung der ischiocruralen Muskulatur führt kurzfristig auf beiden gewählten Intensitätsstufen zu statistisch bedeutsamen Veränderungen der maximalen Bewegungsreichweite. Die gezeigten signifikanten Interaktionen indizieren einen großen Effekt ($f > 0,4$; vgl. 3) und können deshalb im Hinblick auf kurzfristige Veränderungen der maximalen Bewegungsreichweite durchaus als praktisch bedeutsam betrachtet werden. Die größeren Verbesserungen nach wiederholten maximalen Dehnungen könnten darauf zurückzuführen sein, daß hierbei alle Teilstrukturen des tendomuskulären Systems optimal beansprucht werden und mit einer deutlichen Anpassung reagieren (vgl. 23, S. 227/228). Dies wird unterstützt durch die über die Wiederholungen sicht-

höhung dieser Toleranz können allerdings mit den vorliegenden Ergebnissen nur Vermutungen angestellt werden. Entgegen der ursprünglichen Annahme (14, 18, 22) scheinen sich Schmerzempfindungen nicht negativ auf die maximale Bewegungsreichweite auszuwirken. Dies zeigen sowohl der Vortest-Nachtest-Vergleich als auch die Betrachtung des Verlaufs über die 15 Wiederholungen der Trainingsprozedur. Inwieweit neben den reflektorischen exzitatorischen Prozessen auch Hemmungsmechanismen wirken und die Muskelspannung reduzieren, wäre zu überprüfen. Es könnte desweiteren vermutet werden, daß die verwendeten 15 Wiederholungen die sehr kurze Haltezeit in der maximalen Dehnendposition kompensieren und sich dadurch ein dem „creeping“-Effekt (28) ähnliches Phänomen zeigt. Möglicherweise beeinflusst ebenfalls die

- (a) Die Untersuchung wurde mit gesunden, jungen Erwachsenen durchgeführt. Es liegt deshalb nahe, den Einfluß der in der vorliegenden Untersuchung gewählten Intensitätsstufen in Abhängigkeit von der Anwendungssituation und den Zielgruppen (Rehabilitation, Prävention, Freizeitsport, Leistungssport) zu betrachten. Insbesondere hinsichtlich des Einflusses von Schmerzempfindungen sind beispielsweise bei einem Vergleich von Probanden mit unterschiedlicher Schmerzerfahrung (19) durchaus gegenläufige Effekte gegenüber den hier gefundenen denkbar. Eine Differenzierung der untersuchten Stichprobe nach solchen Kriterien ließ sich auf Grundlage der vorliegenden Befragungsdaten nicht vornehmen, sollte aber in weiteren Untersuchungen berücksichtigt werden.
- (b) Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die abhängige Variable „ma-

ximale Bewegungsreichweite“. Es wird damit impliziert, daß dies auch Ziel des durchgeführten Trainings war. Es lassen sich deshalb keine Rückschlüsse auf den Einfluß der beiden Trainingsprozeduren hinsichtlich der sportlichen Leistungsfähigkeit (16) ziehen.

Unabhängig von dieser eingeschränkten Generalisierbarkeit verdeutlicht die gezeigte differentielle Wirkung unterschiedlicher Dehnintensitäten, daß bei der Untersuchung von Dehneffekten den verwendeten Belastungsgrößen mehr Beachtung gegeben werden muß, als dies bisher geschehen ist. Für die praktische Anwendung liefern die vorliegenden Befunde weitere Hinweise auf einen differenziert-kritischen Umgang mit den in der Stretching-Fachliteratur häufig in Rezeptform gegebenen Empfehlungen.

Forschungsmethodisch sollten in einem weitergehenden grundlegenden Zugriff über die Erfassung von Beanspruchungsparametern (Kraft-Zeit-Verlauf, Elektromyogramm, H-Reflex-Registrierung) Wirkungen dieser Intensitäten auf die oben beschriebenen Teilstrukturen und Rezeptorsysteme differenziert werden (vgl. dazu 23). In Längsschnittuntersuchungen wäre darüberhinaus die langfristige Wirkung mechanischer Dehnbelastungen zu überprüfen. Dies setzt allerdings detailliertere Kenntnisse über die Bedeutung unterschiedlicher Ausprägungen der übrigen die Dehnbelastung beschreibenden Parameter Dauer, Dichte und Häufigkeit voraus.

Literatur

- (1) *Anderson, B.*: Stretching. München 1990
- (2) *Bittmann, F. (Hg.)*: Körperschule. Das Programm für die Gesundheit. Rohwolt, Reinbek 1995
- (3) *Bortz, J., N. Döring*: Forschungsmethoden und Evaluation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg u.a. 1995
- (4) *Ehrmantraut, J., R. Neuschwander*: Beweglichkeitstraining - eine Untersuchung zur Quantifizierung unterschiedlicher Dehnintensitäten am Beispiel der Konstrukte 'maximale Bewegungsreichweite und Dehnschwelle' und 'maximale Bewegungsreichweite und Dehnngrenze'. Diplomarbeit, Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1997
- (5) *Einsingbach, T., T. Wessinghage*: Funktionelle Ausgleichsgymnastik. Pflaum-Verlag, München 1993
- (6) *Freiwald, J., M. Engelhardt et al.*: Dehnung - Ist ein Paradigmenwechsel notwendig? Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport. 3. Gemeinsame Tagung der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft. Institut für Sportwissenschaft, TU Darmstadt 1998, S. 41 (Abstract-Band)
- (7) *Gollhofer, A., A. Schöpp et al.*: Changes in Reflex Excitability following isometric Contraction in Humans. Eur J Appl Physiol 77(1998), 89-97
- (8) *Grosser, M., F. Herbert*: Konditionsgymnastik. Pohl-Verlag, Celle 1992
- (9) *Helmrath, G.*: Evaluation des Muskelfunktions-tests nach JANDA zur Erfassung der Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur. Diplomarbeit, Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1995
- (10) *Holt, L.E., T.M. Travis, T. Okita*: Comparative Study of three Stretching Techniques. Perceptual and Motor Skills 31 (1970), 611-616
- (11) *Huying, P. A.*: Mechanical Muscle Models. Komi, P. V. (Ed.): Strength and Power in Sports. Blackwell Scientific Publications, London 1992, 130-150
- (12) *Hutton, R.S.*: Neuromuscular Basis of Stretching Exercises. Komi, P.V. (Ed.): Strength and Power in Sports. Blackwell Scientific Publications, London 1992, 29-38
- (13) *Kempff, H.-D.*: Die Rückenschule. Reinbek 1990
- (14) *Klingberg, F.*: Nozizeption und Schmerz - physiologische und pathophysiologische Aspekte. Conradi, E. (Hg.): Schmerz und Physiotherapie. Verlag Gesundheit, Berlin 1990, 30-57
- (15) *Koch, M.*: Zum Einfluß von Dehngeschwindigkeit, Haltedauer und Wiederholungszahl auf die Veränderung der Dehnschwelle - eine Reanalyse. Diplomarbeit, Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1997
- (16) *Künnemeyer, J., D. Schmidtbleicher*: Die rhythmische neuromuskuläre Stimulation (RNS). Leistungssport 27(1997) 2, 39-42
- (17) *Magnusson, S.P.; E.B. Simonson et al.*: A Mechanism for altered Flexibility in Human Skeletal Muscle. J Physiol 497 (1996) 1, 291-298
- (18) *Mense, S.*: Verhalten von Nociceptoren im normalen und entzündeten Muskel. Spintge, R., Droh, R. (Hrsg.): Schmerz und Sport. Berlin, Heidelberg 1988, 200-206
- (19) *Ohlendorf, K.*: Die Wirkung einer passiv-statischen Dehnung auf die maximale Bewegungsreichweite zu unterschiedlichen Meßzeitpunkten. Diplomarbeit, Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 1996
- (20) *Sady, S. P., M. Wortman et al.*: Flexibility Training: Ballistic, Static or Proprioceptive Neuromuscular Facilitation? Arch Phys Med and Rehab 63 (1982), 261-263
- (21) *Scholz, O.B.*: Schmerzmessung. Basler, H.-D., Franz, C. et al.: Psychologische Schmerztherapie. Berlin, Heidelberg u.a. 1990, 207-227
- (22) *Schomburg, E.D.*: Zur Funktion nozizeptiver Afferenzen in der spinalen Motorik. Spintge, R., Droh, R. (Hrsg.): Schmerz und Sport. Berlin, Heidelberg 1988, 206-219
- (23) *Schönthaler, S. R., K. Ohlendorf et al.*: Biomechanische und neurophysiologische Parameter zur Erfassung der Dehnbarkeit von Muskel-Sehnen-Einheiten. Dtsch Z Sportmed 49 (1998) 8, 223-230.
- (24) *Schönthaler, S., H. Ott*: Auswirkungen verschiedener Dehnmethoden auf die maximale Bewegungsreichweite und die Dehnungsspannung. Diplomarbeit, Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1994
- (25) *Spring, H., U. Illi, H.-R. Kunz et al.*: Dehn- und Kräftigungsgymnastik. Stuttgart, New York 1986
- (26) *Sternad, D.*: Richtig Stretching. München 1987
- (27) *Thomas, J. R., M. R. Lochbaum et al.*: Planning Significant and Meaningful Research in Exercise Science: Estimating Sample Size. Research Quarterly for Exercise and Sport 68 (1997) 1, 33-43.
- (28) *Ulrich, K., A. Gollhofer*: Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden. Dtsch Z Sportmed 45 (1994) 9, 336-344
- (29) *Wiemann, K.*: Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. Sportwiss 21 (1991) 3, 295-306
- (30) *Wiemann, K.*: Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. Hoster, M., Nepper, H.-U. (Hg.): Dehnen und Mobilisieren. Waldenberger Trainingstherapie 1993. Waldenburg 1994
- (31) *Wydra, G.*: Stretching - ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. Sportwiss 27 (1997) 3, 409-427
- (32) *Wydra, G., K. Bös, G. Karisch*: Zur Effektivität verschiedener Dehnmethoden. Dtsch Z Sportmed 42 (1991) 9, 386-400

Für die Unterstützung bei der Datenaufnahme danke ich Daniel Lütkefend, Henning Ott und Stefan Schönthaler.

Anschrift für die Autoren:

Dr. Franz Marschall
Sportwissenschaftliches Institut der
Universität des Saarlandes
Arbeitsbereich Bewegungs- und
Trainingswissenschaft
Postfach 151150
66041 Saarbrücken

G. Wydra, S. Glück, K. Roemer

Kurzfristige Effekte verschiedener singulärer Muskeldehnungen

Short-term effects of singular muscle-stretching-procedures

Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Arbeitsbereich Gesundheits- und Sportpädagogik

Zusammenfassung

Die Effektivität verschiedener singulärer Muskeldehnungen wurde in einem Experiment untersucht. Verglichen wurden die statische, die postisometrische und die dynamische Dehnung. Beleuchtet wurden die kurzfristige Veränderung der Dehnfähigkeit, der Dehnungsspannung und der maximal tolerierten Dehnungsspannung der ischiocruralen Muskelgruppe. Hierzu wurde eine spezielle Apparatur entwickelt. Alle drei Dehntechniken führten zu einer hochsignifikanten kurzfristigen Verbesserung der Dehnfähigkeit, wobei die beobachteten Interaktionen zwischen den Gruppen und der praktizierten Dehntechnik von keiner praktischen Relevanz waren. Ebenso führten alle drei Dehntechniken zu einer hochsignifikanten Reduzierung der Dehnungsspannung. Die postisometrische und die dynamische Dehnung erwiesen sich als hochsignifikant effektiver als die statische Dehnung. Die maximal tolerierte Dehnungsspannung erhöhte sich durch alle drei Techniken, wobei die beobachteten Interaktionen zwischen den Gruppen und der praktizierten Dehntechnik von keiner praktischen Relevanz waren. Die möglichen Ursachen für die beobachteten Unterschiede werden ausführlich diskutiert.

Schlüsselwörter: Beweglichkeit, Muskelspannung, Dehntechniken

Summary

The effectiveness of different singular stretching-procedures was observed in an experiment. Static, dynamic and contract-release stretching techniques were compared. Short-term improvement of extensibility, variability of muscle-tension and maximal tolerated muscle-tension of the hamstrings were examined. A special apparatus was constructed. There was a significant short-term improvement of extensibility registered in all groups. The interactions between the groups and the techniques were of no practical relevance. Just so the three techniques reduced high-significantly the muscle-tension. The contract-release- and the dynamic technique showed high-significant greater effectiveness than the static procedure. The maximal tolerated muscle-tension increased in all three groups, while the interactions between the groups and the techniques were of no practical relevance. The possible causes of the observed differences are discussed in detail.

Keywords: Extensibility, muscle-tension, stretching-techniques

Einleitung und Problemstellung

In der Stretchingforschung können zwei verschiedene Forschungsstrategien unterschieden werden. Zum einen wird versucht, orientiert an den Ergebnissen der

Muskelpathologie, die Grundlagenforschung voranzutreiben (18). Hier ist festzuhalten, dass nach wie vor erhebliche Wissensdefizite hinsichtlich der physiologischen Mechanismen bestehen. Des Weiteren weisen die meisten Untersuchungen zwar eine hohe interne aber in der Regel geringe externe Validität auf: Die Art und Weise der Muskeldehnung entspricht selten dem Vorgehen in der Praxis. Zum anderen nehmen traditioneller Weise technologisch orientierte Untersuchungen zur Effektivität der verschiedenen Dehntechniken in der Stretchingforschung einen hohen Stellenwert ein. Bei diesen Untersuchungen wurde oftmals nur eine einzige Dehntechnik in den Blick genommen. Insbesondere Untersuchungen, bei denen auch das dynamische Dehnen beleuchtet wurde, fehlen (4, 6, 11, 16, 17, 26). Hinzu kommt, dass die Untersuchungen nicht miteinander verglichen werden können (28). Auch heute ist es nicht möglich, eine Dehntechnik als Technik der Wahl zu formulieren. Auch ist es nach wie vor noch nicht möglich, gesicherte Angaben über Umfang, Dauer und Intensität eines sinnvollen Dehnprogramms zu machen (22). Auch die Terminologie ist vollkommen unterschiedlich und zum Teil eher verwirrend als Klarheit stiftend. Schon vor 25 Jahren übte Harre (3) Kritik, als er schrieb, dass die Begriffe aktive und passive Beweglichkeit noch Verwendung fänden, obwohl sie den Sachverhalt nicht exakt widerspiegeln, denn selbst das passive Dehnen etwa durch Partnerhilfe enthalte eine aktive Komponente, nämlich die Entspannungsfähigkeit der Antagonisten. Auf der Basis handlungstheoretischer Überlegungen (13) und der Übertragung dieser (25) wird folgende Strukturierung vorgeschlagen (siehe Abbildung 1).

Prinzipiell ist zu unterscheiden, ob sich ein Sportler selbst dehnt oder ob er gedehnt wird. Wir schlagen hierfür die Begriffe Eigen- und Fremddehnung vor. Bei einer Eigendehnung hat der Sportler über die kinästhetischen Rückmeldungen aus der gedehnten und der zur Dehnung eingesetzten Muskulatur die direkte und uneingeschränkte Möglichkeit der Handlungsregulation. Dies ist der Normalfall der Muskeldehnung im Sport. Eine Vorgehensweise, die dies nicht berücksichtigt, und lediglich die Muskulatur und das zu-

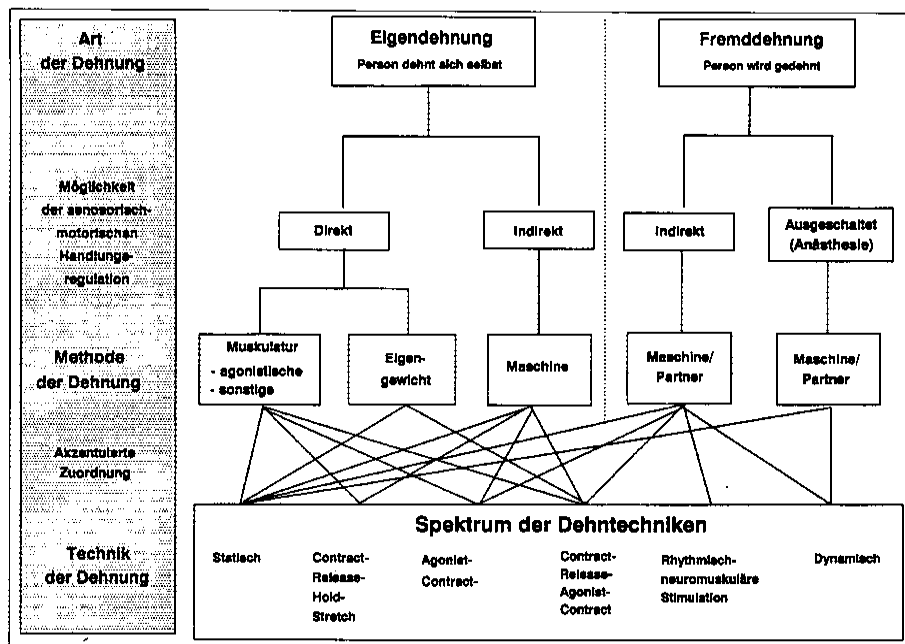


Abb. 1: Differenzierung der verschiedenen Formen der Muskeldehnung

gehörige Rückenmarkssegment in ihre Betrachtung miteinbezieht, greift zu kurz, um die bei einer Dehnung ablaufenden Prozesse zu erfassen. Ob eine weitere Differenzierung in eine Dehnung durch antagonistische oder sonstige Muskeln in der Praxis der Muskeldehnung im Sport empirisch sinnvoll ist, hat die Forschung noch zu belegen (8). Auch hier ist vor einer zu engen Betrachtungsweise zu warnen, bei der als Antagonist nur der Muskel bezeichnet wird, der aufgrund seiner anatomischen Lage in einem eingelenkigen offenen kinematischen System als solcher erscheint (20). Bei einer Fremddehnung durch einen Partner oder eine Maschine ist lediglich eine indirekte Möglichkeit der Korrektur von Umfang, Intensität und Dauer einer Dehnung gegeben. Bei einer Dehnung unter Narkose ist eine Möglichkeit der Regulation nicht gegeben.

Die verschiedenen Dehntechniken lassen sich den verschiedenen Methoden zuordnen. Bezüglich des Zeitraums, über den die Muskeldehnungen durchgeführt werden, wird unterschieden zwischen singulären, kurzzeitigen und langzeitigen Dehnungsmaßnahmen (22).

- Unter singulären Dehnungen werden einzelne bzw. nur wenige Wiederholungen umfassende Maßnahmen verstanden.
- Unter kurzzeitigen Dehnungen werden 15 bis 30-minütige Dehnungsprogramme verstanden.

- Unter langzeitigen Dehnungen werden über Tage oder Wochen dauernde Programme verstanden.

Davon zu unterscheiden sind die Zeiträume, über die sich die Effekte der verschiedenen Maßnahmen beobachten lassen. Unter **kurzfristigen Effekten** sind die zu verstehen, die unmittelbar nach einer Behandlung zu beobachten sind.

Mittelfristige Effekte sind die, die über Stunden bis Tage zu beobachten sind, und die **langfristigen** die, die über Wochen bis Monate nach einem Treatment zu beobachten sind (26). Diese Differenzierung erscheint notwendig, um die zukünftig noch durchzuführenden Untersuchungen entsprechend einordnen zu können.

Methodik

Zielstellung der Untersuchung und Arbeitshypothesen

In der vorliegenden Studie sollte untersucht werden, ob bei singulären Dehnungen (22) zwischen den verschiedenen Dehntechniken Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der Bewegungsreichweite, der Dehnungsspannung und der maximal tolerierten Dehnungsspannung bestehen. Es wurde von

folgenden Hypothesen ausgegangen:

- Singuläre statische, postisometrische und dynamische Dehntechniken führen zu einer kurzfristigen Vergrößerung der Bewegungsreichweite und zwischen den Dehntechniken bestehen keine Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der Bewegungsreichweite.
- Singuläre statische, postisometrische und dynamische Dehntechniken führen zu einer kurzfristigen Reduktion der Dehnungsspannung und zwischen den Dehntechniken bestehen keine Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der Dehnungsspannung
- Singuläre statische, postisometrische und dynamische Dehntechniken führen zu keiner kurzfristigen Veränderung der maximal tolerierten Dehnungsspannung und zwischen den Dehntechniken bestehen keine Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der maximal tolerierten Dehnungsspannung.

Untersuchungsmethodik

Personenstichprobe

An der Untersuchung nahmen acht Sportstudentinnen und 15 Sportstudenten der

| | Frauen (N=8) | | Männer (N=15) | |
|---------------|--------------|-----|---------------|-----|
| | \bar{x} | s | \bar{x} | s |
| Alter (Jahre) | 25,7 | 1,6 | 23,0 | 3,0 |
| Größe (cm) | 166,5 | 7,2 | 177,9 | 6,6 |
| Gewicht (kg) | 60,4 | 7,9 | 75,6 | 8,2 |

Tab. 1: Alter, Größe und Gewicht der Teilnehmer an der Untersuchung

Universität des Saarlandes teil. Die Angaben zu Alter, Größe und Gewicht ergeben aus Tabelle 1.

Variablenstichprobe

Erfasst wurde die maximale Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskelgruppe des rechten Beines, wobei die Bewegungsreichweite und die hierbei auftretende Muskelspannung gemessen wurden. Auf der Grundlage der obigen Überlegungen wurde eine Apparatur entwickelt, die es erlaubt, sowohl Eigen- als auch Fremddehnungen durchzuführen (siehe Abb. 1). Die Vpn. liegt fixiert auf einem auf Rollen gelagerten Schlitten (siehe Abb. 2). Die Dehnung ist entweder möglich durch einen Zug des Sportlers an einem am Fußgelenk befestigten Seil (Eigendehnung) oder

durch eine Verschiebung des Messschlittens durch einen Testhelfer (Fremddehnung). Der Messschlitten kann stufenlos mechanisch arretiert werden. Ebenso kann das Zugseil mechanisch fixiert werden. Bei einer Testung wird die Vpn. zunächst über eine Verschiebung des Schlittens in die maximal tolerierte Hüftflexion gebracht. Die maximal mögliche Position wird dem Testhelfer von der Vpn. mündlich mitgeteilt.

Die Flexion im Hüftgelenk wurde mit einem speziellen Goniometer mit einer Messgenauigkeit von 1° , der am Schienbein angelegt wurde, gemessen. Die biologische Dehnungsspannung wurde über die am Seilzug wirkende physikali-

endigung der verschiedenen Treatments wurde in der gleichen Position wie beim Testzeitpunkt I die Dehnungsspannung gemessen.

- Testzeitpunkt III: Zur Ermittlung der nach dem Treatment maximal möglichen Bewegungsreichweite wurden die Pbn. von dem Testhelfer unmittelbar nach dem Treatment in die maximale Dehnposition gerollt.

Die Messapparatur wurde hinsichtlich der teststatistischen Gütekriterien evaluiert. Es ergaben sich gute bis ausgezeichnete Reliabilitätswerte bzw. Validitätskoeffizienten (27). Die Test-Retest-Reliabilität für Fremddehnungen wurde in mehreren Untersuchungen mit Zeitintervallen von ein-

bis zwei Wochen ermittelt. Sie liegt für die Beingewichtskraft zwischen 0,82 und 0,87 (sehr gut), für die Bewegungsreichweite zwischen 0,86 und 0,91 (sehr gut bis ausgezeichnet) und für die maximale Dehnungsspannung zwischen 0,80 und 0,90 (sehr gut bis ausgezeichnet). Die Längenkonzanz des benutzten Kunststoffseils ist für die hier auftretenden Kräfte gegeben.

Die Werte der Messungen vor und nach dem Treatment korrelieren mit $r = -0,99$ fast ideal. Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede der eingenommenen Hüftflexion vor und unmittelbar nach den Treatments nachweisen. Der Vergleich einer Eigendehnung mit fixiertem Knie und einer ohne Fixierung des Knies ergab einen Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten r von 0,92 bei der Bewegungsreichweite und 0,85 bei der maximalen Dehnungsspannung. Zumindest für nicht-grundlagenorientierte Untersuchungen im Feld erscheint eine Fixierung des Knies nicht notwendig.

Die inhaltlich-logische Validität ergibt sich aus anatomischen Überlegungen. Zur Bestimmung der Kriteriumsvalidität wurde eine Vergleichsuntersuchung mit der Apparatur GUCI durchgeführt (18). Sowohl für die Bestimmung der maximalen Bewegungsreichweite als auch für die maximale Dehnungsspannung bei einer Fremddehnung ergab sich lediglich ein Korrelationskoeffizient von 0,70. Dies ist auf die vollkommen unterschiedliche Geschwindigkeit

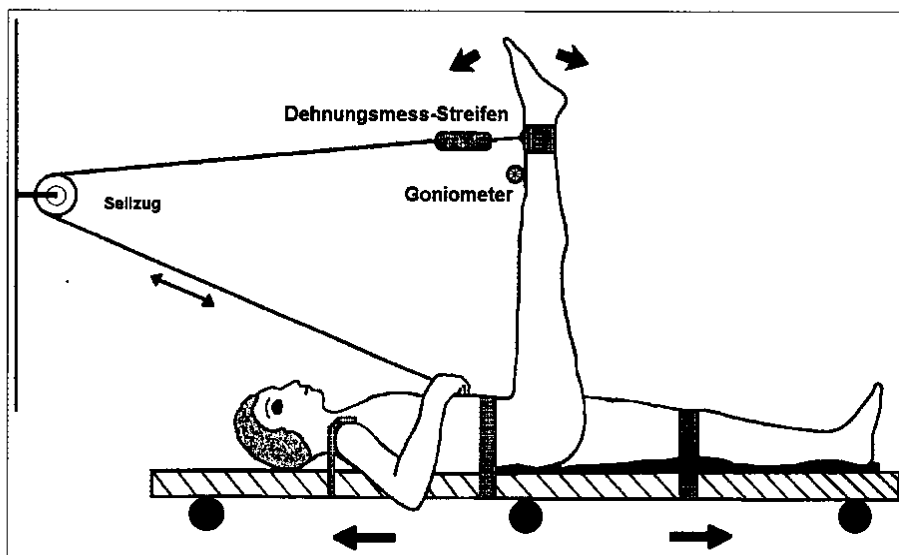


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau des Dehnungsmessschlittens

sche Zugkraft ermittelt. Die Zugkraft wurde mit einem handelsüblichen Dehnungsmessstreifen der Firma Hanno Ernst (Wehrheim) gemessen. Das Gewicht des Beines wurde in einem Beinwinkel von 45° bestimmt. Über trigonometrische Funktionen wurde die aus der Dehnung der ischiocruralen Muskelgruppe resultierende um die Beingewichtskraft bereinigte Zugkraft berechnet. Dehnungsspannung und Bewegungsamplitude wurden zu drei Messzeitpunkten gemessen.

Der prinzipielle Ablauf einer Untersuchung ergibt aus Abbildung 3.

- Testzeitpunkt I: Unmittelbar nachdem die Vpn. in die maximale Dehnposition gerollt wurden, wurde die Bewegungsamplitude und die Dehnungsspannung gemessen.
- Testzeitpunkt II: Unmittelbar nach Be-

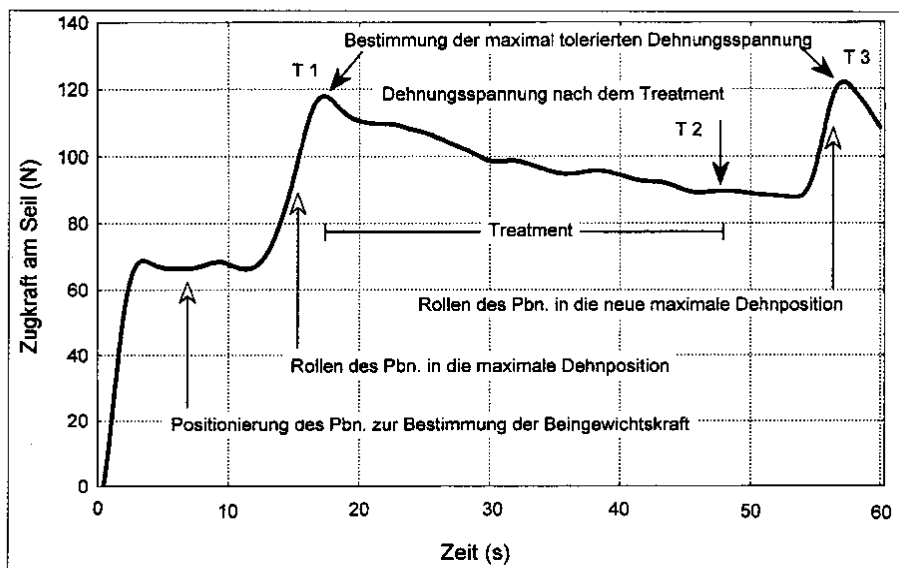


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau einer Messung zur Bestimmung der Dehnungsspannung der ischiocruralen Muskelgruppe. Darstellung einer mittels exponentiell gewichteter Anpassung geglätteten Kurve der Zugkraft am Seil bei einer statistischen Darstellung.

bei der Dehnung als auch auf die Unterschiede bei der Fixierung der Pbn zurückzuführen. Die experimentelle Validität konnte ebenfalls bestätigt werden. Das Messarrangement erwies sich als empfindlich genug, um die durch ein zehninütiges Dehnungsprogramm induzierten Verbesserungen der Dehnfähigkeit zu erfassen.

Treatmentstichprobe

Es wurden drei verschiedene Dehnstechniken simuliert. Bei allen drei Dehnstechniken wurden die Pbn. zunächst mit dem Messschlitten in die maximal tolerierte Dehnposition gebracht. Bei der statischen Dehnung verblieben die Pbn. ca. 30 Sekunden in dieser Position (siehe Abb. 3).

stände der Zustand der Muskulatur verändert sei (Muskelkater).

Statistik

Aufgrund der geringen Größe der geschlechtsspezifischen Teilstichproben, als auch aufgrund der vergleichbaren Entwicklungsdynamik der gemessenen Parameter bei Frauen und Männern erfolgt lediglich eine Darstellung der Ergebnisse der Gesamtstichprobe. Zur Prüfung der Hypothesen wurden neben der allgemeinen deskriptiven Statistik Varianzanalysen für Designs mit Meßwiederholung mit dem Programmpaket Statistica(r) Version 5.1 (D) der Firma StatSoft, Tulsa Oklahoma durchgeführt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind im Überblick getrennt für die verschiedenen Dehnstechniken in Tabelle 2 dargestellt. Die Ergebnisse der Varianzanalysen mit Meßwiederholung sind im Überblick in Tabelle 3 dargestellt.

Die maximal mögliche Hüftflexion vergrößerte sich zwischen den Testzeitpunkten T1 und T3 durch die verschiedenen Treatments zwischen 7° und 10°. Varianzanalytisch bestehen zwischen den Treatmentgruppen keine Unterschiede, es kommt zu einer hochsignifikanten Verbesserung der Hüftflexion, und es bestehen hochsignifikante Interaktionen zwischen den beiden

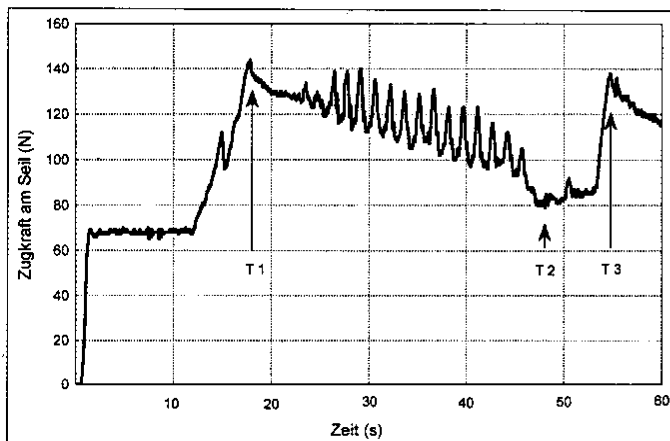


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Rohwertkurve der Zugkraft am Seil bei einer dynamischen Dehnung. Eingezeichnet sind auch die Messzeitpunkte T1 bis T3.

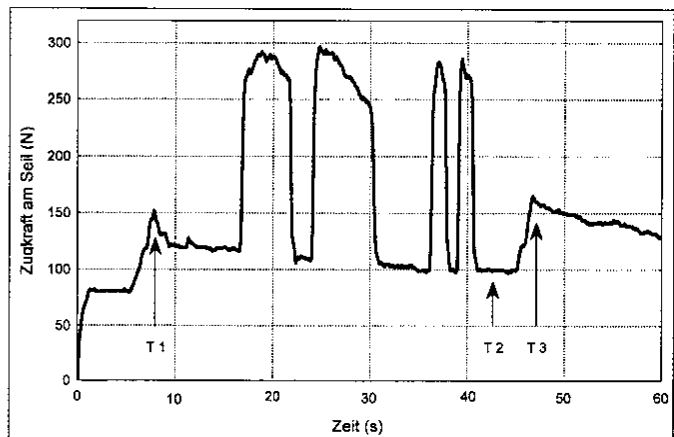


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Rohwertkurve der Zugkraft am Seil bei einer postisometrischen Dehnung. Eingezeichnet sind auch die Messzeitpunkte T1 bis T3.

Bei der dynamischen Dehnung zogen die Pbn. mehrmals nach einem von einem Metronom vorgegebenen Rhythmus am Zugseil (siehe Abb. 4). Es handelte sich um singuläre Dehnungen (22). Bei der postisometrischen Dehnung führten die Pbn. in dem 30-Sekundenintervall vier maximale Kontraktionen der ischiocruralen Muskelgruppe von jeweils ca. fünf Sekunden Dauer durch, indem die Vpn. versuchen sollten, mit dem Fuß des gestreckten Beins das Seil zu dehnen (siehe Abb. 5).

Ablauf der Untersuchung

Die Pbn wurden im Abstand von jeweils einer Woche untersucht. In der ersten Woche erfolgte die statische, in der zweiten Woche die postisometrische und in der dritten Woche die dynamische Dehnung. Es wurde darauf geachtet, dass die Untersuchung jeweils zur gleichen Tageszeit durchgeführt wurde. Des Weiteren wurde danach gefragt, ob durch besondere Um-

| | Statische Dehnung | | | Postisometrische Dehnung | | | Dynamische Dehnung | | |
|-----------------------------|-------------------|------|---------------|--------------------------|------|---------------|--------------------|------|---------------|
| | \bar{x} | s | Con 95 % | \bar{x} | s | Con 95 % | \bar{x} | s | Con 95 % |
| Maximale Hüftflexion T1 (°) | 79,4 | 11,2 | 74,5 – 84,2 | 79,3 | 12,1 | 74,4 – 84,9 | 78,7 | 13,7 | 72,8 – 84,6 |
| Maximale Hüftflexion T3 (°) | 86,7 | 12,1 | 81,4 – 92,1 | 89,1 | 13,8 | 83,1 – 95,1 | 89,0 | 13,7 | 83,1 – 94,9 |
| Zugkraft T1 (N) | 101,7 | 39,9 | 84,4 – 118,9 | 99,3 | 37,0 | 83,3 – 115,3 | 97,6 | 31,8 | 84,1 – 111,2 |
| Zugkraft T2 (N) | 82,3 | 32,5 | 68,3 – 96,4 | 66,9 | 31,8 | 53,1 – 80,7 | 61,5 | 22,8 | 51,6 – 71,4 |
| Zugkraft T3 (N) | 119,2 | 38,7 | 102,5 – 135,9 | 128,6 | 42,5 | 110,2 – 147,0 | 120,9 | 44,9 | 101,5 – 140,3 |

Tab. 2: Mittelwerte, Standardabweichung und 95%-Konfidenzintervall der korrigierten stretchingrelevanten Parameter (n = 23). T1 = Messzeitpunkt 1, T2 = Messzeitpunkt 2, T3 = Messzeitpunkt 3.

| | Treatmentgruppe | | Testzeitpunkt | | Interaktion | |
|--|-----------------|------|---------------|-------|-------------|-------|
| | DF 2/44 | | DF 1/22 | | DF 2/44 | |
| | F | p | F | p | F | p |
| Veränderung der maximalen Hüftflexion (T1-T3) | 0,6 | 0,53 | 514,3 | 0,000 | 5,3 | 0,008 |
| Veränderung der Dehnungsspannung (T1-T2) | 3,0 | 0,06 | 115,6 | 0,000 | 10,2 | 0,000 |
| Veränderung der maximal tolerierten Dehnungsspannung (T1-T3) | 0,6 | 0,57 | 55,9 | 0,000 | 2,1 | 0,133 |

Tab. 3: Veränderung stretchingrelevanter Parameter in Abhängigkeit von Treatmentgruppe und Testzeitpunkt. Ergebnisse der Varianzanalysen mit Meßwiederholung. T1 = Messzeitpunkt 1, T2 = Messzeitpunkt 2, T3 = Messzeitpunkt 3.

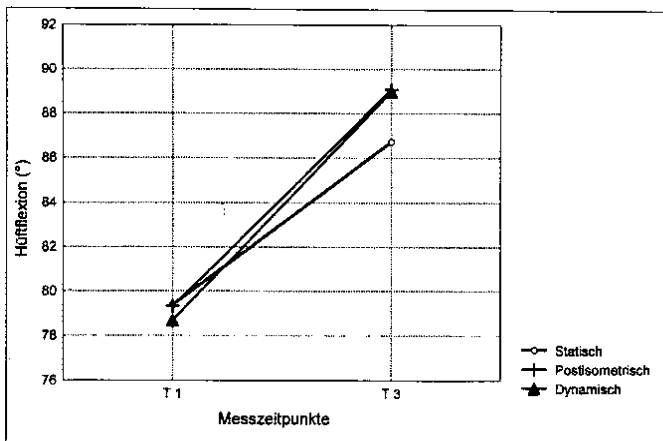


Abb. 6: Kurzfristige Veränderung der maximalen Hüftflexion in Abhängigkeit von der durchgeführten Dehntechnik. T1 = Messzeitpunkt 1, T3 = Messzeitpunkt 3

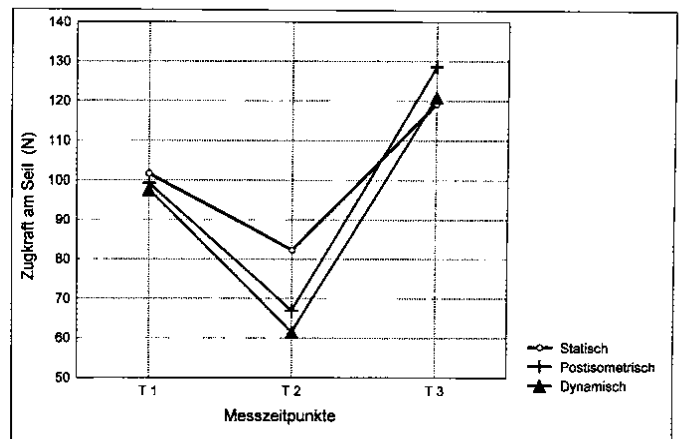


Abb. 7: Reduktion der Dehnungsspannung bei konstanter Hüftflexion (T2) und Erhöhung der maximal tolerierten Dehnungsspannung nach der Dehnung (T3) in Abhängigkeit von der durchgeführten Dehntechnik. T1 = Messzeitpunkt 1, T2 = Messzeitpunkt 2, T3 = Messzeitpunkt 3

Hauptfaktoren. Im direkten Vergleich erweist sich die statische Dehntechnik der postisometrischen ($F_{1,22}=12,7$; $p=0,002$), als auch der dynamischen ($F_{1,22}=8,3$; $p=0,009$) unterlegen, während die Unterschiede zwischen postisometrischer und dynamischer Technik nicht signifikant ($F_{1,22}=0,2$; $p=0,635$) sind (siehe Abb. 6).

Die Dehnungsspannung verringerte sich während der Testzeitpunkte T1 und T3 zwischen 19 und 35 %. Varianzanalytisch bestehen zwischen den Treatmentgruppen keine Unterschiede, es kommt zu einer hochsignifikanten Abnahme der Dehnungsspannung während des Treatments, und es bestehen hochsignifikante Interaktionen zwischen den beiden Hauptfaktoren. Im direkten Vergleich erweist sich die statische Dehntechnik sowohl der postisometrischen ($F_{1,22}=11,9$; $p=0,002$) als auch der dynamischen Dehntechnik ($F_{1,22}=21,0$; $p=0,000$) unterlegen, während die Unterschiede zwischen postisometrischer und dynamischer Technik nicht signifikant ($F_{1,22}=0,79$; $p=0,382$) sind (siehe Abb. 7). Die maximal tolerierte Dehnungsspannung vergrößerte sich während der Testzeitpunkte T1 und T3 zwischen 18 und 29 %. Varianzanalytisch bestehen zwischen den Treatmentgruppen keine Unterschiede, es kommt zu einer hochsignifikanten Erhöhung der maximal tolerierten Dehnungsspannung während des Treatments, und es bestehen keine Interaktionen zwischen den beiden Hauptfaktoren. Im direkten Vergleich erweist sich die statische Dehntechnik der postisometrischen unterlegen ($F_{1,22}=5,2$; $p=0,032$), während die Unterschiede zwischen

postisometrischer und dynamischer ($F_{1,22}=0,9$; $p=0,340$) bzw. zwischen statischer und dynamischer Technik nicht signifikant ($F_{1,22}=0,9$; $p=0,334$) sind (siehe Abb. 7)

Diskussion

In der vorliegenden Studie sollte untersucht werden, ob zwischen singulären mit verschiedenen Techniken durchgeführten Muskeldehnungen Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der Bewegungsreichweite, der Dehnungsspannung und der maximal tolerierten Dehnungsspannung bestehen. Unter kurzfristigen Veränderungen werden die Veränderungen verstanden, die unmittelbar nach der Durchführung eines Treatments zu beobachten sind. Mittel- bzw. langfristige Effekte wurden nicht untersucht, da nicht davon auszugehen ist, daß durch singuläre Dehnungen solche ausgelöst werden (26).

Die Hypothesen wurden über Varianzanalysen mit Meßwiederholung getestet. Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Singuläre statische, postisometrische und dynamische Dehnungen führen zu einer hochsignifikanten kurzfristigen Vergrößerung der Bewegungsreichweite.
- Zwischen den Dehntechniken bestehen sehr signifikante Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der Bewegungsreichweite.
- Singuläre statische, postisometrische und dynamische Dehnungen führen zu einer hochsignifikanten kurzfristigen Reduktion der Dehnungsspannung.

- Zwischen den Dehntechniken bestehen hochsignifikante Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Veränderung der Dehnungsspannung
- Singuläre statische, postisometrische und dynamische Dehnungen führen zu einer hochsignifikanten kurzfristigen Vergrößerung der maximal tolerierten Dehnungsspannung.
- Zwischen den Dehntechniken bestehen keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die kurzfristige Vergrößerung der maximal tolerierten Dehnungsspannung.

Die beobachtete Vergrößerung der Bewegungsreichweite und die Reduktion der Dehnungsspannung spiegelt den aktuellen Stand der Literatur wider (18, 28). Diese Effekte können über die mechanischen Eigenschaften der Muskulatur und elektrophysiologische Veränderungen erklärt werden.

Bei einer Muskeldehnung werden die Aktin- und Myosinfilamente auseinandergezogen. Mit zunehmender Muskeldehnung werden neben den kontraktilen Myofibrillen auch die retikulären Mikrofibrillen, die Intermediärfilamente und die Connectinfilamente gedehnt. Durch den zunehmenden Widerstand der elastischen Elemente erhöht sich der Gesamtdehnungswiderstand. Mit zunehmender Dehnung nimmt der Überlappungsgrad von Aktin und Myosin und damit die maximal mögliche Spannung der kontraktilen Elemente ab. Der biologische Sinn dieser zunehmenden Stiffness liegt darin, eine unphysiologische Überdehnung, die bis zum Verlust der Filamentüberlappung führen könnte, zu vermeiden (19, 22). Es wird davon ausgegangen, dass die Wider-

standskräfte im Bereich der maximalen Bewegungsreichweiten nicht auf die aktiven Querbrückenbindungen von Aktin und Myosin zurückzuführen sind, sondern den passiven Zugspannungen des bindegewebigen Materials zugeordnet werden müssen (19).

Das bindegewebige Material (Sarkolemm, Sehnen) verfügt über visko-elastische Eigenschaften, d.h. das Verhalten des Materials ist in hohem Maße von der Dehnungsgeschwindigkeit abhängig. Bei einer langsamen oder kontinuierlichen Dehnung verhält sich das Bindegewebe anders als bei einer schnellen Spannungszunahme. Bei einer langsamen oder kontinuierlichen Dehnung ist das sog. Creeping-Phänomen zu beobachten. Die Kollagenfibrillen sind im ungedehnten Zustand nicht linear in der Zugrichtung der einwirkenden Kraft orientiert. Mit zunehmender Dehnung erfolgt eine Ausrichtung der Fasern, wodurch sich die Länge der Struktur erhöht. Diese bildet sich nach der Dehnung erst sehr langsam zurück (19). Bei einer schnellen Dehnung sind Muskulatur und Sehne in der Lage, kinetische Energie zu speichern (7, 9, 14). Bei schnellen Dehnungen des Muskels, bei denen eine Längenzunahme in der Größenordnung von 0,1 - 0,2 % der Ruhelänge erfolgt, kann elastische Energie in den Querbrücken gespeichert werden. Die beobachteten hochsignifikanten Unterschiede im Hinblick auf die Erhöhung der Bewegungsreichweite und der Reduktion der Dehnungsspannung in Abhängigkeit von der angewandten Dehntechnik und die hochsignifikante Vergrößerung der maximal tolerierten Dehnungsspannung stellen unerwartete Ergebnisse dar, die einer intensiveren Diskussion bedürfen.

Das postisometrische und das dynamische Dehnen sind hinsichtlich der Verbesserung der Bewegungsreichweite dem statischen Dehnen statistisch signifikant überlegen. Die Größenordnung der Unterschiede kann aber nicht als relevant für die Praxis bezeichnet werden (1). Diskussionswürdiger erscheinen hingegen die Unterschiede zwischen den Dehntechniken im Hinblick auf die Reduktion der Dehnungsspannung. Während das statische Dehnen zu einer Verringerung der Dehnungsspannung um lediglich 19% führt, kommt es durch das postisometrische und das dynamische Dehnen zu einer Reduktion um mehr als 30%.

Die Höhe der beim dynamischen und postisometrischen Dehnen auftretenden Zugbelastungen ist sehr unterschiedlich. Während beim dynamischen Dehnen die maximalen Zugkräfte in der gleichen Größenordnung lagen wie beim statischen Dehnen, konnten beim postisometrischen Dehnen in der Kontraktionsphase Zugbelastungen in der Größenordnung bis zum Vierfachen der beim statischen Dehnen auftretenden registriert werden. Statistische Zusammenhänge zwischen der Reduktion der Dehnungsspannung und der Höhe der Zugbelastung bei der Kontraktion konnten nicht hergestellt werden. Unterschiedliche muskelmekanische Veränderungen erscheinen vor diesem Hintergrund relativ unwahrscheinlich für die beobachteten Unterschiede zwischen den Dehntechniken.

Als eine weitere Erklärung für die beobachteten Unterschiede in Abhängigkeit von der Dehntechnik können elektrophysiologische Veränderungen herangezogen werden. Eventuell kommt es durch das dynamische und das postisometrische

Dehnen zu einer stärkeren Reduktion der EMG-Aktivität als durch das statische Dehnen. Darüber, ob hier Aspekten der reziproken Hemmung (2, 8) oder nur einer erhöhten Schmerztoleranz (21) eine Bedeutung zukommt, kann nur spekuliert werden. Die Nichtvergleichbarkeit der vorliegenden Literaturbefunde (28) macht es schwer, eine eindeutige Aussage zu machen. Auf eine weitere Diskussion der den Beobachtungen eventuell zugrunde liegenden elektrophysiologischen Prozesse soll an dieser Stelle verzichtet werden, da keine elektromyographischen Daten erhoben wurden. Es bleibt zukünftigen Untersuchungen vorbehalten, diese Aspekte näher zu beleuchten.

Es kommt durch die statische Dehnung zu einer Erhöhung der maximal tolerierten Dehnungsspannung um 19 %, durch die dynamische Dehnung um 24 % und durch die postisometrische Dehnung um 29 %. Die Veränderungen sind hochsignifikant. Die Zuwachsraten unterscheiden sich zum Teil signifikant zwischen den Gruppen. Die Erhöhung der maximal tolerierten Dehnungsspannung liegt wesentlich höher als dies für singuläre Dehnungen in der Literatur beschrieben wird. *Wiemann* berichtet über Erhöhungen um ca. 3,2 % bei einer singulären statischen und um ca. 16,3 % bei einer singulären postisometrischen Dehnung (22). Die Ursache für die Erhöhung der maximal tolerierten Dehnungsspannung sieht er in einer Erhöhung der Schmerztoleranz (21, 22). Auf den ersten Blick erscheint dieses Ergebnis als Widerspruch gegenüber den gleichzeitig beobachteten hochsignifikanten Unterschieden im Hinblick auf die Verringerung



Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main
Institut für Sportwissenschaften Spinnerei



Private Forschungsgesellschaft für Sport, Medizin & Ernährung GmbH

Compendium Sport Nutrition & Functional Food

Intensiv-Seminare Sporternährung

Programm 1. Halbjahr 1999

- **Kraft- und Fitness-Sport** 13.02.1999
- **Getränke** 13.03.1999
- **Tennis** 17.04.1999

Weiter- und Fortbildungsveranstaltung Sportmedizin
(Anrechenbare Stunden: 4 pro Seminartag)

Seminarleitung: Dr. med. Kurt-Reiner Geiß

Veranstaltungsort: Astron Hotel, Hessenring 9,
D-64546 Mörfelden-Walldorf

Information und Anmeldung:
Norbert Haase, ISME GmbH, Weingartenstraße 2,
D-64546 Mörfelden-Walldorf.
Telefon: 0 61 05/2 54 73 · Telefax: 0 61 05/2 15 02

der Dehnungsspannung während der Dehnung. Unter muskelprotektiven Gesichtspunkten ist dieses Ergebnis jedoch als sinnvoll zu erachten: Eine unphysiologische Überdehnung des Muskels muß vermieden werden (13), während eine Reduktion der Dehnungsspannung bei konstanter Bewegungsreichweite keine Gefahren für das kontraktile System mit sich bringt.

Vor dem gleichen Hintergrund ist auch zu fragen, inwieweit welche der beobachteten signifikanten Effekte tatsächlich auch wünschenswert sind. Die Berichte über negative Auswirkungen von Muskeldehnungen auf die Schnellkraft (5, 10) und die Entstehung von Muskelkater bzw. die Verletzungsprophylaxe (12, 15, 23, 24) machen deutlich, dass eine Vergrößerung der maximalen Bewegungsreichweite bzw. der maximal tolerierten Dehnungsspannung nicht unbedingt als optimal anzusehen ist.

Abschließend soll auf ein methodisches Problem aufmerksam gemacht werden. Die drei verschiedenen Dehnstechniken wurden in einer bestimmten Reihenfolge durchgeführt, wodurch es zu einer Konfundierung zweier unabhängiger Variablen gekommen ist: Die Dehnstechnik ist konfundiert mit der Reihenfolge der Treatments. Die vorliegenden Ergebnisse, insbesondere die jeweils identischen Ausgangswerte, die nicht signifikanten Gruppenunterschiede, als auch die fehlenden Interaktionen hinsichtlich der Veränderung der maximal tolerierten Dehnungsspannung machen es relativ unwahrscheinlich, dass durch die Konfundierung ein Effekt ausgelöst wurde. In einer noch laufenden Vergleichsuntersuchung wurde zuerst das dynamische und in einem zeitlichen Abstand von einer Woche das statische Dehnen durchgeführt. Die hier gezeigten Ergebnisse konnten bestätigt werden, so dass davon ausgegangen werden kann, dass keine Lern- oder Gewöhnungseffekte für die beobachteten Unterschiede verantwortlich sind.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass unser Wissen über die durch eine Muskeldehnung ausgelösten Effekte und die hierfür verantwortlichen physiologischen Prozesse noch sehr mangelhaft ist (22). Auch zeigt es sich, dass die insbesondere im letzten Jahrzehnt formulierte Kritik am dynamischen Dehnen so

nicht haltbar ist. Im Gegenteil: Ein vorsichtig durchgeführtes rhythmisch dynamisches Dehnen hat offensichtlich nicht nur im Hinblick auf die mittelfristigen, sondern auch hinsichtlich der kurzfristigen Effekte Vorteile (26). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann aber dennoch keine Aussage über die Präferenz einer Technik in der Praxis des Sports gemacht werden. Hierzu sind Feldstudien unerlässlich, die das interindividuell unterschiedliche Verhalten der Sportler beim Dehnen mit berücksichtigen.

Literatur

1. Bortz, J., N. Döring: Forschungsmethoden und Evaluation. Springer, Berlin 1995.
2. Cornelius, W.L., M.M. Hinson: The relationship between isometric contractions of the hip extensors and subsequent flexibility in males. *Journal of Sports Medicine* 20 (1980), 75 - 80.
3. Harre, D. (Red.): Trainingslehre. Sportverlag, Berlin 1973.
4. Hartley-O'Brien, S.J.: Six mobilization exercises for active range of hip flexion. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 51 (1980), 625 - 635.
5. Hennig, E., S. Podzielný: Die Auswirkungen von Dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung. *Dtsch Z Sportmed* 45 (1994), 253 - 260.
6. Holt, L. E., T. Travis, T. Okita: Comparative study of three stretching techniques. *Perceptual and Motor Skills* 31 (1970), 611 - 616.
7. Huijing, P.A.: Das elastische Potential des Muskels. In: Komi, P.V.: Kraft und Schnellkraft im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1994, 155 - 172.
8. Iles, J.: Reciprocal inhibition during agonist and antagonist contraction. *Experimental Brain Research* 62 (1986), 212 - 214.
9. Komi, P.V.: Der Dehnungs-Verkürzungszyklus. In: Komi, P.V.: Kraft und Schnellkraft im Sport. Deutscher Ärzteverlag, Köln 1994, 173 - 182.
10. Künemeyer, J., D. Schmidbleicher: Die rhythmische neuromuskuläre Stimulation (RNS). *Leistungssport* 27 (1997) 2, 39 - 46.
11. Lucas, R.C., R. Koslow: Comparative study of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques of flexibility. *Perceptual and Motor Skills* 58 (1984), 615 - 618.
12. Murphy, D. R.: A critical look at static stretching: Are we doing our patients harm? *Chiropractic Sports Medicine* 5 (1991), 67 - 70.
13. Nitsch, J.R.: Zur handlungstheoretischen Grundlegung der Sportpsychologie. In: Gabler, H., J.R. Nitsch, R. Singer: Einführung in die Sportpsychologie. Hofmann, Schorndorf 1986, 238 - 253.
14. Noth, J.: Neurophysiologische Aspekte der Muskelelastizität. In: Bührle, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Hofmann, Schorndorf 1985, 238 - 253.
15. Rebsamen, R.: Das Syndrom des Over-Stretching. In: Hoster, M., H.-U. Nepper (Hrsg.): Dehnen und Mobilisieren. Sport Consult, Waldenburg 1994, 110 - 117.
16. Sady, S.P., M. Wortman, D. Blanke: Flexibility training: Ballistic, static or proprioceptive neuromuscular facilitation. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 63 (1982), 261 - 263.
17. Schönthaler, S., H. Ott: Auswirkungen verschiedener Dehnmethoden auf die maximale Bewegungsreichweite und die Dehnungsspannung. Diplomarbeit, Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1994.
18. Schönthaler, S., K. Ohlendorf, H. Ott, T. Meyer, W. Kindermann, D. Schmidbleicher: Biomechanische und neurophysiologische Parameter zur Erfassung der Dehnbarkeit von Muskel-Sehnen-Einheiten. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 223 - 230.
19. Ulrich, K., A. Gollhofer: Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 45 (1994), 336 - 345.
20. Wiemann, K.: Präzisierung des Lombardschen Paradoxons in der Funktion der ischiocruralen Muskeln beim Sprint. *Sportwiss* 21 (1991) 4, 413 - 428.
21. Wiemann, K.: Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. *Sportwiss* 21 (1991) 3, 295 - 305.
22. Wiemann, K.: Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In: Hoster, M., H.-U. Nepper (Hrsg.): Dehnen und Mobilisieren. Sport Consult, Waldenburg 1994, 40 - 71.
23. Wiemann, K., M. Kamphöfner: Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischem Training? *Dtsch Z Sportmed* 46 (1995), 411 - 421.
24. Wiemann, K., T. Fischer: Ruhespannung und Muskelkater. *Sportwiss* 27 (1997), 428 - 436.
25. Willmczik, K., R. Daus, N. Olivier: Belastung und Beanspruchung als Einflußgrößen der Sportmotorik. In: Olivier, N., R. Daus. (Hrsg.): Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. 9. Symposium „Ansätze interdisziplinärer Forschung im Bereich Sportwissenschaft“ der dvs-Sektion „Bewegung und Training“ vom 17. I. bis 19. I. 1991 in Saarbrücken. Clausthal-Zellerfeld, 1991, 6 - 28.
26. Wydra, G., K. Bös, G. Karisch: Zur Effektivität verschiedener Dehnstechniken. *Dtsch Z Sportmed* 42 (1991), 386 - 400.
27. Wydra, G., S. Glück, K. Roemer: Entwicklung, Evaluation und erste experimentelle Erprobung eines Dehnungsmessschlittens. In: Kongressbericht über die 3. Gemeinsame Tagung der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft vom 17. - 19. September 1998 in Darmstadt. Czwalina, Clausthal-Zellerfeld (im Druck)
28. Wydra, G.: Stretching - ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. *Sportwiss* 27 (1997), 409 - 427

Anschrift für die Autoren:
Univ.-Prof. Dr. Georg Wydra
Sportwissenschaftliches Institut
Universität des Saarlandes
Postfach 151150
66041 Saarbrücken
Tel.: 0681/302-2544
Fax: -4909