

#### Zusammenfassung

Stretching wird in fast allen Sportarten als Aufwärm- und Erholungsübung eingesetzt. Auch Physiotherapeuten verwenden Dehnungen, um bestimmte Behandlungsziele zu verfolgen. Die vorliegende Arbeit untersucht anhand der veröffentlichten Forschungsergebnisse wissenschaftlich nachweisbare positive ebenso wie negative physiotherapeutische Auswirkungen von Stretching.

#### Schlüsselwörter

Stretching · Forschungsergebnisse · Physiotherapie

#### Abstract

Stretching is used as warming-up and recovery routine in almost all sports. Physiotherapists also employ stretching in order to pursue certain treatment objectives. This article investigates evidence-based positive as well as negative physiotherapeutic effects of stretching on the basis of published research.

#### Key words

Stretching · research results · physiotherapy

#### Einleitung

Zur Verbesserung der Leistung bei körperlichen Aktivitäten, die ein hohes Maß an Flexibilität erfordern, wird Stretching wohl seit Menschengedenken eingesetzt. In den frühen 80er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde es jedoch zu einem „Muss“ in Sport und Physiotherapie.

In den 60er bis 80er-Jahren dienten plyometrische Übungen zum Aufwärmen vor anstrengenden sportlichen Aktivitäten. Nach Jandas [25] Publikation seiner Muskelkategorien und funktionellen Testverfahren sowie Andersons [1] Buch über Stretching, von dem bis heute mehr als 3 Millionen Exemplare verkauft wurden, konnte nichts diese revolutionäre „neue“ Methode aufhalten, die Heilung bei so vielen ungelösten muskuloskelettalen Problemen versprach.

Im Rahmen der Physiotherapie wurde eine ganze Reihe von Theorien aufgestellt, um zu erklären, warum sich Muskeln ver-

kürzen und auf welche Weise verkürzte Muskeln und ihre schwachen Antagonisten (Muskelungleichgewicht) schmerzhaft Dysfunktionen hervorrufen. Ausgehend von diesen Theorien konnten Physiotherapeuten und Sportler leicht verstehen, wie sich durch eine Dehnung verkürzter Muskeln solche Probleme beheben ließen. Ausschlaggebend war eine Verlängerung der verkürzten Muskeln. Es wurde angenommen, dass eine Verlängerung folgende verschiedene positive Veränderungen bewirkt:

- Vorbeugen von Verletzungen;
- Verringern von Muskelspannung;
- Vermindern der Muskelungleichgewichte;
- Reduzieren der Muskelverkürzungen;
- Erhöhen der Muskelleistung (Kraft und Leistung);
- Steigern der Flexibilität.

Als Wiemann und Kamphöfner [51] in Deutschland ihre Arbeit über Stretching und DOMS (Delayed onset of muscle soreness = verzögertes Einsetzen des Muskelkaters) veröffentlichten

#### Korrespondenzadresse

Fritz Zahnd, Master Muskuloskelettale & Sport-Physiotherapie 2004 University of South Australia · Hans-Rölli-Str. 20 b · CH-8127 Forch · E-mail: fzahnd@bluewin.ch

Manuskript eingetroffen: 18.07.2005 · Manuskript akzeptiert: 15.08.2005

#### Bibliografie

Manuelle Therapie 2005; 9: 171 – 178 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
DOI 10.1055/s-2005-858711  
ISSN 1433-2671



Abb. 1 Flexibilität (Postkarte unbekannter Herkunft).

und zeigten, dass nach anstrengenden exzentrischen ballistischen Übungen der Muskelkater in den vor der Übung gedehnten Ischiokruralmuskeln stärker war als auf der zuvor nicht gedehnten Seite, waren die Physiotherapeuten schockiert. Dieser Befund ließ sich so interpretieren, dass Stretching vor einer Übung das Verletzungsrisiko möglicherweise nicht verringerte – ganz im Gegenteil. Und Wiemann und Kamphöfner [51] waren nicht die einzigen, die die oben genannten Annahmen in Frage stellten.

Heute, 10 Jahre später, ist Stretching immer noch in nahezu allen Sportarten Teil der Aufwärm- und Erholungsroutine. Auf der ganzen Welt setzen Physiotherapeuten bei verschiedensten Behandlungszielen immer noch Dehnungen ein.

Heißt dies, die in den vergangenen 10 Jahren veröffentlichten Forschungsergebnisse bestätigten, dass Stretching wissenschaftlich nachweisbar die oben genannten Veränderungen hervorruft oder dass sich Gewohnheiten nur schwer ändern lassen?

Die vorliegende Arbeit untersucht die publizierten positiven und negativen Erkenntnisse zu den physiotherapeutischen Annahmen über Stretching.

### Suchstrategie

In den Datenbanken *Pedro*, *Medline*, *Cinahl*, *Sportdiscus* und *Cochrane Library* wurde eine auf den Zeitraum von 1990 bis August 2004 begrenzte, computergestützte Suche mit den Suchbegriffen *Stretching*, *Muskel*, *Leistung*, *Verletzung*, *Muskellänge*, *Muskelspannung* durchgeführt.

Die Entscheidung über Einbezug bzw. Ausschluss der insgesamt 442 identifizierten Artikel erfolgte anhand der Zusammenfassungen. Um berücksichtigt zu werden, mussten die Artikel mit den verschiedenen Themen der vorliegenden Studie in Zusammenhang stehen, d. h. mit dem Einfluss von Stretching auf Muskelleistung, -verletzung, -länge und -ungleichgewicht. Auch die Literaturlisten der ausgewählten Artikel wurden hinsichtlich weiterer interessanter Arbeiten durchgesehen. Sowohl deutsch- als auch englischsprachige Artikel wurden einbezogen.

In die vorliegende Arbeit fließen nicht nur Erkenntnisse aus der Literatur, sondern auch die langjährige klinische Erfahrung des Autors zu Stretching-Verfahren in Physiotherapie, Tanz und Sport sowie sein in 15-jähriger Zusammenarbeit mit Olaf Evjenth und Jern Hamberg erworbenes Wissen mit ein. Evjenth und Hamberg publizierten unter anderem die Bücher *Muscle Stretching in Manual Therapy* [17] und *Autostretching* [18].

### Vorbeugung gegen Verletzungen

Die Mehrzahl der Studien befasst sich mit der Dehnung von Muskeln und der Vorbeugung gegen Verletzungen der unteren Extremität.

Jones et al. [26] geben an, dass Verletzungen der unteren Extremität mehr als 61,9% (86 von 139) aller Verletzungen bei der Grundausbildung von Infanteristen der US-Armee ausmachen. 28,4% von 303 Auszubildenden erleiden eine Verletzung infolge zu starker Belastung.

Vielen intrinsischen und extrinsischen Risikofaktoren wird ein Einfluss auf die Entwicklung von Verletzungen der unteren Extremität infolge Überbelastung sowohl in militärischen als auch in nichtmilitärischen Zusammenhängen zugeschrieben. Dazu gehören der Trainingsumfang (Menge der mit Training oder Rennen verbrachten Zeit), frühere Verletzungen, frühere körperliche Kondition, körperliche Anomalien, Körpergewicht, Geschlecht, Hintergrund beim Training, Ausrüstung, Trainingstechniken, Zigarettenrauchen sowie die Flexibilität der Ischiokruralmuskeln [23].

Hartig et al. [23] zitieren unveröffentlichte Arbeiten von Seto (nicht publizierte Daten, 1995), in denen die Verkürzung der Ischiokruralmuskeln sowie der Achillessehne im Hinblick darauf untersucht wird, Prädiktor für Verletzungen der unteren Extremität infolge Überbeanspruchung zu sein. Seto stellte fest, dass derartige Veränderungen der Muskulatur der unteren Extremität signifikante Prädiktoren für Verletzungen der unteren Extremität infolge Überbeanspruchung waren.

Somit gibt es gute Gründe, die Möglichkeiten von Stretching zur Vorbeugung von Verletzungen zu eruieren.

Dadebo et al. [12] untersuchten bei englischen Fußballspielern das Verhältnis zwischen derzeitigem Flexibilitätstraining und Zerrungen der Ischiokruralmuskulatur. Sie stellten fest, dass je mehr gedehnt wurde, desto niedriger war die Rate der Zerrungen der Ischiokruralmuskulatur. Dabei variierten die Dehnungsprogramme beträchtlich [12]. Die Dauer des Haltens einer Dehnung war der mit Abstand stärkste (negativ korrelierte) Prädiktor (30%) bezüglich der Rate von Zerrungen der Ischiokruralmuskulatur. Da es sich bei der Studie allerdings um eine retrospektive Erhebung und nicht um (Fragebogen) eine kontrollierte Untersuchung handelte, zeigt diese Korrelation nicht unbedingt eine Ursache-Folge-Beziehung an [12]. Ihr Ergebnis ist daher mit Vorsicht zu interpretieren.

Witvrouw et al. [53] diskutierten in einer Übersicht von Anwendungsbeobachtungen die widersprüchlichen Ergebnisse verschiedener Dehnungsuntersuchungen bei unterschiedlichen

Sportarten. Sie stellten die Hypothese auf, dass Stretching bei Sportarten mit hohen Anforderungen hinsichtlich Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen (Stretch-shortening cycles, SSC) eine verletzungsvorbeugende Wirkung haben kann, da es die Muskel-Sehnen-Einheit für diese Sportart dehnbarer macht. Hingegen sind bei Sportarten wie Fahrradfahren und Schwimmen im Wesentlichen keine SSC erforderlich, weshalb Stretching hier keine positiven Wirkungen zeigt.

Herbert und Gabriel [24] befassten sich in ihrer Übersichtsstudie mit der Wirkung von Stretching auf Muskelkater und Verletzungsrisiko und fanden heraus, dass Stretching nicht gegen Muskelkater und Verletzungen schützt. Dazu hatten sie 2 Studien über Prävention von Verletzungen [38, 39] betrachtet, in denen Rekruten 12 Wochen lang untersucht wurden. Da dies eine starke Einseitigkeit hinsichtlich der Studiensubjekte bedeutet, sind die entsprechenden Ergebnisse fraglich.

Lund et al. [30] erforschten den Einfluss passiver Dehnung auf DOMS und entdeckten, dass passive Dehnung (3-mal 30 sec, mit jeweils 30 sec Pause zwischen den Dehnungen, ausgeführt am Tag 0 vor und unmittelbar nach der exzentrischen Übung und an den folgenden 7 Tagen vor der Messung der abhängigen Variablen) sekundäre trainingsbedingte „pathologische“ Veränderungen nicht verhindern konnte, da sie erhöhte Konzentrationen von Kreatinkinase (CK) im Plasma und Muskelschmerzen nicht veränderte.

Smith et al. [45] untersuchten, ob statische und ballistische Dehnung selbst zu DOMS und erhöhten CK-Plasmaspiegeln führten. Sie stellten fest, dass statische Dehnung mehr DOMS als ballistische Dehnung bewirkte und die erhöhten CK-Spiegel bei beiden Gruppen gleich waren. Dies bedeutet, Stretching selbst kann bereits zu Muskelverletzungen führen.

Gemäß Shrier [44] muss die Literatur zu Stretching und Verletzungsprävention mit Vorsicht interpretiert werden. Zwar wiesen die Studien von Ekstrand et al. [14, 15] und Bixler et al. [5] nach, dass Stretching vor sportlichen Leistungen die Zahl der Verletzungen verringert. Bei ihrer Forschung wurde jedoch neben vielen anderen Maßnahmen mindestens eine weitere Intervention (Aufwärmen) durchgeführt [5, 14, 15]. Aus diesem Grund war es nicht sehr wissenschaftlich, den Schluss zu ziehen, die um 75% geringere Verletzungshäufigkeit bei Fußballspielern sei auf Stretching zurückzuführen.

Einige Studien besagten, Stretching vor sportlichen Leistungen verhindert keine Verletzungen [7, 8, 31, 37, 47]. Shrier [44] zeigt die Begrenzungen dieser Studien auf, erwähnt aber nicht – und das ist klinisch sehr relevant –, dass alle zitierten negativen Ergebnisse im Zusammenhang mit Laufen gewonnen wurden, das das lokomotorische System ganz anders als Fußballspielen beansprucht.

Wahrscheinlich hängen Verletzungen mit verminderter Energieabsorption durch die Muskel-Sehnen-Einheit zusammen [44]. Der Autor legt dar, dass es keinen grundlegenden wissenschaftlichen Nachweis dafür gibt, dass erhöhte Dehnbarkeit des Gewebes die Fähigkeit zu Energieabsorption steigert.

Garrett [19] nimmt an, Verletzungen treten vor allem während exzentrischer Belastung der Muskel-Sehnen-Einheit und nicht unbedingt im Endbereich der Bewegung auf. Wieso sollte dann die Fähigkeit zu Bewegungen größeren Ausmaßes Verletzungen verhindern [44]?

Manche Antworten zu widersprüchlichen Aussagen in der Literatur finden sich z.B. bei Witvrouw et al. [53], aber im Allgemeinen sind die Angaben in entsprechenden Publikationen noch nicht schlüssig.

*Kurzfristiges Stretching vor Übungen verhindert keine Muskelverletzungen.*

Diese Feststellung lässt sich aus der Tatsache schließen, dass sowohl ballistisches als auch statisches Stretching ein verzögertes Einsetzen von Muskelkater (DOMS) nicht verhindern und selbst erhöhte Kreatinkinaspiegel hervorrufen, einem Indikator für zerstörtes Muskelgewebe. Ballistisches Stretching verursacht weniger verzögertes Einsetzen von Muskelkater (DOMS) als statisches Stretching [45]. Statisches Stretching vor sportlichen Leistungen ist im Hinblick auf Verletzungsprävention vielleicht sogar schädlich, da Behm et al. [4] in einer methodisch gut durchgeführten Studie ein signifikant verringertes Gleichgewicht und erhöhte Reaktions- und Bewegungszeiten feststellten. Diese Ergebnisse könnten klinisch äußerst relevant sein.

### Verbesserung der Leistung

Die Tatsache, dass Sportler Stretching in ihr Aufwärmprogramm integrieren und Physiotherapeuten sie dazu ermutigen, lässt den Schluss zu, dass sowohl Sportler als auch Physiotherapeuten glauben, Stretching habe irgendwie eine leistungssteigernde Wirkung.

Zur Wirkung von Stretchingübungen auf sportliche Leistung gibt es viele Publikationen. Die nachfolgend erwähnten Studien stellen eine vom Verfasser der vorliegenden Arbeit getroffene repräsentative Auswahl dar.

Behm et al. [4] versuchten, Wirkungen statischen Stretchings auf Kraft, Gleichgewicht, Reaktions- und Bewegungszeit zu identifizieren und fanden keinen Unterschied bei der Kraft, aber eine signifikante Verminderung des Gleichgewichts sowie erhöhte Reaktions- und Bewegungszeiten. Bei der Kontrollgruppe (Aufwärmen ohne Stretching) waren das Gleichgewicht größer und Reaktions- sowie Bewegungszeiten geringer [4].

Power et al. [40] untersuchten den Effekt statischen Stretchings (M. quadriceps, Ischiokruralmuskeln, Plantarflexoren) auf Kraft und Sprungleistung sowie die wechselseitige Abhängigkeit von Veränderungen. Sie stellten eine verringerte willkürlich erreichbare Maximalkraft (Maximum voluntary contraction, MVC) im M. quadriceps (nicht in den Plantarflexoren) und ein vergrößertes Bewegungsausmaß (Range of motion = ROM; im Sitzen nach etwas greifen) fest (aber nicht in den Dorsalflexoren des Fußes). Eine Wirkung auf die Sprungleistung war nicht erkennbar. Nach 120 Minuten waren die MVC im M. quadriceps immer noch geringer und die ROM immer noch größer [40].

Bei der Untersuchung der Wirkung statischen Stretchings (M. biceps brachii) auf Drehmoment und EMG während konzentrischer isokinetischer Muskelaktivität entdeckten Evetovich et al. [16] bei der „Nichtstretching“-Gruppe ein signifikant größeres Drehmoment, aber keinen Unterschied der EMG-Amplituden zwischen beiden Gruppen. Sie schlossen daraus, die höhere Kraftproduktion in der „Nichtstretching“-Gruppe sei die Folge größerer Muskelfestigkeit und nicht das Ergebnis aktivierter motorischer Einheiten. Außerdem könnten alle Verfahren, die die Festigkeit von Muskeln und Sehnen verringerten (wie Stretching) die Leistung mindern [16].

Young et al. [54] verglichen die Wirkung verschiedener Aufwärmprogramme (Laufen, statisches Stretching, Springen) und deren Kombinationen auf explosive Kraftproduktion und Sprungleistung. Aufwärmen mittels Stretching führte zu den niedrigsten Resultaten. Aufwärmen durch Laufen sowie Laufen, Dehnen und Springen ergab die besten Resultate für explosive Kraftproduktion. Beim Laufen und Dehnen entsprachen die Ergebnisse denen der Kontrollgruppe. Bezüglich der *Drop-jump-Höhe* und Spitzenwerten konzentrischer Kraft erbrachte Laufen bessere Resultate als Laufen und Dehnen. Die Autoren schlossen daraus, dass die Hinzunahme von Stretching als letzte Aufwärmübung den Nutzen eines aktiven Aufwärmens verringert. Springen nach dem Dehnen kann diese negative Wirkung reduzieren, weshalb statisches Stretching nicht in ein Aufwärmprogramm aufgenommen werden sollte [54].

Beim Messen der Effekte statischen Stretchings auf die Kinematik eines vertikalen Sprungs konnten Knudson et al. [29] keine signifikanten Änderungen feststellen. Jedoch wiesen 55% der untersuchten Personen nach Dehnung geringere vertikale Geschwindigkeiten auf und bei 10% hatten sich höhere vertikale Geschwindigkeiten nicht geändert. Daraus schlossen die Autoren, dass Stretching vor Aktivitäten mit Dehnungs-Verkürzungszyklen bei manchen Personen leistungsmindernd wirken kann. Außerdem sind die Veränderungen nicht auf biomechanische Ursachen, sondern vielleicht auf neuromuskuläre Inhibition zurückzuführen [29].

Körperliche Leistung im Sport hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, von denen manche mit körperlicher Funktionsfähigkeit zusammenhängen, d. h. mit Kraft, Ausdauer, Energie, Geschwindigkeit und Flexibilität. Natürlich stellen unterschiedliche Sportarten auch unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf diese körperlichen Funktionen (z. B. Hallenradfahren verglichen mit tänzerischer Gymnastik).

Es scheint völlig klar, dass größere Flexibilität die Leistungen bei Sportarten steigert, bei denen es wesentlich auf Geschmeidigkeit ankommt. Viel Forschung [33] wurde betrieben, um den Einfluss von Stretching auf andere Faktoren körperlicher Leistung zu untersuchen, d. h. auf willkürlich erreichbare Maximalkraft (MVC) und den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (SSC). Die meisten Publikationen [40] stellten verringerte MVC nach Stretching fest, was auf geringere Festigkeit der Muskel-Sehnen-Einheit zurückzuführen ist.

Stretching wirkt sich auch negativ auf den Mechanismus des Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (SSC) bei *Drop-jumps* aus [46]. Wird

dabei aber die Ausgangshöhe gesteigert (80 cm u. 100 cm), schneiden Personen mit festeren Muskel-Sehnen-Einheiten schlechter ab [46]. Es wird angenommen, dass dies daher rührt, dass eine Inhibition des Golgi-Organes die faszinierende Wirkung des Dehnungsreflexes überlagert [46].

Die methodische Qualität der Studien ist zwar meistens gut, aber im Allgemeinen sind die untersuchten Populationen klein und die Maßnahmen nie einheitlich. Damit lassen sie sich nur schwer vergleichen und kaum definitive Schlüsse ziehen. Dennoch kann aus ihren Ergebnissen geschlossen werden, dass Aktivitäten, die viel Kraft erfordern und auf Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen (SSC) aufbauen, aus einem vorherigen Stretching keinen Nutzen ziehen. Die Resultate der meisten Studien zeigen danach verminderte Leistung.

### Korrektur muskulären Ungleichgewichts durch Stretching

Es ist faszinierend zu beobachten, wie das maximale Bewegungsmaß durch statische oder CRAC-Stretchingübungen (Contract relax antagonist contraction) zunimmt. Bedeutet dies, dass sich der Muskel verlängert und Muskelungleichgewichte korrigiert werden?

Die Beantwortung dieser Fragen macht es unumgänglich, gewisse Teile der Muskelanatomie genauer anzuschauen. Bis zu den frühen 80er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts glaubte man, die Ruhespannung eines Muskels (Widerstand eines entspannten Muskels gegen eine verlängernde Kraft) werde von dem ihn umgebenden elastischen Bindegewebe und dem Sarkolemm hervorgebracht [42]. Davon ausgehend glaubten Physiotherapeuten und Sportwissenschaftler, eine Dehnung des Bindegewebes rund um die Muskeln könne deren Länge steigern und dadurch Muskelungleichgewichte korrigieren. Diese Idee wurde durch Kollagen-Experimente im Labor untermauert, in denen Wissenschaftler Kollagen-Proteinmoleküle um 8% verlängerten, um ihre dreidimensionale Struktur zu erforschen [10], was eigentlich nichts mit klinischer Dehnung zu tun hat. In den 90er-Jahren gehörte dieses Schema jedoch zu den Grundlagen für Stretching als Behandlungsform, obwohl Magid und Law [32] mit ihren Experimenten ebenso wie die Gruppe der Muskelwissenschaftler um Maruyama [34–36] und Wang [48, 49] gezeigt hatten, dass tertiäre Filamente (d. h. Titin) innerhalb der Sarkomere für die Ruhespannung der Muskeln verantwortlich waren.

Aufgabe dieser Filamente ist es, die strukturelle Integrität der Sarkomere des Muskels zu sichern. Insbesondere vom Titin-Filament wird angenommen, dass es die Sarkomere nach einer Dehnung in ihre ursprüngliche funktionelle Länge zurückzieht. Dies erklärt, warum Stretching die Ruhespannung in einem Muskel nicht verändern kann. Das Arrangement der Titin-Fasern erklärt, warum die Ruhespannung in einem Muskel in dem Maße zunimmt, wie der Muskel hypertrophiert. Da 6 Titin-Filamente mit einem Myosin-Filament verbunden sind, setzen umso mehr Titin-Filamente der Dehnungskraft Widerstand entgegen, je mehr Myosin-Filamente (je mehr Masse oder Volumen) eine Muskelfaser besitzt. Der Anstieg der Ruhespannung bedeutet nicht, dass der Muskel nun kürzer ist, da immer noch dieselbe Gelenkwinkelstellung erreicht werden kann und der Muskel sei-



ne maximale Kraft bei demselben Winkel der Gelenkstellung entwickelt (Definition Muskellänge siehe unten).

Wenn Muskeln kontrahieren, übermittelt der Aktin-Myosin-Komplex die Spannung von Z-Linie zu Z-Linie. Wirken stark beanspruchende – insbesondere exzentrisch – Kräfte ein, kommt es zu Mikrotraumen an der Z-Linie, die zu Muskelkater führen. Bei wiederholt und über längere Zeit auf den Muskel einwirkenden Kräften nimmt dieser an Kraft zu.

Beim Dehnen der Muskeln, findet die Kraftübertragung über die Titin-Filamente zur Z-Linie statt. Bei hohen Dehnungskräften kommt es zu Mikrotraumen an den Z-Linien. Die Hypothese, dass der Muskel genauso reagiert, als werde die Zugkraft aktiv übermittelt – nämlich durch Steigerung seiner Kraft –, bestätigten Versuche sowohl mit Tieren als auch mit Menschen [2, 3, 45, 50].

Nach Erläuterung der relevanten Anatomie und Physiologie des Muskels kommen Wiemann et al. [52] zu dem Schluss, Muskelungleichgewichte sollten nicht dadurch behandelt werden, dass versucht wird, den verkürzten Muskel zu verlängern, sondern durch Stärkung seines Antagonisten. Das in Abb. 2a u. b dargestellte Modell unterstützt seine Annahme.

### Steigerung der Muskellänge durch Stretching

Der Ausdruck *Muskellänge* wird in der Literatur nicht präzise definiert [52], und oft werden die Begriffe *Fähigkeit zu dehnen* oder *zu verlängern* und *Muskellänge* fälschlicherweise synonym verwendet.

#### Definitionen

- *Fähigkeit, zu dehnen oder zu verlängern*: Dies beschreibt, wie sehr Ursprung und Ansatz eines Muskels voneinander getrennt werden können, was stark von der Bereitschaft der betreffenden Person abhängt, unangenehme Gefühl einer starken Dehnung zu ertragen [9].
- *Muskellänge*: Sie bezeichnet die physiologische funktionelle Länge eines Muskels, die durch den Winkel der Gelenkstellung bzw. den Abstand vom Ursprung zum Ansatz definiert ist, bei welchen sich Aktin- und Myosin-Komplex optimal überlappen, was die Produktion eines maximalen Drehmoments ermöglicht [52].

Um sagen zu können, ein Muskel ist nach einer Stretchingprozedur länger, müsste sich die Kraft-Längen-Kurve des Muskels nach rechts verschoben haben. Eine solche Verschiebung nach rechts findet weder bei kurzzeitiger (3-mal 15–20 min) noch bei langfristiger Dehnung (3-mal 15–20 min pro Woche, 10 Wochen lang) statt. Zusätzliche Gelenkbeweglichkeit infolge von Dehnungsprozeduren ergibt sich durch eine erhöhte Dehnungstoleranz. Diese wahrscheinlichste Erklärung findet sich in der Literatur [9, 52]. Nur eine Veränderung des Arbeitsbereichs eines Muskels (d.h. durch Haltungsänderung über lange Zeit) kann denjenigen Winkel der Gelenkstellung verändern, bei welchem als Folge der funktionellen Muskellänge ein maximales Drehmoment hervorgebracht werden kann [20]. Das bedeutet, dass sich die wirkliche Muskellänge nicht durch Betrachtung des maximal erreichbaren Abstands zwischen Ansatz und Ursprung (Deh-

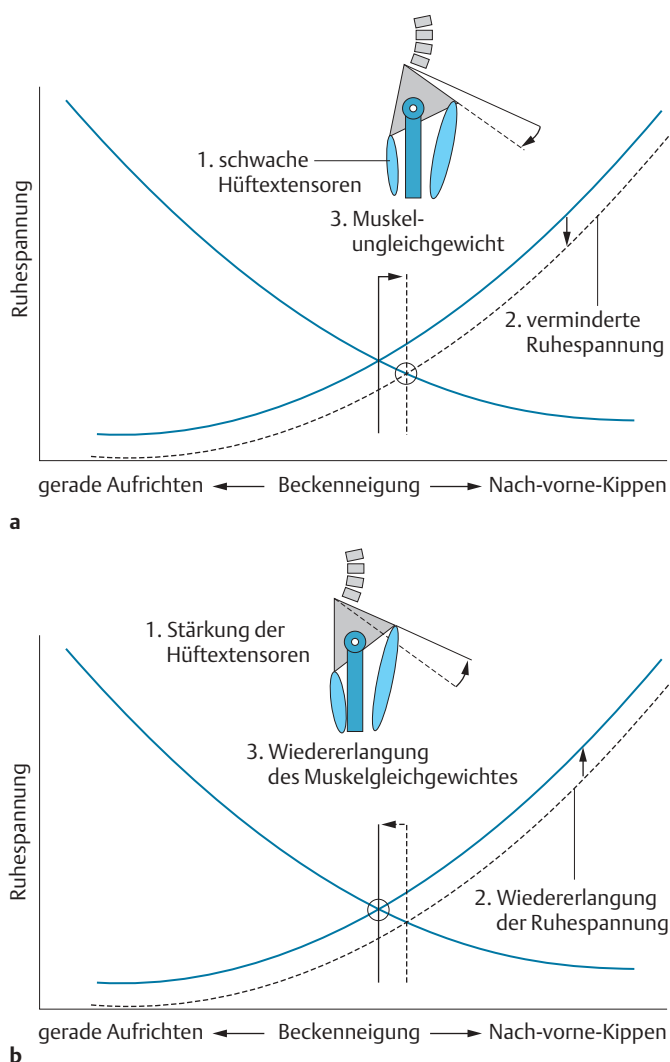


Abb. 2 a u. b Korrelation zwischen Ruhespannung der Hüftextensoren bzw. -flexoren und dem Grad der Beckenneigung. **a** Muskelungleichgewicht: Schwache Hüftextensoren rufen eine verminderte Ruhespannung hervor, sodass das Becken durch die relativ gesteigerte Ruhespannung der Hüftflexoren nach vorne gekippt werden kann. **b** Korrektur des Muskelungleichtgewichtes: Stärkung der schwachen Hüftextensoren erhöht die Ruhespannung (Hypertrophie steigert die Anzahl der Titin-Filamente), wodurch das Becken in eine neutralere Stellung zurückgebracht wird.

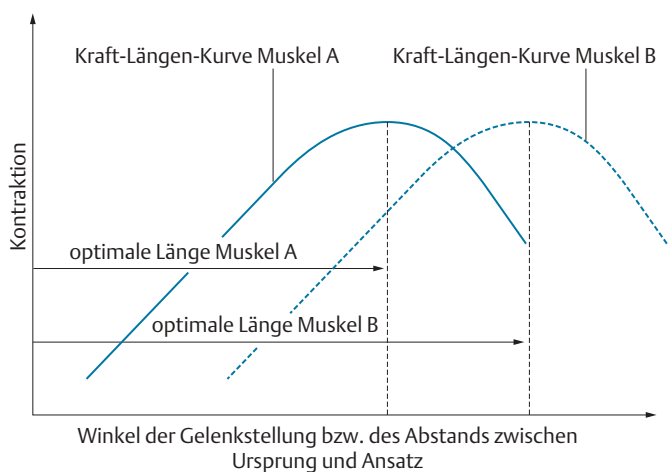


Abb. 3 Unterschiedliche Länge zweier homonymer Muskeln: Muskel A ist der M. iliopsoas eines Radfahrers. Muskel B ist der M. iliopsoas einer normalen Kontrollperson. Muskel A ist kürzer (funktionelle Länge) als Muskel B.

nungstoleranz), sondern nur durch Messung des Winkels der Gelenkstellung messen lässt, bei der ein maximales Drehmoment entwickelt werden kann. Der Muskel, der sein maximales Drehmoment bei einem größeren Gelenkwinkel hervorbringt, ist der längere von 2 homonymen Muskeln (Abb. 3).

Das Modell ist für die Interpretation der Literatur von großer Bedeutung, da es ein objektives Maß für die Länge darstellt. Was gewöhnlich in Forschungsartikeln als Länge der Ischiokruralmuskulatur beschrieben wird, ist in Wirklichkeit nicht die Länge der Muskeln, sondern die Dehnungstoleranz des Individuums. Dies wiederum bedeutet, dass ein nach Dehnung größeres Bewegungsmaß – ein in vielen Publikationen erwähntes Faktum [13, 21] – eine größere Dehnungstoleranz und nicht eine größere Muskellänge bedeutet.

Zu diesem Ergebnis kommen auch mehrere Studien [6, 22, 33], die zeigten, dass die Steigerung der ROM nach Dehnung eine Folge erhöhter Toleranz gegenüber dem Dehnungsgefühl ist. Dies lässt sich auch durch die Tatsache nachweisen, dass eine größere ROM nach Dehnung im Bewegungsendbereich mit höheren Spannungen einhergeht als vor der Dehnung. Bei einem echten Längenzuwachs sollte die ROM größer sein, wenn die gleiche Spannung gemessen wird, oder die Spannung sollte bei einem bestimmten, vor der Dehnung gegebenen Gelenkwinkel geringer sein.

### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der gesichteten Literatur verlangen eine Änderung der Hypothesen in Bezug auf Stretching bei physiotherapeutischer Behandlung und beim Sport. Auch wenn die Forschungsartikel insgesamt nur von mäßiger Qualität sind (niedrige Anzahl an Subjekten, kurze Gesamtzeit der Maßnahmen, kurze Nachbeobachtung, zum Teil mäßige Wirkungsgröße), scheint es doch Beweise dafür zu geben, dass Stretching keine der folgenden Auswirkungen hat:

- Verhindern von Verletzungen;
- Verringern der Muskelspannung;
- Vermindern von Muskelungleichgewichten;
- Reduzieren der Muskelverkürzungen;
- Steigern der Muskelleistung (Kraft und Energie).

Durch Steigerung der Dehnungstoleranz erhöht Stretching jedoch die Flexibilität (ROM). Zwar werden die Mechanismen, durch welche die Dehnungstoleranz gesteigert wird, noch nicht ganz verstanden, es ist jedoch anzunehmen, dass dieselben Mechanismen, die die Dehnungstoleranz erhöhen, auch für die lindernden Wirkungen von Dehnungsmanövern auf müde und empfindliche Muskeln bei Patienten ebenso wie bei Sportlern verantwortlich sind. Für genauere Erklärungen auf diesem Gebiet bedarf es noch weiterer Forschung.

Physiotherapeuten mit einem tieferen Verständnis der Wechselbeziehung zwischen Behandlungsmaßnahmen und klinischem Ergebnis sind sich durchaus der Tatsache bewusst, dass ein Dehnungsmanöver – wie jede andere Behandlungsmaßnahme auch sowohl auf Gewebe- als auch Schmerzmechanismen einwirkt.

Wenn Physiotherapeuten die gewebebezogenen Wirkungen für wichtig erachten, sollten sich ihre Muskel dehnenden Maßnah-

men auf Muskelgewebe richten. So müssen z.B. bei einer Dehnung der Ischiokruralmuskeln oder des M. rectus femoris andere Gewebe und Körperteile – etwa Nerven oder Strukturen des unteren Rückens – von der Dehnung verschont bleiben. Dies lässt sich erreichen, indem die Stellungen der verschiedenen Körperteile und die Bewegungen während der Muskeldehnung sorgfältig bestimmt werden.

Es überrascht, dass Physiotherapeuten manchmal die grundlegenden Regeln der Physik und Biomechanik nutzen, um die Entwicklung einer Bewegungsbeeinträchtigung zu erklären, und dabei vergessen, dass dieselben Regeln auch bei Behandlungsmaßnahmen gelten. Beispielsweise wird das oft zitierte und wohl bekannte Modell relativer Flexibilität benutzt, um die Entwicklung segmentaler Hypermobilität des unteren Rückens zu erklären. Während der Behandlung eines Faktors, der zu diesem Problem beiträgt – kurze Ischiokruralmuskeln – werden die Muskeln bisweilen unter Anwendung von Verfahren gedehnt, die das erwähnte Modell relativer Flexibilität vollständig ignorieren. Da der untere Rücken während dieser Manöver nicht gegen Belastung

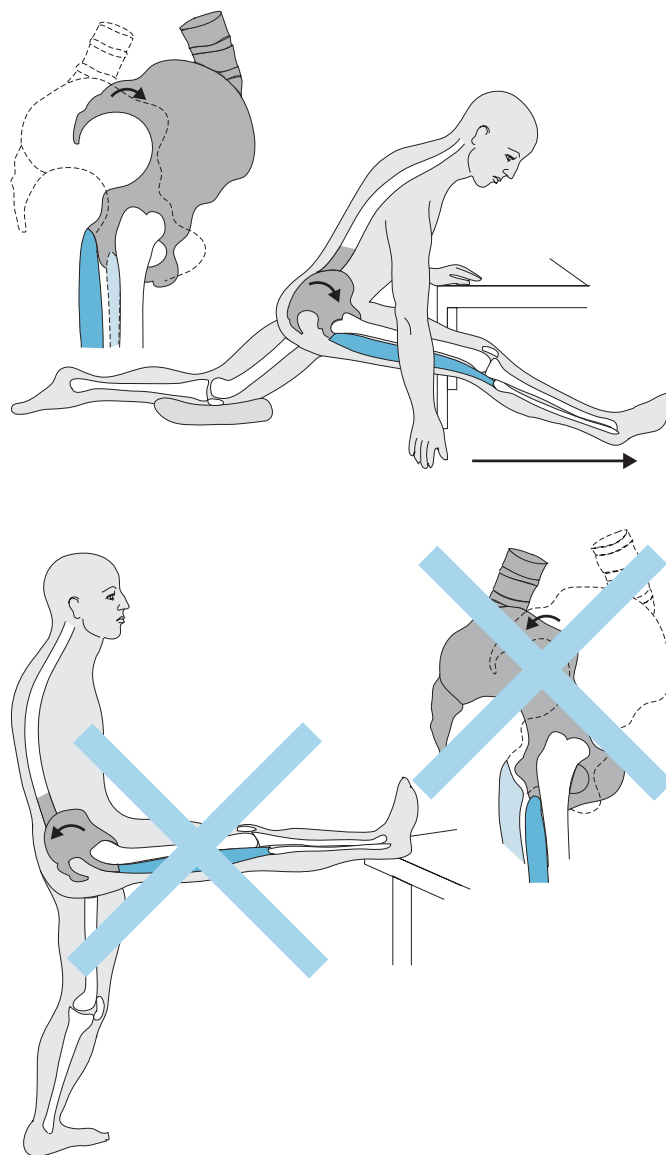


Abb. 4 Dehnung der Ischiokruralmuskeln.

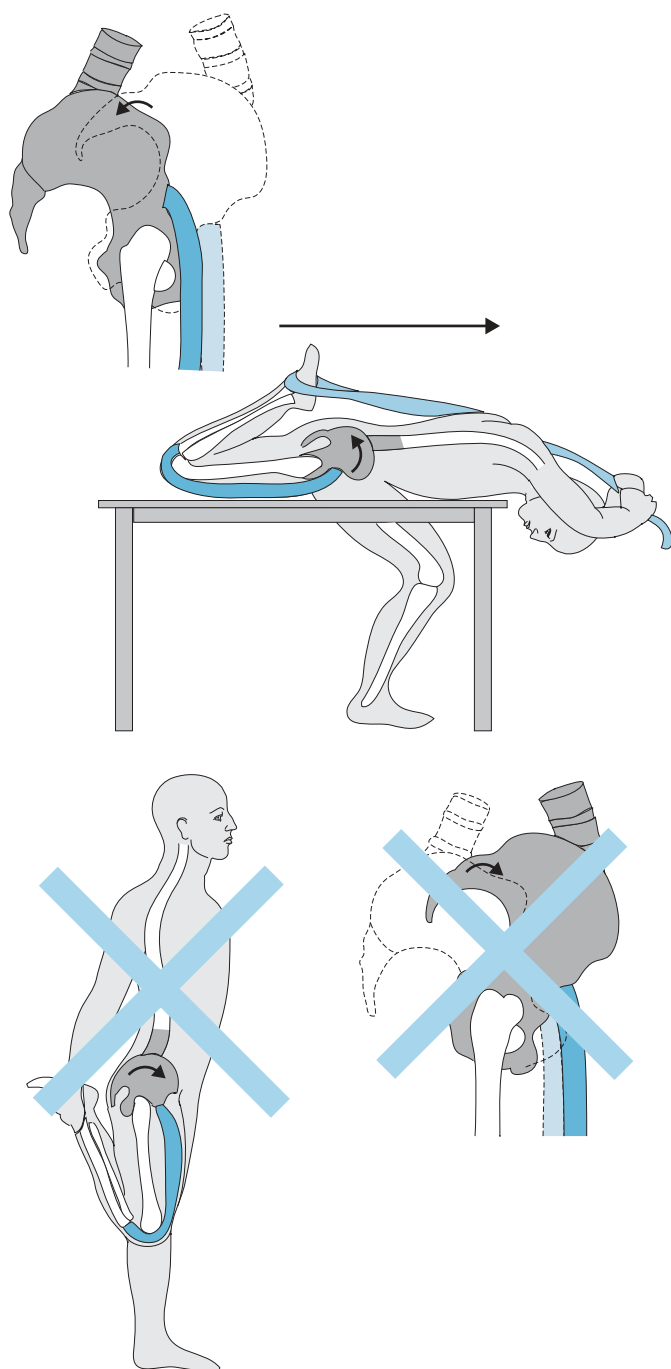


Abb. 5 Dehnung des M. rectus femoris.

geschützt ist, birgt die Behandlung des beitragenden Faktors in sich ein beträchtliches Risiko, das zugrunde liegende Problem zu verschlimmern oder wieder aufflammen zu lassen.

Zur Illustration dieses Beispiel dienen die Dehnungstechniken, bei denen das Konzept relativer Flexibilität [41] und passives vorheriges Positionieren [28] angewendet werden, um den unteren Rücken zu schützen (Abb. 4 u. 5).

Bei unserem Bemühen, die Neurophysiologie von Behandlungswirkungen besser zu verstehen und unseren klinischen Behandlungen eine solidere wissenschaftliche Grundlage zu verleihen,

sollten wir nicht vergessen, auch da, wo die Dinge einfach scheinen, die grundlegenden Regeln der Physik und Biomechanik anzuwenden.

## Literatur

- Anderson R, Anderson J. Stretching. Bolinas California: Shelter Publications, 1980
- Antonio J, Gonyea WJ. Progressive stretch overload of skeletal muscle results in hypertrophy before hyperplasia. *J Appl Physiol* 1993; 75: 1263 – 1271
- Antonio J, Gonyea WJ. Role of muscle fiber hypertrophy and hyperplasia in intermittently stretched avian muscle. *J Appl Physiol* 1993; 74: 1893 – 1898
- Behm DG, Bambury A, Cahill F et al. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time and movement time. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 35: 1397 – 1402
- Bixler B, Jones RL. High-school football injuries: effects of a post-half-time warm-up and stretching routine. *Family Practice Research Journal* 1992; 12: 131 – 139
- Bjorklund M, Hamberg J, Crenshaw AG. Sensory adaptation after a 2-week stretching regimen of the rectus femoris muscle. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 1245 – 1250
- Blair SN, Kohl III HW, Goodyear NN. Relative risks for running and exercise injuries: studies in three populations. *Res Q* 1987; 58: 221 – 228
- Brunet ME, Cook SD, Brinker MR et al. A survey of running injuries in 1505 competitive and recreational runners. *J Sports Med Phys Fitness* 1990; 30: 307 – 315
- Chalmers G. Re-examination of the possible role of Golgi tendon organ and muscle spindle reflexes in proprioceptive neuromuscular facilitation muscle stretching. *Sports Biomech* 2004; 3: 159 – 183
- Cowan PMS, McGavin ACT, North ACT. The polypeptide chain configuration of collagen. *Nature* 1955; 176: 1062 – 1064
- Cross KM, Worrell TW. Effects of a static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. *J Athletic Training* 1999; 34: 11 – 14
- Dadebo B, White J, George KP. A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med* 2004; 38: 388 – 394
- de Weijer VC, Gorniak GC, Shamus E. The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003; 33: 727 – 733
- Ekstrand J, Gillquist J, Liljedahl SO. Prevention of soccer injuries. *Am J Sports Med* 1983; 11: 116 – 120
- Ekstrand J, Gillquist J, Moller M et al. Incidence of soccer injuries and their relation to training and team success. *Am J Sports Med* 1983; 11: 63 – 67
- Evetovich TK, Nauman NJ, Conley DS et al. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *J Strength Cond Res* 2003; 17: 484 – 488
- Evjenth O, Hamberg J. *Muscle Stretching in Manual Therapy*. Vol. 1 u. 2. Alfta, 1988
- Evjenth O. *Autostretching*. Alfta, 1991
- Garrett WE Jr. Muscle strain injuries. *Am J Sports Med* 1996; 24: S2 – S8
- Goldspink G. Zelluläre und muskuläre Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels. In: Komi, PV (Hrsg). *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln: Dt. Ärzteverlag, 1994
- Guissard N, Duchateau J. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve* 2004; 29: 248 – 255
- Halbertsma JP, Goeken LN. Stretching exercises: effect on passive extensibility and stiffness in short hamstrings of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75: 976 – 981
- Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sport Med* 1999; 27: 173 – 176

- <sup>24</sup> Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ* 2002; 325: 468
- <sup>25</sup> Janda V. *Muskelfunktionsdiagnostik*. Heidelberg: Vfm, 1979
- <sup>26</sup> Jones BH, Cowan DN, Tomlinson JP et al. Epidemiology of injuries associated with physical training among young men in the army. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25: 197–203
- <sup>27</sup> Klee A, Jöllenbeck T, Wiemann K. The significance of titin filaments to resting tension and posture. In: Hong Y (ed). *International Research in Sports Biomechanics*. Taylor & Francis, 2001
- <sup>28</sup> Klein-Vogelbach S. *Funktionelle Bewegungslehre*. Heidelberg: Springer, 1982
- <sup>29</sup> Knudson D, Bennett K, Corn R et al. Acute effects of stretching are not evident in the kinematics of the vertical jump. *J Strength Cond Res* 2001; 15: 98–101
- <sup>30</sup> Lund H, Vestergaard-Poulsen P, Kanstrup IL et al. The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 1998; 8: 216–221
- <sup>31</sup> Macera CA, Pate RP, Powell KE et al. Predicting lower extremity injuries among habitual runners. *Arch Intern Med* 1989; 149: 2565–2568
- <sup>32</sup> Magid AD, Law DJ. Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscles. *Science* 1985; 230: 1280–1282
- <sup>33</sup> Magnusson SP, Simonsen EB, Aagard P et al. Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil* 1996; 77: 373–378
- <sup>34</sup> Maruyama K, Yoshioka T, Higuchi H et al. Connectin filaments link thick filaments and Z-lines in frog skeletal muscle as revealed by immunoelectron microscopy. *The Journal of Cell Biology* 1985; 101: 2167–2172
- <sup>35</sup> Maruyama K, Matsuno A, Higuchi H et al. Behavior of connectin (titin) and nebulin in skinned muscle fibres released after extreme stretch as revealed by immunoelectron microscopy. *J Musc Res Cell Motil* 1989; 10: 350–359
- <sup>36</sup> Maruyama K, Sawada H, Kimuras S et al. Connectin filaments in stretched skinned fibers of frog skeletal muscle. *The Journal of Cell Biology* 1994; 99: 1391–1397
- <sup>37</sup> van Mechelen W, Strobil H, Kemper HC et al. Prevention of running injuries by warming-up, cool-down, and stretching exercises. *Am J Sports Med* 1993; 21: 711–719
- <sup>38</sup> Pope RP, Herbert RD, Kilwan ID. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in army recruits. *Australian J Physiother* 1998; 44: 165–177
- <sup>39</sup> Pope RP, Herbert RD, Kirwan JD et al. A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 271–277
- <sup>40</sup> Power K, Behm D, Cahill F et al. An Acute Bout of Static Stretching: Effects on Force and Jumping Performance. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36: 1389–1396
- <sup>41</sup> Sahrman S. *Diagnosis and Treatment of Movement Impairment Syndromes*. St. Louis: Mosby, 2001
- <sup>42</sup> Schmidt RF, Thews G, eds. *Physiologie des Menschen (Human Physiology)*. Heidelberg: Springer, 1977
- <sup>43</sup> Shellock FG, Prentice WE. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med* 1985; 2: 267–278
- <sup>44</sup> Shrier I. Stretching before exercise: an evidence based approach. *Br J Sports Med* 2000; 34: 324–325
- <sup>45</sup> Smith LL, Brunetz MH, Chenier TC et al. The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase. *Res Q Exerc Sport* 1993; 64: 103–107
- <sup>46</sup> Walshe AD, Wilson GJ. The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Can J Appl Physiol* 1997; 22: 117–132
- <sup>47</sup> Walter SO, Hart LE, Macintosh IM et al. The Ontario cohort study of running related injuries. *Arch Intern Med* 1989; 149: 2561–2564
- <sup>48</sup> Wang K, McCarter R, Wright J et al. Regulation of skeletal muscle stiffness and elasticity by titin isoforms: A test of the segmental extension model of resting tension. *Proc Natl Acad Sci (USA)* 1991; 88: 7101–7105
- <sup>49</sup> Wang K, McCarter R, Wright J et al. Viscoelasticity of the sarcomere matrix of skeletal muscles – The titin-myosin composite filament is a dual-stage molecular spring. *Biophys J* 1993; 64: 1161–1177
- <sup>50</sup> Wiemann K. Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In: Hoster M, Nepper HU (eds). *Dehnen und Mobilisieren*. Waldenburg: Waldenburger Therapietage, 1994
- <sup>51</sup> Wiemann K, Kamphöfner M. Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischem Training? *Dtsch Zschr f Sportmedizin* 1995; 46: 9
- <sup>52</sup> Wiemann K, Klee A, Stratmann M. Filamentäre Quellen der Muskel-Ruhespannung und die Behandlung muskulärer Dysbalancen (Fibrillar sources of the muscle resting tension and the therapy of muscular imbalances). *Zeitschr f Physiotherapeuten* 1999; 4: 628–640
- <sup>53</sup> Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L et al. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med* 2004; 34: 443–449
- <sup>54</sup> Young WB, Behm AG. Should static stretching be used during a warm-up for strength and power activities? *Strength Cond I* 2003; 24: 33–37