

(Aus: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 46. Jg. (1995) 9: 411-421)

K. Wiemann und M. Kamphöfner

Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischem Training?

Does preexercise static stretching prevent muscle soreness after eccentric training?

Zusammenfassung

Dehnungsübungen werden häufig als Maßnahmen zur Vorbereitung des Muskels auf Kraftbeanspruchungen empfohlen, um Muskelbeschwerden vorzubeugen. Zur Prüfung dieses Wirkungszusammenhanges wurde an 24 weiblichen Vpn untersucht, ob statisches Dehnen das Entstehen von Muskelkater beeinflusst: Vor jedem der 5 Sätze einer exzentrischen Beanspruchung des M. rectus femoris *beider* Beine (je Satz 30 Wiederholungen) wurde ein 3 min-Dauerdehnen des M. rectus femoris *eines* Beines praktiziert. An den 7 folgenden Tagen hatten die Vpn die Intensität des Muskelkaters für beide Beine getrennt abzuschätzen (Skala von 0 bis 5). Als Ergebnis zeigte sich, daß im Mittel der Muskelkater im gedehnten Bein höher eingestuft wurde als im Kontrollbein. Als Ursachen werden mechanische und neuronale Wirkungen sowie Änderungen der Ca^{2+} -Konzentration diskutiert. Es kann gefolgert werden, daß (kurzfristige) Dehnübungen, unmittelbar vor Kraftbeanspruchungen durchgeführt, die Gefahr von Muskelbeschwerden eher steigern als vermindern.

Schlüsselwörter: Dehnen, Krafttraining, Muskelkater

Summary

Stretching is a common measure to prepare for resistance training in order to prevent muscle injuries. To examine the effect of preexercise static stretching on delayed onset muscle soreness (DOMS) 24 female subjects performed a two-legged eccentric exercise (5 sets, 30 repetitions per set) of the rectus femoris muscle (rf). Before each set subjects had to execute a 3 min lasting static stretching of the rf of one leg only. From the first to the 7th day after exercise DOMS was scored on a scale from 0 to 5 once per day. Significant higher median DOMS scores were found in the stretched leg compared to the control leg throughout all 7 days. These results can be attributed to mechanical or neuronal influences or to changes of the intrasarcoplasmatic Ca^{2+} -proportion. The findings suggest that preexercise stretching may promote muscle soreness rather than diminish it.

Keywords: delayed onset muscle soreness, eccentric exercise, stretching

Einleitung

Dehnungsübungen, vor allem Maßnahmen des statischen Stretchings, sind inzwischen fester Bestandteil jeglicher Aufwärmprogramme zur Vorbereitung auf muskuläre Beanspruchungen. In der Regel geht man beim Einsatz von Dehnübungen von der Erwartung aus, daß eine gute Dehnfähigkeit die Wahrscheinlichkeit reduziert, im Laufe anstehender sportlicher Betätigung Muskelverletzungen zu erleiden (12, 13, 22, 23). Aus diesem Grunde wird empfohlen, sowohl durch regelmäßiges Dehnen die Muskeln ständig dehnfähig zu erhalten bzw. ihre Dehnfähigkeit zu verbessern (= Langzeitmaßnahme), als auch durch Dehnen in der warm-up-Phase unmittelbar vor sportlicher Betätigung (= Kurzzeitmaßnahme) Verletzungen vorzubeugen (6, 20).

Es ist jedoch vergleichsweise schwierig, den Zusammenhang von gesteigerter Dehnfähigkeit und Elastizität der Muskeln und verminderter Verletzungsanfälligkeit nachzuweisen. Zu dieser Fragestellung untersuchte SOMMER (25) 57 Läuferinnen und 241 Läufer und stellte fest, daß Läufer, die über mehrere Jahre regelmäßig ein Lauftraining absolvierten, vermehrt unter „Muskelverkürzungen“ zu leiden hatten. SOMMER empfiehlt zwar Läufern, regelmäßig Stretching durchzuführen, er kann aber in keinem Fall eindeutig nachweisen, daß Stretching das Auftreten von Muskelbeschwerden reduziert. Weitere Studien zum Zusammenhang von Stretching und Verletzungsprophylaxe sind nicht bekannt. Experimentell läßt sich das Problem ohnehin nicht lösen; denn es verbietet sich aus ethischen Gründen, im Experiment Muskelverletzungen zu provozieren.

Ein Ausweg aus diesem Dilemma scheint sich jedoch anzubieten, indem man das Phänomen des Muskelkaters berücksichtigt, ein Beschwerdebild, das nahezu alltäglich im Trainingsprozeß nach starker muskulärer Beanspruchung auftritt. In Muskeln, die unter Muskelkater leiden, wurden strukturelle Veränderungen gefunden, die mit Mikrotraumen gleichgesetzt werden können, nämlich Erweiterungen, Zerrungen oder Zerreißen der Z-Scheiben der Sarkomere (5, 14, 17), Schädigungen des sarkoplasmatischen Reticulums, des Sarkolemms und des die Muskelfaser umgebenden Gewebes (1, 2, 4, 8, 10). Die Art der mit dem Muskelkater verbundenen Mikrotraumen läßt es gerechtfertigt erscheinen, im Experiment Muskelkater als „nicht pathologisches“ Modell von Muskelverletzungen, wie Zerrungen und Muskelfaserrissen, zu benutzen. Ließe sich experimentell ein positiver oder negativer Effekt von Dehnungsübungen auf das Entstehen von Muskelkater nachweisen, wäre damit unter Einschränkungen eine Übertragung auf das Problem der Verletzungsprophylaxe erlaubt.

Es lassen sich jedoch nur wenige Untersuchungen über den Zusammenhang von Dehnen bzw. Stretching und Muskelkater finden. BUROKER und SCHWANE (7) stellten fest, daß Dehnübungen, nach exzentrischem Training mit dem beanspruchten Muskel durchgeführt, das Entstehen von Muskelkater nicht verhindern. HIGH et al. (16)

ließen Versuchspersonen (Vpn) mit dem einen Bein exzentrisch, mit dem anderen konzentrisch arbeiten und stellten im exzentrisch arbeitenden Bein höhere Werte von Muskelkater fest. Diese Differenzen bestanden unabhängig davon, ob vorher Dehnübungen und Aufwärmprogramme durchgeführt wurden oder nicht.

SMITH et al. (24) konnten schon allein durch statische oder ballistische Dehnungsübungen Muskelkater erzeugen. Allerdings gehen die Autoren nicht auf spezifische Muskeln und ihre Dehnungsbelastung ein, und die Tatsache, daß trotz der geringeren Anzahl der Dehnungen pro Muskel Muskelkater erschien, lassen Fragen zum allgemeinen Trainingszustand der Vpn aufkommen.

In der vorliegenden Studie sollte geprüft werden, ob Muskeldehnungen, die vor und zwischen den einzelnen Sätzen eines Krafttrainings mit Betonung der exzentrischen Phase der Übungsform durchgeführt wurden, einen Einfluß auf das Entstehen von Muskelkater ausüben.

Methoden

Versuchspersonen: Am Experiment beteiligten sich 24 weibliche Mitglieder einer Freizeit-Gymnastikgruppe im Alter zwischen 25 und 45 Jahren. Um die Stichprobe möglichst homogen zu halten, wurden nur Vpn zum Test zugelassen, die (nach dem BROCA-Index) weder über- noch untergewichtig waren und regelmäßig (ein- bis zweimal pro Woche) an der Gymnastik teilnahmen, nicht aber ein zusätzliches sportliches Training absolvierten. Alle Vpn waren gesund und ließen keine Muskelschwächen oder Muskelerkrankungen erkennen. Vor dem Experiment wurden die Vpn über die einzelnen Maßnahmen informiert und ihnen die Teilnahme freigestellt.

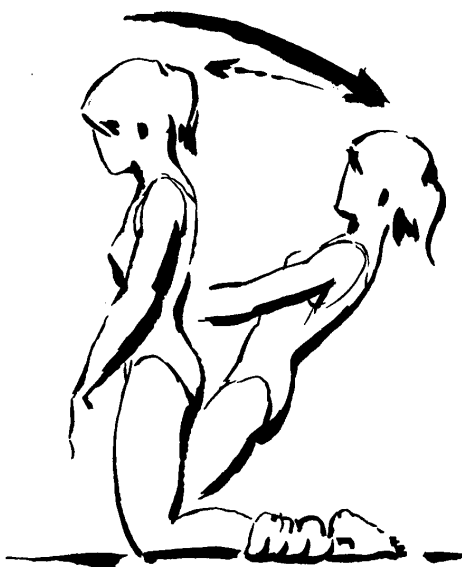


Abb. 1: Kraftbeanspruchungsform für den M. rectus femoris mit Betonung der exzentrischen Phase

Trainingsmaßnahme: Als muskuläre Belastung wurde ein exzentrisches Training für die Hüftbeugemuskulatur durchgeführt, in dessen Verlauf besonders der M. rectus

femoris in stark gedehnter Situation beansprucht wurde, eine Übung, die bisher nicht zum Übungsrepertoire der Gruppe gehörte: Aus dem aufrechten Kniestand war der Körper mit gestreckter Hüfte zügig bis schwingvoll rückwärts zu bewegen. In einer Position, die gerade noch bewältigt werden konnte, mußte die Bewegung abgefangen und der Körper wieder in die Senkrechte gehoben werden (Abb. 1). Diese Bewegung war 30mal unmittelbar hintereinander zu wiederholen (= 1 Satz).

Dehnungsmaßnahme: Vor jedem Krafttrainingssatz wurde für den M. rectus femoris eines Beines eine dreiminütige Dehnung realisiert. Da in der vorliegenden Stichprobe eine eindeutige Bestimmung des dominanten Beines nicht möglich war, wurde per Zufall bestimmt, ob das rechte oder das linke Bein zu dehnen war (= Versuchsbein). Das jeweils kontralaterale Bein diente als Kontrollbein. Zur passiven Dehnung des M. rectus femoris knieten die Vpn auf dem Versuchsbein (aufrechter Rumpf, leicht überstreckte Hüfte, das Kontrollbein stellte die Vpn mit rechtem Kniewinkel vor den Körper auf den Boden), ergriffen mit der ipsilateralen Hand das Fußgelenk des Versuchsbeines und zogen die Ferse zum Gesäß hin, wobei das Knie des kontralateralen Beines leicht vorgeschoben wurde (Abb. 2, links). Da einige Vpn (trotz Nutzung einer Gymnastikmatte) Druckschmerzen im stützenden Knie verspürten und/oder Probleme hatten, in dieser Position das Gleichgewicht zu halten, konnte alternativ nachfolgende Dehnungsübung realisiert werden: Im aufrechten Stand (evtl. mit Abstützen der kontralateralen Hand an einer Sprossenwand) wurde das Fußgelenk des Versuchsbeines mit der ipsilateralen Hand gefaßt und bei leicht überstrecktem Hüftgelenk in Richtung Gesäß gezogen (Abb. 2, rechts). Beide Dehnübungen gehörten zwar zum Repertoire der Gymnastikgruppe, wurden bisher jedoch nur als 10 - 20 s dauerndes statisches Stretching realisiert.

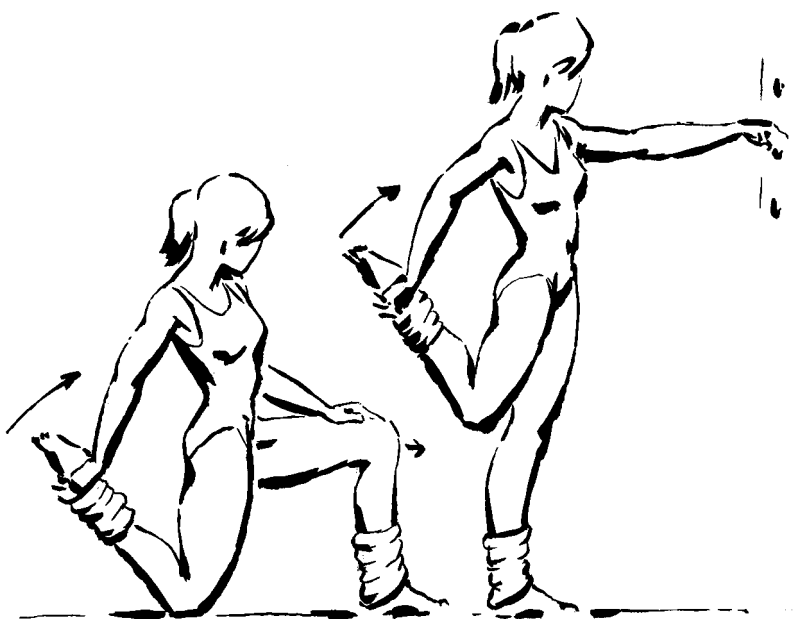


Abb. 2: Dehnungsübungen (Dauerdehnen) für den M. rectus femoris

Um beim Ausführen des Dehnens ähnliche dynamische Spannungsbelastungen der Muskelfasern, wie sie für das exzentrische Training charakteristisch sind, möglichst zu vermeiden, wurde das Dehnen in Form eines dreiminütigen Dauerdehnens praktiziert: Durch langsam ansteigendes Einnehmen der Dehnstellung tasteten sich die Vpn bis zu demjenigen Dehnungsgrad vor, bei dem auf der Oberschenkelvorderseite zwar ein deutliches Spannungsgefühl, aber noch keine Schmerzen auftraten. Nach Gewöhnung an die auftretenden Spannungen konnte die Dehnstellung im Laufe des Dauerdehnens anpassend vertieft werden. Diese Dauerdehnung war einmal vor jedem Krafttrainingsatz zu absolvieren.

Versuchsablauf: Nach einem einleitenden 10minütigen Aufwärmprogramm, das keine Dehnübungen für die Beinmuskulatur enthielt, wurden die Vpn per Zufall auf die beiden Gruppen verteilt, die das rechte bzw. das linke Bein zu dehnen hatten. Nach einer 5minütigen Einführung in die Dehn- und Krafttrainingsübung absolvierten die Vpn im Wechsel 5 mal je ein Dauerdehnen (s.o.) und einen Satz des exzentrischen Krafttrainings, wobei zwischen Krafttraining und Dehnen eine einminütige Entspannungspause eingeschoben war. Nach Abschluß des praktischen Teils folgte eine Erläuterung des Auswertebogens zur Abschätzung des Muskelkaters.

Einschätzung des Muskelkaters: Ab dem ersten Tag nach dem Training hatten die Vpn für 7 Tage (je einmal pro Tag) den aufgetretenen Muskelkater in der Intensität zu schätzen bzw. die Intensität im Versuchs- und Kontrollbein zu vergleichen. Dazu hatten sie Gelegenheit, ihren Eindruck in eine Werteskala von 0 bis 5 einzutragen, wobei der Wert 0 „keinerlei Muskelkater“, der Wert 5 „unerträglich starker Muskelkater“ bedeutete. Die einzelnen Stufen wurden nicht weiter definiert, da ein korrekter intersubjektiver Vergleich nicht von Bedeutung war, sondern der intrasubjektive Vergleich des gedehnten zum nicht gedehnten Bein im Vordergrund stand.

Statistische Analyse: Da die Bewertung des Muskelkaters ordinalskaliert erfolgte, war zur Kennzeichnung der zentralen Tendenzen der Stichprobe der *Median* und als Streuungsmaß das *mittlere Quartil* (14) zu verwenden. Zum Vergleich der Intensität des Muskelkaters pro Bein und Tag wurde der *Wilcoxon-Test* (14) benutzt.

Ergebnisse:

Alle am Experiment beteiligten Vpn verspürten an mindestens zwei der folgenden Tage Muskelkater im vorderen Bereich der Oberschenkel. Die meisten Vpn (15 von 24) bewerteten ihn mit der höchsten Intensitätsnote, während nur 2 Vpn den Muskelkater mit der Note 1 beurteilten. Generell wurde der Muskelkater am 2. Tag nach dem Training am stärksten eingeschätzt (Tabelle), während am ersten Tag 2 Vpn noch keinen Muskelkater verspürten (Abb. 3 und Tabelle) und am 7. Tag bei 9 Vpn der Muskelkater noch nicht völlig abgeklungen war. Generell waren die täglichen Intensitätsänderungen des Muskelkaters (Anstieg bis zum 2. Tag, dann Abnahme) sowohl im Versuchsbein als auch im Kontrollbein hoch signifikant ($p < 0,01$).

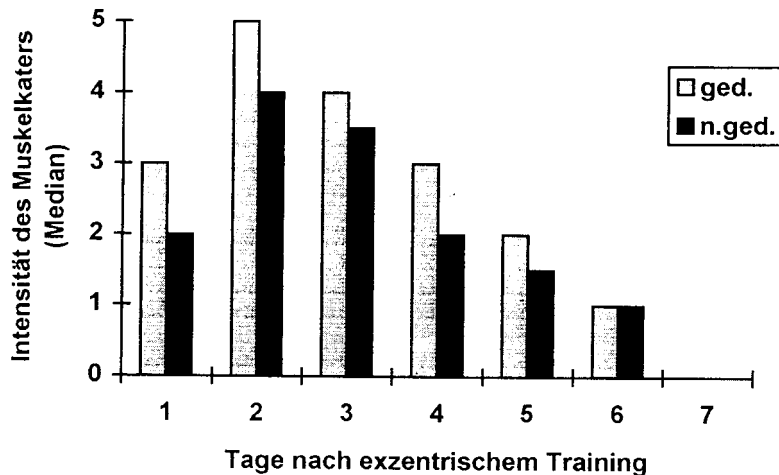


Abb. 3: Intensität des Muskelkaters (Median von 24 Vpn) im gedehnten (ged.) und im nicht gedehnten (n.ged.) Bein 1 - 7 Tage nach Krafttraining

Beim Vergleich der Intensität des Muskelkaters von Versuchs- und Kontrollbein stellte sich heraus, daß im Mittel an allen Tagen die Intensität des Muskelkaters im gedehnten Bein höher bewertet wurde (Tabelle). Im einzelnen beurteilten von den 24 Vpn 13 Vpn den Muskelkater im gedehnten Bein mindestens an einem Tag stärker als im nicht gedehnten Bein. Bei 9 Vpn erhielt der Muskelkater beider Beine über alle Tage die gleiche Bewertung, während nur 2 Vpn mindestens an einem Tag im nicht gedehnten Bein stärkeren Muskelkater empfanden als im gedehnten Bein. Keine der Vpn, die an mindestens einem Tag in *einem* Bein intensiveren Muskelkater identifizierten, bewerteten an irgendeinem Tag den Muskelkater des *anderen* Beines als stärker.

Tabelle: Häufigkeit (von $n = 24$), Median und mittleres Quartil der Einschätzung von Muskelkater in 6 Intensitätsstufen vom 1. bis zum 7. Tag nach Krafttraining für das gedehnte (g) und das nicht gedehnte Bein (ng) sowie Signifikanzniveau des Unterschiedes der Intensität von Muskelkater im gedehnten und nicht gedehnten Bein nach WILCOXON-Test

Intensitätsstufe des Muskelkaters	Häufigkeit der Einschätzung pro Tag und Bein													
	1. Tag		2. Tag		3. Tag		4. Tag		5. Tag		6. Tag		7. Tag	
	g	ng	g	ng	g	ng	g	ng	g	ng	g	ng	g	ng
0	2	2	0	0	0	0	2	2	4	6	8	11	15	21
1	2	5	2	2	2	4	0	4	4	6	6	7	9	3
2	6	9	0	2	2	2	6	8	5	5	6	5	0	0
3	10	4	3	4	3	6	6	5	5	5	4	1	0	0
4	4	4	6	9	8	8	10	5	6	2	0	0	0	0
5	0	0	13	7	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Median	3,2	2,56	5,08	4,44	4,63	4	3,67	2,75	2,8	2	1,67	1,14	0,8	0,57
mittleres Quartil	0,74	0,85	0,69	0,82	0,83	0,88	0,87	0,9	1,25	1,1	0,96	0,73	0,47	0,29

WILCOXON-Test: Unterschied zwischen gedehntem und nichtgedehntem Bein

Signifikanzniveau:

$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,05$
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Als Ergebnis der Prüfstatistik ist die Nullhypothese zu verwerfen und die Alternativhypothese anzunehmen, die einen Einfluß des statischen Stretchings auf das Entstehen von Muskelkater erwartet.

Diskussion

Das vorliegende Ergebnis stellt die Auffassung in Frage, Dehnungsmaßnahmen könnten, integriert in ein Aufwärmprogramm, das direkt einer muskulären Kraftbeanspruchung vorangestellt wird, vor akuten Muskelbeschwerden schützen. Während HIGH & HOWLEY (16) weder durch statisches Stretching noch durch Aufwärmen das Entstehen von Muskelkater verhindern konnten, ist im vorliegenden Test der Muskelkater sogar im gedehnten Bein stärker als im nicht gedehnten Bein. Diese Befunde stimmen ebenfalls mit den Ergebnissen von SMITH et al. (24) überein, wenn auch aufgrund der oben geäußerten Bedenken nur bedingt.

Als Gründe für das vorliegende Testergebnis mögen sowohl mechanische Phänomene, die mit dem Dehnen verbunden sind, in Frage kommen, als auch Änderungen der Ionenkonzentration und/oder neurophysiologische Verursachungen. Wenn im folgenden diese Faktoren getrennt voneinander behandelt werden, sollen dabei mögliche Interaktionen (einander hemmend oder fördernd) nicht in Abrede gestellt werden.

Mechanische Faktoren: Dehnt man passive Muskeln, überträgt sich die dehnende Spannung auf dem Wege über die Sehnenfibrillen, die Faserhüllen und das Sarkolemm auf das innerplasmatische Strukturgitter. Auf diese Weise werden die Sarkomere der Myofibrillen gedehnt, wobei die von der Z-Scheibe bis zur M-Scheibe reichenden Connectin-(Titin-)filamente, die zwischen der Z-Scheibe und den Spitzen der Myosinfilamente einen elastischen Abschnitt besitzen (27), gespannt werden. Es ist denkbar, daß die in den Titinfilamenten bei extremen Dehnungsausmaßen auftretenden Spannungen ähnlich auf die Z-Scheiben wirken, wie hohe Kontraktionskräfte, speziell bei exzentrischen Kontraktionen. Auf diese Weise könnten starke dehnende Spannungen zu ähnlichen strukturellen Defekten der Z-Scheiben (mit den einen Muskelkater-Schmerz hervorrufenden metabolischen Begleiterscheinungen) führen wie Kontraktionsspannungen. Diese Erklärung könnte eine Begründung für die von SMITH et al. (24) gelieferten Befunde darstellen, wonach Dehnungen allein schon Muskelkater hervorzurufen vermögen. Ob diese Erklärung auch für die vorliegende Untersuchung zutrifft, muß bezweifelt werden, da der Dehnvorgang entsprechend sanft (mit einer niedrigen Längenänderungsrate, $\Delta l/l \cdot s^{-1}$), dazu vor jedem Krafttrainingssatz nur *einmal*, vorgenommenen wurde.

Ionenkonzentration: Mit zunehmender Dehnung der Muskelfaserhülle erhöht sich laut ARMSTRONG et al. (3) der Ca^{2+} -Gehalt der Faser, was auf einen Ca^{2+} -Einstrom aus

dem extrazellulären Raum zurückgeführt wird. Da im vorliegenden Versuch ein 3 min anhaltendes Dauerdehnen die Muskelfaserhüllen in der den Ca^{2+} -Einstrom begünstigenden Situation fixierte, könnte man eine entsprechende Ca^{2+} -Anreicherung im Sarkoplasma erwarten. Werden die gedehnten Fasern direkt anschließend zur Durchführung exzentrischer Kontraktionen innerviert, mögen sich die durch die Innervation aus dem sarkoplasmatischen Retikulum freigesetzten Ca^{2+} -Ionen zu den schon aus dem extrazellulären Raum eingeströmten addieren und auf diese Weise (im vorher gedehnten Muskel) zu einer höheren Rate von Querbrücken und damit verbunden zu einer stärkeren Belastung der Z-Scheiben führen als im nicht vorge-dehnten Muskel. Der im vorliegenden Versuch verstärkt im gedehnten Bein auftretende Muskelkater könnte somit eine Erklärung finden. Tatsächlich fanden wir in noch nicht veröffentlichten Tests, daß die ischiokruralen Muskeln in einer mittleren Länge unmittelbar nach einer Dehnung höhere Kontraktionskräfte freisetzen als vor der Dehnung. Allerdings kann nicht zweifelsfrei entschieden werden, ob dieser Befund auf einer erhöhten Ca^{2+} -Ionenkonzentration oder auf neuronalen Potenzierungsvorgängen beruht.

Neuronale Nacheffekte: Sowohl tetanische Kontraktionen als auch Dehnungen hinterlassen im neuromuskulären System Zustandsänderungen (Nacheffekte), die über mehrere Sekunden bis Minuten erhalten bleiben und das neuromuskuläre Verhalten bei nachfolgenden Kontraktionen oder Dehnungen beeinflussen können. Diese Zustandsänderungen betreffen in erster Linie das Entladungsverhalten der intramuskulären Afferenzen, wodurch die Erregbarkeit der α -Motoneurone verändert wird. Im einzelnen zeigen Ia-Fasern nach tetanischen Kontraktionen erhöhte Entladungsraten (26) oder sie reagieren auf eine Dehnung, die einer tetanischen Kontraktion folgt, mit erhöhten Entladungsraten (19, 21). Die gesteigerte Dehnungsempfindlichkeit der Dehnungsrezeptoren führt (nach tetanischer Kontraktion) zu einer Erhöhung der Amplitude des Dehnungsreflexes (10). Überträgt man diese Befunde auf die vorliegenden Versuchsbedingungen, ließen sich zwei Wirkungszusammenhänge annehmen:

1. Die überdauernde dehnungsbedingte Erhöhung der Ia-Entladung steigert im Versuchsbein die Erregbarkeit der α -Motoneurone, so daß sie bei einer nachfolgenden Kontraktion auf eine gegebene supraspinale Innervation mit einer ebenfalls erhöhten Entladung reagieren und somit die Muskelfasern zu einer intensiveren Kontraktion anregen als im Kontrollbein.
2. Die posttetanische Erhöhung der Ia-Entladung und die posttetanische Verminderung der Latenzzeit der Ia-Rezeptoren hat zur Folge, daß die Ia-Rezeptoren auf eine der Kontraktion folgenden Dehnung mit erhöhten Entladungen reagieren und auf diese Weise durch Verstärkung der monosynaptischen Reflexantwort zu einer höheren Dehnungsspannung führen.

Für die erste Annahme könnten eigene Befunde aus noch nicht veröffentlichten Tests eine Bestätigung liefern, bei denen sich zeigte, daß das EMG einer maximalen isometrischen Willkürkontraktion (MVC), realisiert in einem mittleren Dehnungszustand nach einer Dehnung bzw. nach einer Kontraktion in einem gedehnten Zustand, höhere Amplituden zeigt als im Vortest bzw. unter Kontrollbedingungen. Die zweite Annahme müßte sich auch elektromyografisch bestätigen lassen. Allerdings konnten wir zumindest nach 15minütigem konzentrischem Krafttraining der ischiokruralen Muskeln keine Veränderung der Reflexantworten während einer nachfolgenden Dehnung der ischiokruralen Muskeln finden (29). Da sich das im vorliegenden Versuch praktizierte Dauerdehnen durch nur sehr niedrige Längenänderungen, statt dessen durch eine ausgeprägte statische Phase auszeichnete, mag das posttetanische Verhalten der Ia-Rezeptoren weniger bedeutungsvoll für die Reflex-Antworten auf das Dehnen gewesen sein als das posttetanische Verhalten der II-Rezeptoren. Diese waren in den Experimenten von NELSON & HUTTON (19) nach tetanischer Kontraktion unerregbar oder zeigten eine reduzierte Erregbarkeit, woraus zwangsläufig eine verminderte reflektorische Antwort des gedehnten Muskels resultieren müßte. Somit kann zumindest über die Reaktion der statischen Dehnungsrezeptoren keine Erklärung für den erhöhten Muskelkater im gedehnten Bein gefunden werden.

Allerdings zeigen auch die Golgi-Rezeptoren bzw. die Ib-Afferenzen posttetanische Effekte. Nach HUTTON & NELSON (18) sind Ib-Rezeptoren nach tetanischer Kontraktion für eine Zeitdauer von 10 s bis zu mehreren Minuten weniger empfindlich für Dehnungsreize. Bei einer der Kontraktion folgenden Dehnung müßte demnach durch die Wirkungsverminderung des Reflexes der autogenen Inhibition die homonymen α -Motoneurone einen Zustand höherer Erregbarkeit besitzen, demnach während der Dehnung stärker auf dehnungsbedingte Ia- bzw. II-Afferenzen reagieren und auf diese Weise zu einer erhöhten Spannung im gedehnten Muskel führen.

Andererseits können Ib-Rezeptoren nicht zwischen kontraktionsbedingten und dehnungsbedingten Spannungen unterscheiden. Daß letztgenannte Spannungen die gleichen Beträge erreichen können wie kontraktionsbedingte Sehnenspannungen, konnte am Beispiel der ischiokruralen Muskeln gezeigt werden (28). Somit ist anzunehmen, daß im Anschluß an Dehnungen ebenfalls die oben erläuterten Nacheffekte (Verminderung der Ib-Empfindlichkeit) auftreten. Folgen somit einer starken Dehnung tetanische Kontraktionen, könnten die α -Motoneurone, bedingt durch ihre erhöhte Erregbarkeit, stärker auf supraspinale Efferenzen reagieren (s.o.) und zu intensivierten Kontraktionen führen. Dies wäre eine weitere Erklärung des im vorliegenden Test gefundenen verstärkten Muskelkaters in der gedehnten Muskulatur.

Welche dieser Erläuterung für die vorliegenden Befunde zutrifft, muß durch weitere Untersuchungen im einzelnen abgeklärt werden. Wahrscheinlich ist eine Summation mehrerer Effekte.

Schlußfolgerung

Überträgt man die Befunde des vorliegenden Tests über die Beeinflussung des Entstehens von Muskelkater durch Dehnübungen, die unmittelbar vor Kraftbeanspruchungen der Muskulatur durchgeführt werden, auf die Frage der Prävention von Muskelverletzungen, muß vermutet werden, daß **kurzfristige**, im Rahmen von Aufwärmprogrammen durchgeführte Dehnübungen eher einen verletzungsprovokierenden als einen präventiven Einfluß ausüben. Mit dieser Annahme soll die Bedeutung von sinnvoll dosierten Dehnübungen als Teil von Aufwärmprogrammen nicht in Abrede gestellt werden. Allerdings sollten diese Dehnübungen in ihrer Intensität derart dimensioniert sein, daß die dabei auftretenden Dehnungsspannungen deutlich unter dem Niveau kontraktionsbedingter (MVC-)Spannung bleiben. Wenn schon langsam ansteigendes Dauerdehnen das Entstehen von Muskelbeschwerden verstärkt, ist dies von rhythmischen (ballistischen) Dehnungsübungen mit den damit verbundenen schnellen Längenänderungen auch zu erwarten. Andererseits konnte gezeigt werden (15, 28), daß **langfristiges** (10wöchiges) Dehnungstraining die Toleranz der ischiokruralen Muskeln gegenüber Dehnungsspannung deutlich erhöht. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, daß vornehmlich **längerfristige** Dehnungsmaßnahmen eine effektive Verletzungsprophylaxe für die Muskulatur darstellen, vermutlich auf dem Wege über eine Stabilisierung der serienelastischen fibrillären Strukturen.

Literatur

- (1) ABRAHAM, W.M.: Factors in delayed muscle soreness. Med. & Sci. in Sports & Exercise 9 (1977) 1, 11-20.
- (2) APPELL, H.-J., J.M.C SOARES, J.A.R DUARTE,.: Exercise, muscle damage and fatigue. Sports Med. 13 (1992) 2, 108-115.
- (3) ARMSTRONG, R.B., C. DUAN, M.D. DELP, D.A. HAYES, G.M. GLENN, D.G. ALLEN: Elevations in rat soleus muscle [Ca²⁺] with passive stretch. J. of Appl. Phys. 74 (1993), 2990-2998.
- (4) ASMUSSEN, E.: Observations on experimental muscular soreness. Acta physiol. scand. 2 (1956), 109-116.
- (5) BÖNING, D.: Muskelkater - Ursache, Vorbeugung, Behandlung. Dt. Z. f. Sportmed. 38 (1988), Sonderheft, 4-7.
- (6) BUNZ, W.: Bedeutung des Dehnens in der Aufwärmphase. In: HOSTER, M., H.-U. NEPPER (Hrsg.): Dehnen und Mobilisieren. Sport Consult, Waldenburg 1994, 135-139.
- (7) BUROKER, K.C., J.A. SCHWANE: Does postexercise static stretching alleviate delayed muscle soreness? Physician & Sports Medicine 17 (1989) 6, 65-83.
- (8) CLEAK, M.J., R.G. ESTON: Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. Br. J. Sp. Med. 26 (1992), 267-271.
- (9) DENOTH, J., A. STACOFF: Belastung und Beanspruchung der Muskulatur. Einige Überlegungen aus mechanischer Sicht. Sportverletzung und Sportschaden 5 (1991) 1, 17-21.
- (10) ENOKA, R.M., R.S. HUTTON, E. ELDRED: Changes in excitability of tendon tap and Hoffmann reflexes following voluntary contractions. Electromyogr. & clin. Neurophysiol. 48 (1981), 664-672.

- (11) ETNYRE, B.R., E.J. LEE: Comments on proprioceptive neuromuscular facilitation. *Res. quart. for Exerc. & Sport* 58 (1986), 184-188.
- (12) ETNYRE, B.R., E.J. LEE: Chronic and acute flexibility of men and women using different stretching techniques. *Res. quart. for Exerc. & Sports* 59 (1989), 222-228.
- (13) FRIDEN, J., U. KJÖRELL, L.-E. THORNELL: Delayed muscle soreness and cytoskeletal alterations: An immunocytological study in man. *Int. J. of Sports Med.* 5 (1984) 1, 15-18.
- (14) FRÖHLICH, W.D., J. BECKER: *Forschungstatistik*. Bouvier Verlag Herbert Grundmann, Bonn 1972.
- (15) GAJDOSIK, R.L.: Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passiv stretch of short hamstrings muscles. *J. of orthop. & Sports phys. Ther.* 14 (1991) 6, 250-255.
- (16) HIGH, D.M., E.T. HOWLEY, B.D. FRANKS: The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness. *Res. quart. for Exerc. & Sport* 60 (1989), 357-361.
- (17) HOPPELER, H.: *Der Muskelkater - Schaden an der Skelettmuskulatur*. Leistungssport 3 (1991), 5-7.
- (18) HUTTON, R.S., D.L. NELSON: Stretch sensitivity of golgi tendon organs in fatigued gastrocnemius muscle. *Med. & Sci. in Sports & Exerc.* 18 (1986), 69-74.
- (19) NELSON, D.L., R.S. HUTTON: Dynamic and static stretch responses in muscle spindle receptors in fatigued muscle. *Med. & Sci. in Sports & Exerc.* 17 (1985), 445-450.
- (20) REUTER, L.: *Therapie und Prophylaxe bei Verletzungen und Überlastungsschäden im Langstreckenlauf*. Ahrensburg (1987).
- (21) RIBOT-CISCAR, E., M.F. TARDY-GERVET, J.P. VEDELL, J. P. ROLL: Post-contraction changes in human muscle spindle resting discharge and stretch sensitivity. *Exp. Brain Res.* 86 (1991), 673-678.
- (22) SHELLOCK, F.G., W.E. PRENTICE: Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med.* 2 (1985), 267-278.
- (23) SMITH, C.A.: The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. *J. of orthop. & Sports phys. Ther.* 19 (1994) 1, 12-18.
- (24) SMITH, L.L., M.H. BRUNETZ, T.C. CHENIER, M.R. McCAMMON, J.A. HOUMARD, M.E. FRANKLIN, R.G. ISRAEL: The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase. *Res. quart. for Exerc. & Sport* Vol. 64 (1993), 103-107.
- (25) SOMMER, C.: Wer richtig stretcht, läuft länger. *Untersuchung über Muskelverkürzungen bei Läufern* (5). *Läufer* 7 (1990) 6, 40-42.
- (26) SUZUKI, S., R.S. HUTTON: Postcontractile motoneural discharge produced by muscle afferent activation. *Med. & Sci. in Sports & Exerc.* 8 (1976), 258-264.
- (27) TROMBITAS, K., G.H. POLLACK: Elastic properties of the titin filament in the Z-line region of vertebrate striated muscle. *J. of Muscle Res. & Cell Motil.* 14 (1993), 416-422.
- (28) WIEMANN, K.: Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. *Sportwissenschaft* 21 (1991), 295-306.
- (29) WIEMANN, K.: Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In: HOSTER, M., H.-U. NEPPER (Hrsg.): *Dehnen und Mobilisieren*. Sport Consult Waldenburg (1994), 40-71.