

Aus: Sportwissenschaft, 21 (1991) 3: 295-306, ergänzt am 25.02.2004 durch zusätzliche Fußnoten

KLAUS WIEMANN

Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining

1 Vorbemerkung

Die primären Wirkungen, die man in der Regel Dehnungsübungen zuschreibt, sind (1) Vermeidung von Muskelverkürzungen (z.B. DIETRICH 1989, EDER 1988), (2) Beseitigung von Muskelhypertonie (z. B. HANAFI u. a. 1986) oder Verringerung muskulärer Verspannungen (z.B. ANDERSEN 1988), (3) Erweiterung der Bewegungsamplitude in den Gelenken (z.B. DIETRICH u.a. 1985, HANAFI u.a. 1986, MAEHL 1986), (4) Verletzungsprophylaxe (z.B. ETNYRE u.a. 1988, SHELLOCK u.a. 1985) und Erhöhung der Belastungsverträglichkeit (z.B. HANAFI u.a. 1986). Als sekundäres Ziel wird durch die Erfüllung dieser Ziele eine Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit erwartet (z.B. BEAULIEU 1981, ETNYRE u.a. 1988, MAEHL 1986, SHELLOCK u.a. 1985). Bei der Suche nach empirischen Befunden, die Auskunft darüber geben könnten, ob und in welchem Ausmaß sich die genannten Effekte im lebenden Muskel des Menschen durch Dehnungsmaßnahmen verwirklichen lassen, stößt man auf zahlreiche Berichte über die Vergrößerung der Bewegungsreichweite durch unterschiedliche Dehnungsmaßnahmen, und zwar sowohl durch ein langfristiges Training (z.B. HARDY u.a. 1986, HEYTERS u.a. 1989, SADY u.a. 1982) als auch durch kurzfristig wiederholte oder gar singuläre Dehnungsprozeduren (z.B. HENRICSON u.a. 1984, HUBLEY u.a. 1984, MADDING u.a. 1987). Allerdings konnten keine Berichte gefunden werden, die Auskunft über die Veränderung der Ruhespannung des Muskels oder über eine „Verlängerung“ des Muskels (oder die Beseitigung einer Muskelverkürzung) durch Dehnungsmaßnahmen am Menschen gegeben hätten. Deshalb wurde im Rahmen eines vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft geförderten Projekts¹ neben anderen Zielen festzustellen versucht, ob sich neben der Erhöhung der Dehnfähigkeit (gemessen an der Vergrößerung der Bewegungsreichweite) auch andere Effekte eines langfristigen Dehnungstrainings am menschlichen Muskel in vivo nachweisen lassen.

2 Theoretische Grundlegung und Begriffsbestimmung

Es hat den Anschein, als ob die Begriffe „verkürzter Muskel“ und „erhöhte Muskelspannung“ im gleichen Wirkungszusammenhang eingesetzt würden. Um Missverständnissen vorzu-

¹ Das Dehnungsverhalten von Muskeln in vivo und die Wirkung von Dehnungsmaßnahmen im Training am Beispiel der ischiocruralen Muskeln (Projektnummer WF-0407/06/14/90).

beugen, werden im folgenden die hier verwendeten Begriffe festgelegt, indem gleichzeitig eine theoretische Grundlegung der anstehenden Probleme gegeben wird:

Die aktiven und passiven Spannungen, die der Skelettmuskel auf die Skelettansatzpunkte ausübt, resultieren u.a. aus der fibrillären Struktur des Muskels und dem Zellturgor. Werden die beiden Knochenansatzstellen des ruhenden Muskels voneinander entfernt, so wird der Muskel von einer niedrigen aktuellen Muskelmomentanlänge in einen Zustand hoher aktueller Muskelmomentanlänge übergeführt, wobei sich die verschiedenen extrazellulären kollagenen Fibrillen sowie die Elemente des sarkoplasmatischen Strukturgitters (STREET 1983, WANG 1984) straffen: Der Muskel wird gedehnt. Im umgekehrten Fall wird er entdehnt. Von einem bestimmten Dehnungszustand an setzt der ruhende Muskel der dehrenden Wirkung eine Spannung (= Ruhespannung) entgegen, die vornehmlich durch das sarkoplasmatische Strukturgitter in Wechselwirkung mit dem Zellturgor erzeugt wird². Das sarkoplasmatische Strukturgitter ist mit den Sarkomerketten vorwiegend in Serie geschaltet (WANG 1984) und bildet zusammen mit der Sehne, dem Faser-Sehnen-Übergang und - beim aktiven, Querbrücken bildenden Muskel - den Myosinhälsen die serienelastischen Elemente des Muskels. Diese Ruhespannung tritt während eines Dehnungsvorganges erstmalig auf, wenn die Sarkomere bis auf eine Länge von etwa 2,2 μm (MAGID u.a. 1985) gedehnt sind³. Dieser Dehnungszustand wird Gleichgewichtslänge genannt. Die Ruhespannung steigt nicht linear, sondern exponentiell mit der Dehnung an (Abb. 1a). Erst in extremen Dehnungszuständen, nach MAGID u.a. (1985) ab einer Sarkomerlänge von 3,8 μm , beteiligen sich auch die kollagenen Fibrillen der Faserhüllen (Sarkolemm, Perimysium), die den Sarkomerketten parallel geschaltet sind (= parallelelastische Elemente), an der Erzeugung der Ruhespannung. Parallelelastische und serienelastische Elemente sind dafür verantwortlich, daß sich der gedehnte ruhende Muskel nach Verschwinden der äußeren Dehnungsur-sache wieder bis zur Gleichgewichtslänge zusammenzieht.

Beim Muskel in vivo läßt sich - vor allem im Laufe eines Dehnungsvorgangs - die durch die fibrilläre Struktur erzeugte Ruhespannung nicht von Spannungen differenzieren, die von unwillkürlichen, reflektorischen Kontraktionen herrühren. Aus diesem Grunde wird im folgenden der Begriff der Ruhespannung stets auf die Spannung des willkürlich inaktiven (subjektiv entspannten) Muskels angewendet.

Der aktive Muskel erzeugt durch Querbrückenbildung eine Kontraktionskraft, die über die serienelastischen Elemente auf das Skelett übertragen wird. Während der Aktivitätsphase kontrahiert der Muskel je nach dem Verhältnis der Kontraktionskraft zur äußeren Kraft ent-

² Das dem Artikel zu Grunde liegende Projekt wurde zu einer Zeit konzipiert, als die Bedeutung der Titinfilamente für die Erzeugung der Ruhespannung noch nicht anerkannt war.

³ Die vorliegenden Angaben zur Länge des Sarkomers beziehen sich auf die in der biologischen Literatur zu findenden Maße des Froschsarkomers. Die Myofibrillen des menschlichen Muskels besitzen längere Sarkomere, und zwar aufgrund längerer Aktinfilamente (1,3 μm , im Gegensatz zu 0,95 μm beim Frosch und 1,1 μm bei der Ratte; s. WALKER, S.M. & SCHRODT, G.R.: I segment lengths and thin filament periods in skeletal muscle fibers of the rhesus monkey and the human. *Anat. Rec.*, 178 (1973): 63-82)

weder konzentrisch (die Sarkomere verkürzen sich), isometrisch (die Sarkomerlänge bleibt unverändert) oder exzentrisch (die Sarkomere werden gedehnt). In Abhängigkeit vom Grad der Überlappung der Aktin- und Myosinfilamente der Sarkomere (d.h. je nach Sarkomer-Dehnungsgrad: prozentuale Länge des Sarkomers, bezogen auf eine mittlere Länge von $2,1 \mu\text{m}$) erzeugt der Muskel bei maximaler isometrischer Kontraktion unterschiedlich hohe Kontraktionskräfte. Das Maximum liegt bei einer mittleren Sarkomerlänge von $2,1 \mu\text{m}$. Dies verdeutlicht das Kraft-Längen-Diagramm (Abb. 1b-d). Die durch die aktuelle Gelenkwinkelstellung bedingte Muskelmomentanlänge, in der die Sarkomere bei maximaler isometrischer Willkürkontraktion (MIVC) eine Länge von $2,1 \mu\text{m}$ besitzen, soll Mediallänge (l_m ; Abb. 1b-d) genannt werden⁴. Im inaktiven Zustand ist die Sarkomerlänge bei Mediallänge in der Regel größer als $2,1 \mu\text{m}$, da sich der Muskel oder die Sarkomere bei isometrischer Kontraktion um mehrere Prozent auf Kosten der serienelastischen Elemente verkürzen (GRIFFITH 1987, RACK u.a. 1969).

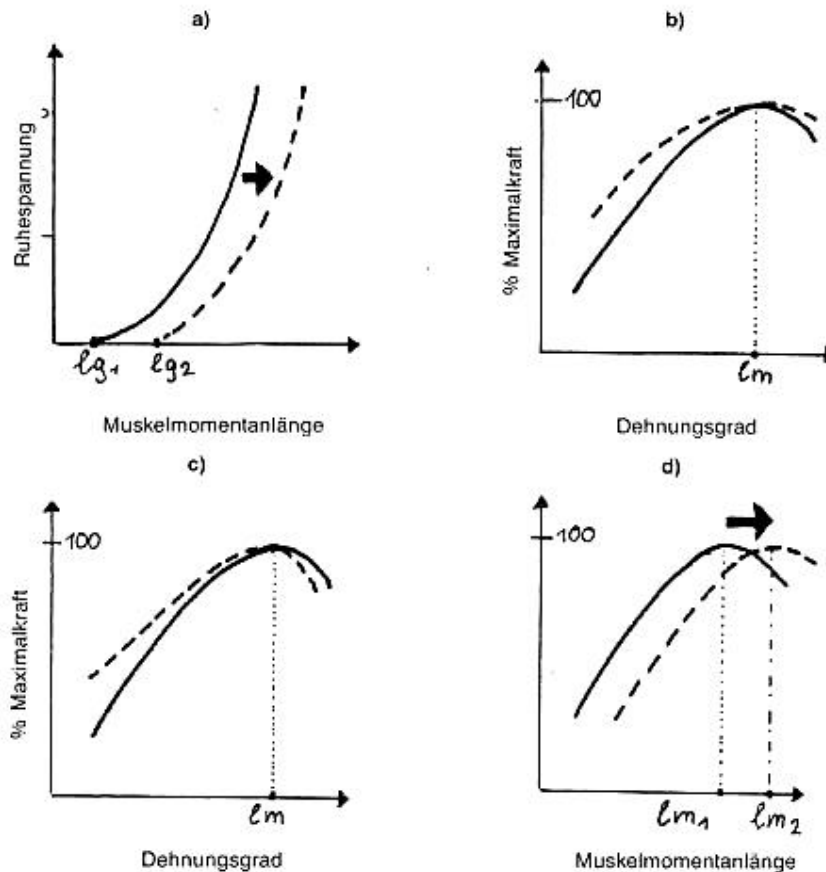


Abb. 1: Ruhespannungs-Dehnungs-Diagramm (a) und Relativkraft-Längendiagramm (b-d). lg_1 , lg_2 : Gleichgewichtslänge, l_m : Mediallänge

In der Regel erzeugen Muskeln in einer mittleren Gelenkwinkelstellung die maximale isometrische Kraft, d. h., die Mediallänge tritt bei einem Dehnungsgrad auf, der einer mittleren Gelenkstellung entspricht. Zeigen zwei homonyme Muskeln das Kraftmaximum in unterschiedlichen Gelenkstellungen, d. h., tritt der gleiche Sarkomer-Dehnungsgrad bei unterschiedlichen

⁴ In neuerer Literatur auch „Optimallänge“

aktuellen Muskellängen auf (Abb. 1d), so muß derjenige Muskel als "länger" gelten, der in einem gedehnten Zustand das Kraftmaximum erreicht. Das bedeutet, daß sich die individuelle Muskellänge an der „Lage“ des Kraftmaximums im Kraft-Längen-Diagramm bestimmen läßt.

2.1 Problemstellung

Wenn tatsächlich Dehnübungen oder Stretching neben einer Vergrößerung der Gelenkampie die erhofften Effekte auf die Muskellänge und die Ruhespannung ausüben, dann müßte nach einem langfristigen Dehnungstraining

- a) die Mediallänge des Muskels oder der Gipfel der Kontraktionskraft-Längen-Kurve im Bereich einer höheren Muskelmomentanlänge auftreten (Abb. 1d),
- b) die Ruhespannung bei einem vorgegebenen Gelenkwinkel niedriger sein als vor dem Dehnungstraining, d.h. die Gleichgewichtslänge in Bereiche höherer Muskelmomentanlängen verlagert sein (Abb. 1a).
- c) Es ist weiterhin zu erwarten, daß ein Dehnungstraining sowohl Auswirkungen auf die Länge der Muskelfasern (wie es ALWAY u.a. 1988, HOLLY u.a. 1980 und WILLIAMS u.a. 1986 im Tierexperiment nachwies) und auf die "stiffness" der serienelastischen Elemente zeigen könnte. Im ersten Fall müßten beide Schenkel des relativen Kraft-Längen-Diagramms flacher werden (Abb. 1b), im zweiten Fall sind ein flacherer linker Schenkel und ein steilerer rechter Schenkel zu prognostizieren (Abb. 1c). Da sich die beiden Effekte zumindest auf der linken Seite der Kraft-Längen-Kurve überlagern, könnte ein veränderter Explosivkraft-Wert zur Klärung hilfreich sein; denn nachgiebigere serienelastische Elemente müßten einen weniger steilen Anstieg der Explosivkraft-Kurve verursachen.

Die Klärung dieser Frage wird sowohl für Belange der Leistungsoptimierung als auch für Aufgaben orthopädischer und rehabilitativer Bereiche von Bedeutung sein.

3 Methoden

Ein Kontingent von 25 gesunden Vpn (zwölf Studentinnen, wVpn, und 13 Studenten, mVpn, der Universität Wuppertal), die vor der Teilnahme am Experiment kein regelmäßiges Dehnungstraining betrieben, wurden einem zehnwöchigen Dehnungstraining der ischiocruralen Muskeln unterzogen, wobei dreimal wöchentlich je 15 Minuten in Form des statischen Stretchings trainiert wurde (Abb. 2). Vor und nach der zehnwöchigen Trainingsperiode wurden folgende Parameter der ischiocruralen Muskeln bestimmt:

Dehnfähigkeit

An einem eigens für die Aufgabenstellung gebauten Versuchsstand (Abb. 3a) wurden die Vpn in Rückenlage festgeschnallt (Abb. 4), die Hüftgelenkachse in Deckung mit der Drehachse des Geräts. Das rechte Bein der Vpn wurde in gestreckter Position auf einen „Waagebalken“ gelegt und mit einer Sperre gegen ein unwillkürliches Kniebeugen gesichert.

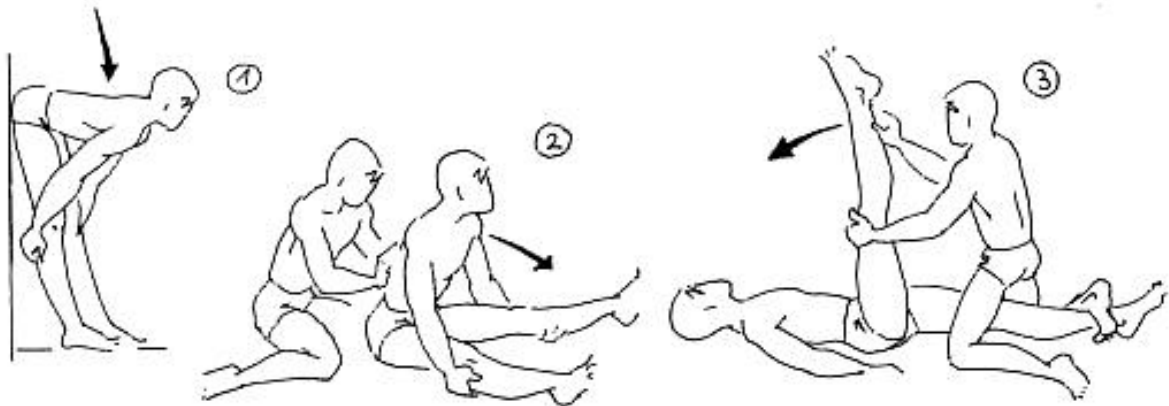


Abb. 2: Dehnungstraining mit 3 Übungen = 3 sets. Je set 3 reps mit einer 2 min. Pause zwischen den sets. Je rep: weiches Vordehnen - 10 s Halten - Nachdehnen bis zum Maximum - 10 s Halten - 20 s entspannen und Muskeln lockern.

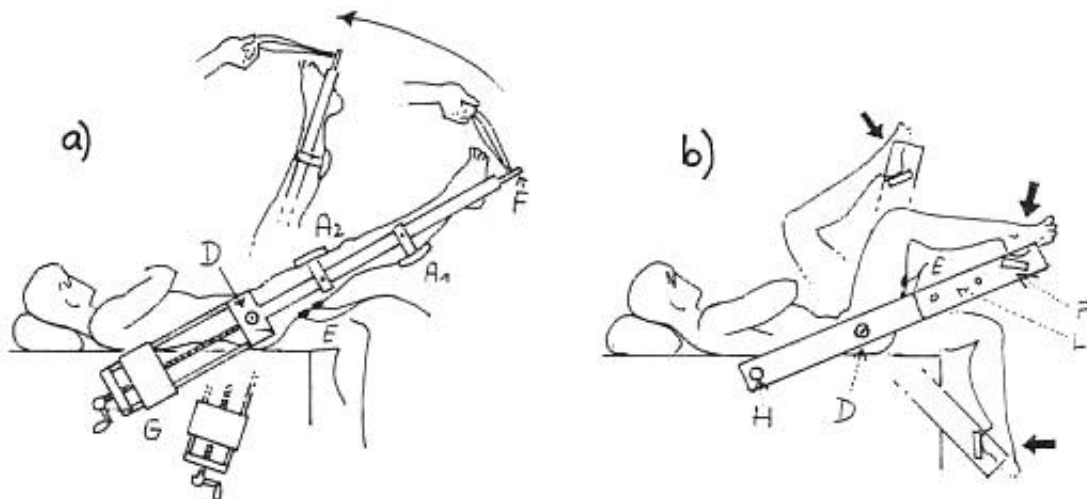


Abb. 3: Meßstation zur Bestimmung des Ruhespannungs-Dehnungs-Verhaltens (a) und des Kontraktionskraft-Längen-Verhaltens (b) der ischiocruralen Muskeln. A₁, A₂: Auflagen zur Fixierung des Testbeins am Waagebalken, verstellbar. D: Drehachse in Höhe der Hüftgelenkachse. E: Oberflächenelektroden. F: Kraftaufnehmer (DMS). G: Gegengewicht, verstellbar. H: Arretierung. L: Lastarm, verstellbar.

Durch verschiebbare Gegengewichte ließ sich die Gewichtskraft des Beins eliminieren. Durch Anheben des „Waagebalkens“ wurde das Versuchsbein zügig - bis zum Auftreten ei-

nes noch erträglichen Spannungsgefühls - in eine Hüftbeugstellung geführt. Ein in der Drehachse befindliches Hochleistungspotentiometer registrierte den Verlauf des Hüftbeugewinkels als Maß für die Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskeln.

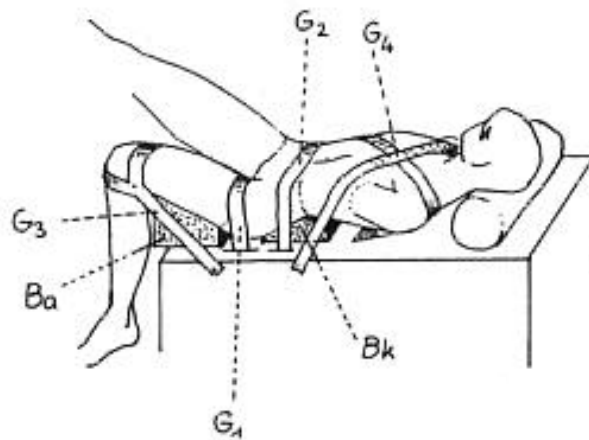


Abb. 4: Fixierung der Vp auf der Meßstation. Gurt G_1 , in Verbindung mit dem Beckenkeil BK verhindert ein Aufrichten des Beckens im Laufe der Dehnungsprozedur. Gurt G_2 verläuft über die vorderen oberen Darmbeinkanten und verhindert ein Vorkippen des Beckens. Die Gurte G_3 und G_4 verhindern zusammen mit der Beinauflage Ba ein Verrutschen der Vp während des Krafttests.

Dehnungsspannung oder Muskel-Ruhespannung

Die senkrecht zum „Waagebalken“ gerichtete Komponente derjenigen Kraft, die benötigt wurde, um mit Hilfe einer Schlaufe die Hüftbeugprozedur durchzuführen, wurde mittels DMS-Technik registriert. Da die registrierte Kraft aufgrund der Ausschaltung der Gewichtskraft die Gegenkraft zu derjenigen Spannung darstellt, die der ruhende Muskel der Dehnungsprozedur entgegensetzt, kann diese Kraft als Ruhespannung (s. vorn) gewertet werden. Sie wird im folgenden jeweils in der registrierten Größe angegeben und aufgrund des konstanten Kraftarms nicht in Drehmomente und nur zu Demonstrationszwecken in Sehnenspannungen (Abb. 5) umgerechnet.

Reflexaktivität

Durch Oberflächenelektroden auf der Mitte des Muskelbauchs der ischiocruralen Muskeln wurden die während der Dehnungsprozedur auftretenden Dehnungsreflexe erfaßt, gleichgerichtet und digitalisiert gespeichert.

Kontraktionskraft

Die Kraft der maximalen isometrischen Willkürkontraktion (MIVC) wurde am oben angesprochenen Versuchsstand (Abb. 3b) in zehn verschiedenen Hüftwinkelstellungen bei rechtwinkligem Kniegelenk (zur Ausschaltung des Einflusses des M. gluteus) bestimmt.

Tab. I gibt die Testpositionen, die zugehörigen Muskel- und Faserdehnungszustände sowie den Faserdehnungsgrad wieder. Zusätzlich wurde das EMG einer MIVC in einem mittleren Muskeldehnungszustand registriert, um als Bezugswert zur Quantifizierung der Reflexaktivität während der Dehnungsprozedur zu dienen. Der registrierte Kraftwert wurde um den in den verschiedenen Testpositionen unterschiedlichen Anteil des Beingewichts reduziert, im folgenden aus den oben genannten Gründen nicht in Drehmomente umgerechnet.

Testpositionen	a Hüftwinkel; gestreckte Hüfte = 180°	b Muskelmomentanlänge (% Körpergröße)	c Fasermomentanlänge (% Körpergröße)	d Faserdehnungsgrad in % Mediallänge	e Häufigkeit der Mediallänge	
					Vt	Nt
1	156°	23,62	8,41	61,88		
2	131°	25,62	10,34	76,09		
3	104°	27,72	12,40	91,24	1	1
3a	98°	28,16	12,83	94,41	3	1
4	93°	28,52	13,19	97,01	-	1
4a	87°	28,93	13,59	100,00	9	11
5	81°	29,33	13,98	102,87	6	2
5a	75°	29,70	14,36	105,67	4	4
6	69°	30,06	14,71	108,24	1	3
7	57°	30,72	15,36	113,02	1	2

Tab. I: (a) Hüftwinkel, (b) Muskeldehnungszustand und (c) Faserdehnungszustand des *M. biceps femoris caput longum* in den Testpositionen sowie (d) Faserdehnungsgrad bei Mediallänge in Testposition 4a und (e) Häufigkeitsverteilung der Mediallänge vor und nach einem zehnwöchigen Dehnungstraining (n= 25)

Mediallänge

Als Mediallänge konnte diejenige Muskel- oder Fasermomentanlänge gelten, in der die betreffende Vp die maximale MIVC-Kraft entwickelte.

Explosivkraft

Die Vpn erhielten die Aufgabe, in einer mittleren Hüftwinkelstellung am oben beschriebenen Gerät eine möglichst explosive MIVC auszuführen. Als Explosivkraftwert wurde die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve zwischen dem 25 %- und 75 %-Niveau des Kraftmaximums ermittelt.

Electro-mechanical delay (EMD)

Das während der Erzeugung der Explosivkraft registrierte integrierte gleichgerichtete EMG wurde durch gleitende Mittelwertbildung geglättet. Der Zeitabstand der Maxima bei der zweiten Ableitung der geglätteten EMG-Kurve und der Explosivkraftkurve diente als EMD-Wert.

Faserlänge

An elf konservierten Leichen wurden die Faserlängen der ischiocruralen Muskeln gemessen und mit Angaben in der Literatur verglichen. Die errechneten Mittelwerte stellen die Bezugsgrößen zur Errechnung des Dehnungsgrades der ischiocruralen Muskeln in den einzelnen Gelenkwinkelstellungen mit Hilfe des von uns entwickelten Modells dar (s. WIEMANN 1990).

4 Ergebnisse und Diskussion

Um Kurzzeiteffekte eines Dehnungstrainings auszuschließen, wurde der Nachttest erst drei Tage nach Abschluß der Trainingsperiode durchgeführt. Grundsätzlich weisen die Ergebnisse eine trainingsbedingte Verbesserung der Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskeln nach, erkennbar an der Vergrößerung des Hüftbeugewinkels (Tab. II, Zeile a und Abb. 5).

Errechnet man mit Hilfe unseres Modells (WIEMANN 1990) aus den erreichten Hüftbeugewinkeln die zugehörigen Momentanlängen der ischiocruralen Muskeln, so ergibt sich vom Vt zum Nt eine Steigerung der Momentanlänge von 33,856% Körpergröße (= % KG) auf 34,484 % KG. Die Vergrößerung der Momentanlänge kann nun entweder auf eine bloße Steigerung der Resistenz gegenüber dehnenden Kräften⁵ oder durch ein vom Dehnungstraining bewirktes Längenwachstum (a) der Sehne und/oder (b) der Muskelfasern erklärt werden.

(a): Nimmt man ein Längenwachstum der Sehne um 0,628 % KG (Differenz der Muskelmomentanlänge bei maximalem Hüftbeugewinkel von Vt und Nt) an, so müßte die Mediallänge im Nt in Richtung einer größeren Muskelmomentanlänge verschoben sein (s. Abb. 1d), also nicht wie im Vt in Testposition 4a (s. Tab. I), sondern in Testposition 5 oder 5a auftreten. Tatsächlich läßt sich jedoch keine Verlagerung der Mediallänge nachweisen (s. Abb. 5 und Tab. I, Spalte 3; CHI-Quadrat = 4,53, df = 7). Ebenso müßte bei einem angenommenen Längenwachstum der Sehne die Ruhespannung im Nt reduziert sein, beispielsweise in einem 80°-Hüftbeugewinkel (nach Umrechnung der Werte von Tab. II, Spalte c in Sehnenspannung) von 1015 N im Vt auf 690 N im Nachttest. Auch dies ist nicht der Fall. Statt dessen vergrößert sich sogar die Ruhespannung bei den wVpn signifikant (s. Tab. II, Zeile c, und Abb. 5). Eine entsprechende Verringerung der Ruhespannung und eine Verlagerung der Mediallänge zum Nt müßte man auch erwarten, wenn man (den Ergebnissen der Tierexperimente von ALWAY u.a. 1988, HOLLY u.a. 1980 und WILLIAMS u. a. 1986 gemäß) statt eines Sehnenwachstums ein Faserwachstum annimmt. Zusätzlich müßte bei einem Faserlängenwachstum die vorn prognostizierte Veränderung der Relativkraft-Längen-Kurve auftreten (Abb. 1b). Tatsächlich ist die relative Kontraktionskraft „rechts“ von der Mediallänge, also bei hoher Muskelmomentanlänge, signifikant gewachsen (Tab. II, Zeile d); „links“ der Mediallänge zeigt sich dieser Effekt jedoch nur bei den mVpn (Tab. II, Zeile i). Da die erwartete Verlagerung der Mediallänge und die erwartete Abnahme des Ru-

⁵ Toleranz von Dehnungsspannungen

hetonus ausgeblieben sind, müßte sich, sollte wirklich ein Längenwachstum der Fasern stattgefunden haben, im gleichen Ausmaß der sehnige Anteil des Muskels verkürzt haben. Dies zu diagnostizieren ist mit den hier eingesetzten Methoden nicht möglich.

	Parameter		weibl. Vp	männl. Vp	
a	maximaler Hüftbeugewinkel [°] (Dehnfähigkeit der isch. Muskeln)	Vt Nt n	108,13 ± 11,30 115,93 ± 13,06 12 bb	97,68 ± 11,03 116,30 ± 15,29 11 bb	g
b	Dehnungsspannung [N] zur Erzeugung des maximalen Hüftbeugewinkels (Dehnbelastungsfähigkeit der isch. Muskeln)	Vt Nt n	87,50 ± 36,56 116,00 ± 41,34 12 b	136,27 ± 28,75 191,09 ± 47,70 11 bb	gg gg
c	Dehnungsspannung [N] zur Erzeugung eines Hüftbeugewinkels von 80° (Ruhespannung der isch. Muskeln)	Vt Nt n	48,33 ± 19,52 54,83 ± 19,41 12 b	94,09 ± 37,70 91,27 ± 32,33 11	gg 99
d	relative Kontraktionskraft bei großer Muskelmomentanlänge [% Kraftmaximum]	Vt Nt n	81,87 ± 12,51 85,38 ± 12,87 12	81,90 ± 6,37 87,46 ± 11,83 13 b	
e	gemittelttes IEMG während der letzten 20° der Dehnungsprozedur [% des IEMG bei MIVC]	Vt Nt n	2,039 ± 1,281 1,303 ± 1,177 11	10,987 ± 7,458 4,682 ± 4,714 11 bb	gg g
f	Winkelgeschwindigkeit [°/s] des Dehnungsvorgangs bei 80° Hüft- beugewinkel	Vt Nt n	26,24 ± 5,85 31,63 ± 7,75 11 (b)	14,22 ± 7,70 27,86 ± 9,95 11 bb	gg
g	Explosivkraft als Steigung der Kraft-Zeit-Kurve zwischen 25% und 75% der Maximalkraft [N/ms]	Vt Nt n	1,040 ± 0,307 1,077 ± 0,433 12	2,165 ± 0,641 1,896 ± 0,586 13	gg gg
h	elektromechanische Verzögerung [s]	Vt Nt n	0,1000 ± 0,0443 0,0800 ± 0,0270 12	0,0938 ± 0,0236 0,0908 ± 0,0225 13	
i	relative Kontraktionskraft bei niedriger Muskelmomentanlänge [% Kraftmaximum]	Vt Nt n	90,49 ± 6,49 86,63 ± 3,76 12 (b)	84,02 ± 8,88 87,79 ± 10,38 13 b	g

Tab. II: Veränderung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining der ischiocruralen Muskeln. (b), b, bb: tendenzieller, signifikanter bzw. sehr signifikanter Effekt der Behandlung. (g), g, gg.- tendenzieller; signifikanter bzw. sehr signifikanter Effekt des Geschlechts

Es könnte vermutet werden, daß der maximale Hüftbeugewinkel von der Winkelgeschwindigkeit der Dehnungsprozedur abhängig sei; denn eine größere Winkelgeschwindigkeit müßte zu stärkeren Dehnungsreflexen und auf diese Weise zu einem stärkeren Widerstand gegen die Dehnungsprozedur führen. Es läßt sich jedoch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Winkelgeschwindigkeit der Dehnungsprozedur und der Reflexaktivität nachweisen (Tab. III). Darüber hinaus korreliert die Dehnungsspannung (zumindest im Vortest) negativ mit der Winkelgeschwindigkeit (Tab. III), was Anlaß geben kann, die Ruhespannung als

Determinante sowohl für die Winkelgeschwindigkeit der Dehnungsprozedur als auch für die Dehnfähigkeit anzusehen; denn die Ruhespannung (Sp 80°) korreliert zumindest bei den mVpn negativ mit dem maximalen Hüftbeugewinkel (Tab. III).

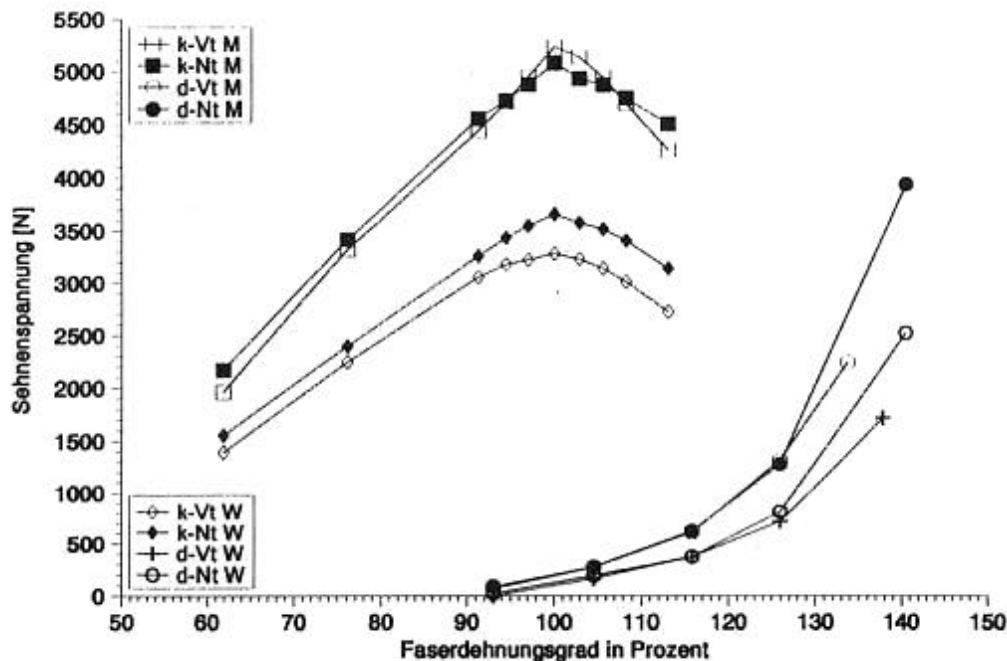


Abb. 5: Ruhespannungs-Dehnungs-Diagramm (d) und Kraft-Längen-Diagramm (k) der ischiocrural Muskeln, registriert vor (Vt) und nach (Nt) einem zehnwöchigen Dehnungstraining bei zwölf weiblichen (W) und 13 männlichen (M) Versuchspersonen

Auch die im EMG ermittelte Reflexaktivität nimmt vom VT zum NT bei den mVpn signifikant ab (Tab. II, Zeile e). Man könnte somit die im Nt festgestellte Vergrößerung der Bewegungsreichweite durch eine Abnahme des reflektorischen Widerstands des Muskels begründen. Allerdings erklärt dies nicht die Vt-Nt-Konstanz der Ruhespannung bei den mVpn bzw. die im Nt erhöhte Ruhespannung bei den wVpn (Tab. II, Zeile c); denn eine Abnahme der reflektorischen Kontraktionen sollte eine Abnahme des Widerstands des Muskels gegen die Dehnungsprozedur bedeuten. Darüber hinaus lässt sich kein (negativer) Zusammenhang zwischen der Intensität der Reflexaktivität und dem maximalen Hüftbeugewinkel nachweisen (Tab. IV).

Eine Änderung der "stiffness" der serienelastischen Elemente lässt sich nicht entdecken. Die prognostizierte Änderung der Kontraktionskraft-Längen-Beziehung lässt sich nicht nachweisen, möglicherweise aufgrund einer Überlagerung des Effekts einer möglichen Faserlängenzunahme. Auch die Abnahme der Explosivkraftwerte der mVpn, die ebenfalls auf eine Steigerung der Nachgiebigkeit der elastischen Elemente hindeuten könnte, erreicht nicht das notwendige Signifikanzniveau (Tab. II, Zeile 9).

		Omeg. 80°		EMG 80°		HBW max			
		VT	NT	VT	NT	VT	NT		
Sp max	w					0,5849	0,6831		
						0,059	0,020		
	m					0,5575	0,5964		
						0,081	0,053		
Sp 80°	w	- 0,7365	- 0,4263	0,1760	0,0715	- 0,0389	- 0,0834		
		0,010	0,191	0,605	0,835	0,904	0,794		
	m	- 0,8828	0,4865	0,4666	0,7080	- 0,6952	- 0,6609		
		0,000	0,129	0,148	0,015	0,018	0,027		
EMG 80°	w	- 0,5716	0,3946			- 0,1794	0,3207	w	20°EMG
		0,066	0,230			0,598	0,336		
	m	0,3571	- 0,3879			0,4354	0,3207	m	
		0,281	0,238			0,181	0,819		

Tab. III.: Zusammenhänge zwischen muskulären Parametern vor (VT) und nach (NT) einem zehnwöchigen Dehnungstraining bei weiblichen (w) und männlichen (m) Versuchspersonen; jeweils obere Zahl: Korrelationskoeffizient; jeweils untere Zahl: Irrtumswahrscheinlichkeit. EMG 80°: relatives gemittelttes gleichgerichtetes EMG bei einem Hüftbeugewinkel von 80°. 20°EMG: relatives gemittelttes gleichgerichtetes EMG während der letzten 20° der Dehnungsprozedur. HBW max: maximaler Hüftbeugewinkel. Omeg. 80°: Winkelgeschwindigkeit der Dehnungsprozedur bei 80° Hüftbeugewinkel. Sp max: Dehnungsspannung zum Erreichen von HBW max. Sp 80°: Dehnungsspannung bei 80° Hüftbeugewinkel.

Von den geschlechtsspezifischen Ausprägungen der untersuchten Parameter verschwindet durch das Dehnungstraining die Differenz in der Hüftbeugefähigkeit. Die durch das Dehnungstraining bedingten Anpassungen laufen bei beiden Geschlechtern im allgemeinen gleichsinnig. Lediglich in der maximalen Kontraktionskraft und in der Ruhespannung (Tab. II, Zeile c und Abb. 5) zeigen sich unterschiedliche Anpassungstendenzen: Das Anwachsen des Kraftmaximums sowie die im Nt erhöhte Ruhespannung bei den wVpn sind möglicherweise durch ein und dieselbe Anpassung bedingt. Es muß vermutet werden, daß hier die Dehnungsbelastung zu einer Muskelhypertrophie geführt hat - mit den zugehörigen Konsequenzen auf Maximalkraft und Ruhetonus, den Ergebnissen von ALWAY u.a. 1988 und WILLIAMS u.a. 1986 an Vertebratenmuskeln entsprechend.

Abschließend muß festgestellt werden, daß das hier eingesetzte Dehnungstraining lediglich die Resistenz der ischiocruralen Muskeln gegenüber Dehnungsbelastungen verstärkt⁶ (Tab. II, Zeile b) und auf diese Weise zu einer größeren Bewegungsreichweite oder besseren Dehnungsfähigkeit geführt hat. Die im allgemeinen von einem Dehnungstraining oder vom Stretching erwarteten Effekte wie Verminderung des Ruhetonus und Beseitigung einer Muskelverkürzung können nicht nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, daß die Erledigung der Alltagsmotorik der Vpn ein bestimmtes Verhältnis zwischen Muskellänge und Ruhespannung voraussetzt und daß sich der Anpassungseinfluß der alltäglichen Bewegung gegen den Einfluß eines Dehnungstrainings in der hier praktizierten Dimensionierung durchsetzt. Daraus ließe sich folgern, daß zu einer Beeinflussung der muskulären Parameter in der eingangs beschriebenen erhofften Richtung ein Dehnungstraining in wesentlich höherem Umfang und größerer Intensität als hier praktiziert von Nöten ist. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß die hier erzielten Befunde nur für gesunde Vpn gültig sind. Um entsprechende Erkenntnisse für rehabilitative und orthopädische Aufgaben zu gewinnen, müßten ähnliche Untersuchungen an Vpn mit nachgewiesenen Muskel"verkürzungen" oder Muskel"verspannungen" durchgeführt werden.

Literatur

- ALWAY, S. E./ WINCHESTER, P. K./ DAVIS, M. E./ GONYEA, W. J.: Regionalized adaptations and muscle fiber proliferation in stretch-induced enlargement. In: *Journal of Applied Physiology* 66 (1989) 2, 771-781.
- ANDERSON, B.: *Stretching*. Waldeck-Dehringhausen. 1988 3.
- BEAULIEU, J. E.: Developing a stretching program. *The Physician and Sportmedicine* 9 (1981) 11, 59-65.
- DIETRICH, L.: Muskeldehnung: Warum und wie? In: *Turnen* (1989) 4, 6.
- DIETRICH, L./ BERTHOLD, E./ BRENKE, H.: Muskeldehnung aus sportmethodischer Sicht. In: *Medizin und Sport* 25 (1985) 2, 52-57.
- EDER, K.: Regeneration im Leistungssport. In: *Leistungssport* 18 (1988) 3, 20-22.
- ETNYRF, B. R./ LEE, E. J.: Chronic and acute flexibility of men and women using three different stretching techniques. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 59 (1989) 5, 222-228.
- GRIFFITHS, R. 1.: Ultrasound transit time gives direct measurement of muscle fibre length in vivo. *Journal of Neuroscientific Methods* 21, 2-4 (1987), 159-165.
- HANAFI, H./ KURSCHILGEN, T./ LANGE, G./ PAHLKE, K. H./ SCHMIDT, P./ SIDDIG, M.: Ausgewählte Stretchingübungen für Mittel- und Langstreckenläufer(innen) zur Optimierung der sportlichen Leistung. In: *Die Lehre der Leichtathletik* 25 (1988) 36/37, 1536-1538 + 1567-1569.
- HARDY, L./ JONES, D.: Dynamic flexibility and proprioceptive neuromuscular facilitation. In: *Research Quarterly for Exercise and Sport* 57 (1988) 2, 150-153.

⁶ Die Vpn tolerieren im Nt höhere Dehnungsspannungen, entweder weil sie bereit sind, einen größeren Dehnungsschmerz zu ertragen oder weil der Organismus sich an höhere Dehnungsspannungen gewöhnt hat.

- HENRICSON, A. S./ FREDERIKSSON, K./ PERSSON, L/ PEREIRA, R./ ROSTEDT, Y./ WESTLIN, N. E.: The effect of heat and stretching on the range of hip motion. In: The journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy (1984), 110-115.
- HEYTERS, C./ LEVEQUE, V.: Le «CRAC" a' l'ecole. Application d'une technique d'étirement musculaire sur des élèves masculins de 13 ~ 16 ans. In: Revue de l'éducation physique 29 (1989) 1, 19-24.
- HOLLY, R. G./ BARNETT, J. G./ ASHMORE, C. R./ TAYLOR, R. G./ MOLE, P. A.: Stretch-induced growth in chicken wing muscles: a new model of stretch hypertrophy. In: American Journal of Physiology 238 (1980), C62-C71.
- HUBLEY, C. L./ KOZEY, J. W/ STANISH, B. D.: The effects of static stretching exercise and stationary cycling on range of motion at the hip joint. In: The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy (1984), 104-109.
- MADDING, S. W/ WONG, J. G./ HALLUM, A./ MEDEIROS, J. M.: Effect of duration of passive stretch on hip abduction range of motion. In: The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy 8 (1987) 8, 409-416.
- MAEHL, O.: Beweglichkeit und Beweglichkeitstraining. In: Sport Praxis (1986) 6, 35-37.
- MAEHL, O.: Aspekte der Muskeldehnung in der Leichtathletik. In: Die Lehre der Leichtathletik 25 (1986) 22, 959-962.
- MAGID, A./ LAW, D. J.: Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscles. In: Science 230 (1985), 1280-1282.
- RACK, P. M. H./ WESTBURY, D. R.: The effects of length and stimulus rate on tension in the isometric cat soleus muscle. In: journal of Physiology 204 (1969) 443-460.
- SADY, S. R/ WORTMAN, M./ BLANKE, D.: Flexibility training: Ballistic, static or proprioceptive neuromuscular facilitation. Archive of Physical Medicine and Rehabilitation 63 (1982), 261-263.
- SHELLOCK, F. G./ PRENTICE, W. E.: Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. In: Sports Medicine 2 (1985), 267-278.
- STREET, S. E: Lateral transmission of tension in frog myofibers: A myofibrillar network and transverse cytoskeletal connections are possible transmitters. Journal of Cellular Physiology 114 (1983), 346-364.
- WANG, K.: Cytoskeletal matrix in striated muscle: the role of titin, nebulin and intermediate filaments. In: POLLACK, G. H./SUGI, H. (Hrsg.): Contracile mechanisms in muscle- New York 1984,285-308.
- WEINECK, J.: Optimales Training. Erlangen 1988.
- WIEMANN, K.: Paradoxe Muskelaktionen beim Sprint - Konsequenzen für die Sprinttechnik. In: BRÜGGEMANN/RÜHL (eds.): Techniques in athletics. Köln 1990, 470-478.
- WILLIAMS, R/ WATT, R/ BICIK, W GOLDSPINK, G.: Effect of stretch combined with electrical stimulation on the type of sarcomeres produced at the ends of muscle fibres. In: Experimental Neurology 93 (1986), 500-509.