

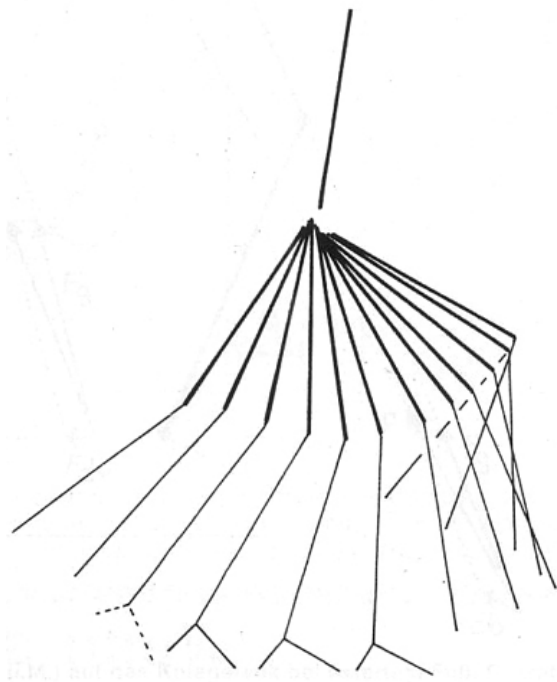
Die ischiocruralen Muskeln beim Sprint

(aus: Die Lehre der Leichtathletik. Nr. 27/1989. 28. Jahrgang 22.06.1989 und 29.06.1989. S. 783-786 und S. 816-818)

1 Vorbemerkung

Seit einigen Jahren wird diskutiert, welche Muskeln vorrangig an der Erzeugung der Horizontalbeschleunigung beim Sprint beteiligt sind (z. B. HANNON u. a., 1985; MERO u. a., 1982; WASER, 1984; WIE MANN, 1986). Nachdem man lange Zeit die Kniestrecker (Mm. vasti) als haupt- oder gar alleinverantwortlich ansah - zum Teil auch noch heute ansieht (z. B. MANN u. a., 1986) - und man sich z. B. beim Krafttraining speziell auf diese Muskulatur konzentrierte, geraten zunehmend auch die Hüftstrecker, besonders die ischiocruralen Muskeln (englisch: hamstrings) in das Interesse von Bewegungstheoretikern und Trainern. Filmanalysen zeigen nämlich, daß sich der Kniewinkel im Zuge der Stützphase des Sprints nur unwesentlich verkleinert und vergrößert, im Sprintzyklus von M. GÖHR etwa von 165° auf 150° und wieder auf 162° (s. Abbildung 1 und Abbildung 6). Demgegenüber überstreicht das Hüftgelenk eine wesentlich größere Amplitude von 148° bis auf 203° . Außerdem ergibt die biomechanische Analyse der Kraftwirkung der Kniestreckmuskeln auch in der günstigsten Phase des Hinterstützes zwar eine große vertikale, aber nur eine kleine horizontale Komponente (s. Abbildung 2, Fh), so daß sich die Vermutung, daß andere Muskeln die Aktionen zur Erzeugung der Horizontalbeschleunigung unterstützen, geradezu aufdrängt. Wollte man die Horizontalbeschleunigung beim Sprint ausschließlich durch ein gesteigertes Krafttraining der Kniestrecker optimieren, hieße das, zum weitaus größeren Prozentsatz die Vertikalbeschleunigung gegenüber der Horizontalbeschleunigung zu steigern.

Abbildung 1: Gliederachsendiagramm eines Sprintschrittes von M. GÖHR

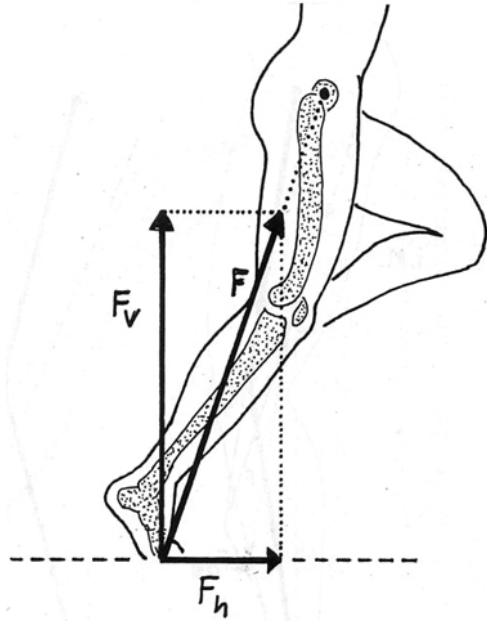


2 Die ischiocruralen Muskeln

Von denjenigen Hüftstreckmuskeln, die für den Sprint von Bedeutung sind, sollen hier nur die Gesäßmuskeln (Mm. glutei) und die ischiocruralen Muskeln (M. biceps femoris caput longum, M. semitendinosus, M. semimembranosus) behandelt werden. Die Gesäßmuskeln sind zwar äußerst kräftige Hüftstreckmuskeln, aus zwei Gründen muß ihre Bedeutung für die Horizontalbeschleunigung beim Sprint jedoch bezweifelt werden:

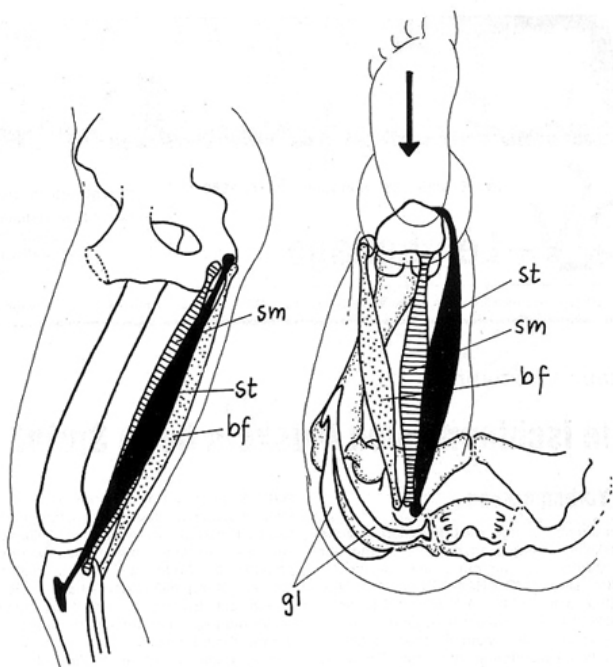
- Die Gesäßmuskeln zeigen ihren besten Wirkungsgrad bei stark gewinkeltem Hüftgelenk. Bei einem für die Stützphase des Sprints relevanten Hüftwinkel arbeiten sie jedoch in einem solch hohen Verkürzungszustand, daß keine großen Kräfte und Verkürzungsgeschwindigkeiten mehr erwartet werden können.
- Die Gesäßmuskeln wirken als Außenrotatoren. Für die Stützphase des Sprints, also bei fixiertem Stützbein, entspricht diese Wirkung einem Rückwärtsrotieren der Schwungbeinhüfte, obwohl diese zu einem raumgreifenden Schritt nach vorn rotiert werden sollte (WIEMANN, 1986).

Abbildung 2: Komponenten der Kniestreckkraft. F: Kniestreckkraft. F_h: horizontale Komponente. F_v: vertikale Komponente



Somit bleiben als Hüftstreckmuskeln nur noch die ischiocruralen Muskeln, die die massiven Muskeln der Oberschenkelrückseite darstellen. Sie werden auch Schenkelbeuger genannt, doch soll diese zwar einfache und eingängige, aber - wie im folgenden deutlich werden müßte - zu Fehldeutungen Anlaß gebende Bezeichnung hier nicht verwendet werden. Der Ursprung der ischiocruralen Muskeln am Sitzbeinhöcker und ihr Ansatz an diversen Stellen von Schien- und Wadenbein dicht unter dem Knie lassen sich auf Abbildung 3 erkennen. Die Zugrichtung der ischiocruralen Muskeln im Vergleich zu derjenigen der Gesäßmuskeln verdeutlicht besonders Abbildung 3 b, die das Becken von unten zeigt, wobei der Oberschenkelknochen sich in einer Position befindet, die dem Beginn der Stützphase beim Sprint entspricht.

Abbildung 3: Ischiocrurale Muskeln, a) Oberschenkel von innen, b) von unten gesehen. bf: langer Kopf des zweiköpfigen Schenkelbeugers (*M. biceps femoris caput longum*). gl: Gesäßmuskulatur (*Mm. glutei*). sm: Plattsehnenmuskel (*M. semimembranosus*). st: Halbsehnenmuskel (*M. semitendinosus*)

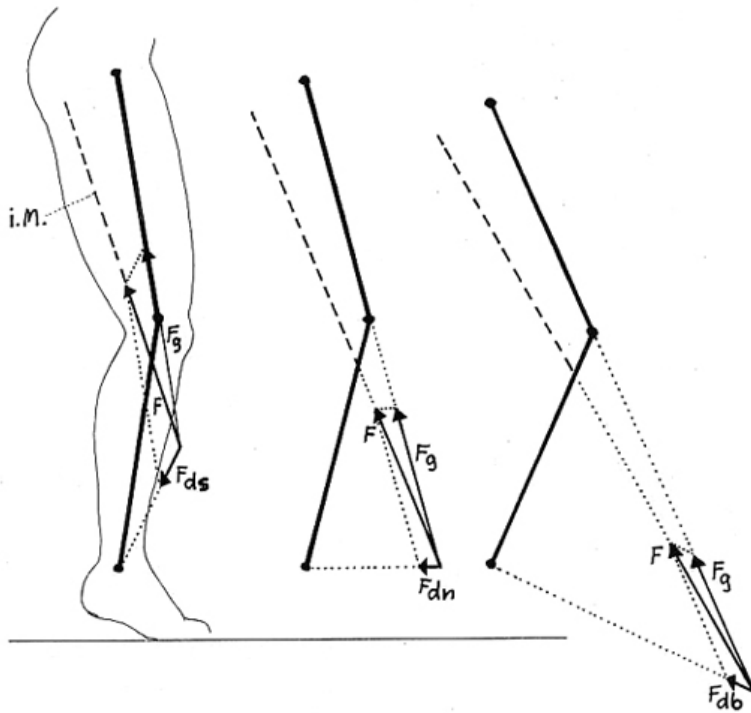


3 Funktion der ischiocruralen Muskeln beim Sprint

In der anatomischen Literatur, die nicht auf biomechanische Einzelheiten eingeht, wird die Funktion der ischiocruralen Muskeln mit Hüftstreckung und Kniebeugung umschrieben (z. B. KAHLE u. a., 1978). Das ist wohl der Grund, warum diese Muskulatur in der Regel mit einer Kniestreckbewegung, wie sie in der zweiten Hälfte der Stützphase des Sprints auftritt, nicht in Verbindung gebracht wird.

Da die ischiocruralen Muskeln jedoch zweigelenkige Muskeln sind, ergeben sich auch andere Funktionen, je nach Stellung von Hüft- und Kniegelenk und je nachdem, ob der Fuß frei ist oder ob er am Boden steht (FISCHER, 1927). Ist beispielsweise der Fuß am Boden fixiert und zusätzlich der Kniewinkel nicht kleiner als 150° , wirken die ischiocruralen Muskeln auf das Kniegelenk streckend (Abbildung 4). Diese "paradoxe" Funktion ist schon seit langem bekannt und speziell beim Treppensteigen und Radfahren beschrieben (ANDREWS, 1987; CARLSÖÖ u. a., 1966; GREGOR u. a., 1985; MOLBECH, 1965), jedoch noch nicht konsequent auf den Sprint angewendet worden. Unter der obigen Voraussetzung ergibt sich also durch die Kontraktion der ischiocruralen Muskeln allein genau die sprintspezifische Stützbeinaktion, die eine kontinuierliche Hüftstreckbewegung während der gesamten Stützphase und eine geringe Kniestreckbewegung im zweiten Teil der Stützphase zeigt (s. Abbildung 1).

Abbildung 4: Wirkung der ischiocruralen Muskeln (i.M.) auf das Kniegelenk bei fixiertem Fuß. F: Kraft der ischiocruralen Muskeln. Fg: Komponente von F, die weder das Knie- noch das Hüftgelenk bewegt. Fds: hüftstreckende und kniestreckende Komponente. Fdb: hüftstreckende und kniestreckende Komponente



4 Bewegungsgeschwindigkeit

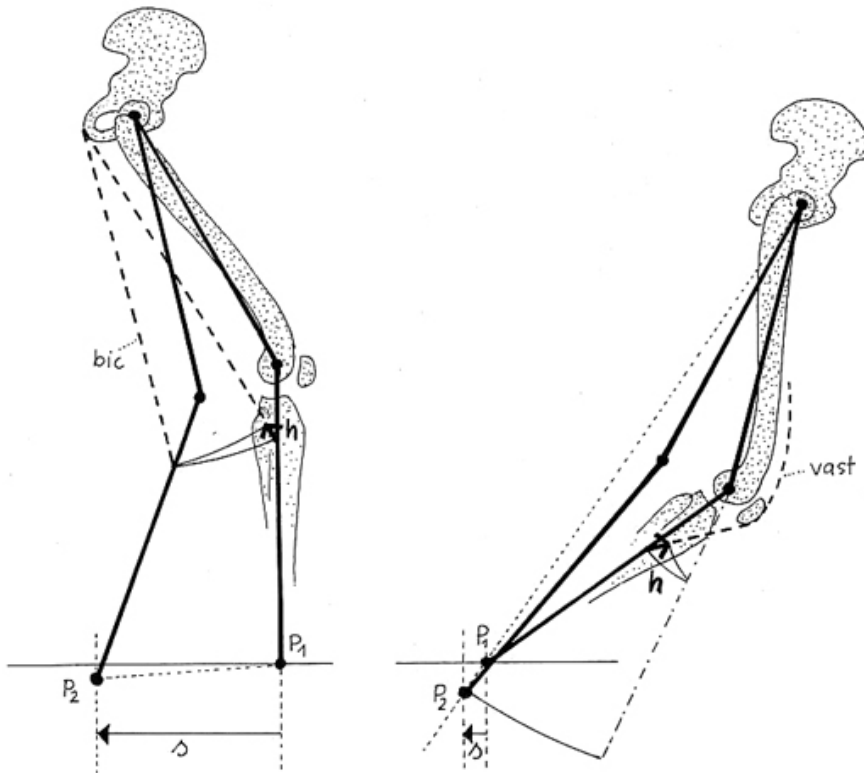
Folgender Vergleich zwischen der Wirkung der ischiocruralen Muskeln und der Kniestreckmuskeln macht die Bedeutung der ischiocruralen Muskeln für den Sprint deutlich:

Die ischiocruralen Muskeln zeigen im Durchschnitt etwa die gleiche Faserlänge und den gleichen Fiederungswinkel wie die Kniestrecker (ALEXANDER u. a., 1975). Nimmt man zusätzlich gleiche Faserzusammensetzung an, ist auch gleiche Kontraktionsgeschwindigkeit (besser: Geschwindigkeit des Sehnenhubes) zu erwarten. Berechnet man nun unter Berücksichtigung der Hebelverhältnisse die Positionsveränderung für das Fußgelenk (Abbildung 5, $P_1 \rightarrow P_2$), die sich ergibt, wenn sich:

- die ischiocruralen Muskeln in der Phase des Mittelstützes beim Sprint und
- die Kniestrecker gegen Ende der Stützphase, der günstigsten Position für die Erzeugung einer großen horizontalen Komponente der Kniestreckaktion,

jeweils isoliert um den gleichen Betrag (Abbildung 5, h = Sehnenhub) verkürzen, erhält man für die ischiocruralen Muskeln einen mehr als achtmal größeren horizontalen Weg des Fußgelenkes (Abbildung 5, s) als für die Kniestrecker. Bei gleicher Kontraktionsgeschwindigkeit wäre das auch eine achtfache horizontale Geschwindigkeitskomponente für den Fußgelenkspunkt in bezug zum Rumpf.

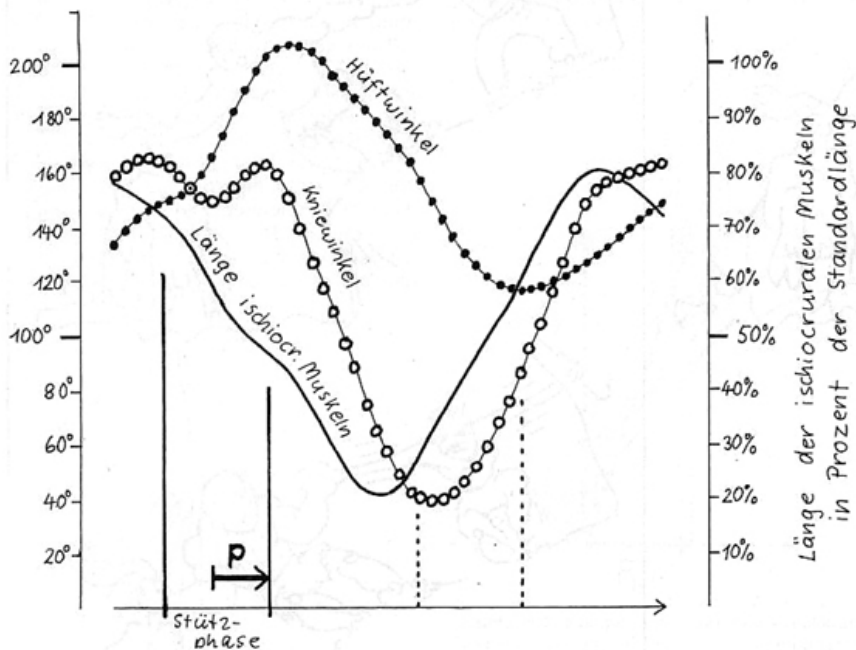
Abbildung 5: Bewegungsausmaß bei Kontraktion der ischiocruralen Muskeln (bic) und der Kniestrekker (vast.). h: "Hubhöhe" der Muskelkontraktion. s: horizontale Komponente der Bewegung des Fußgelenkpunktes von P 1 nach P 2



5 Die Stützphase - ein DVZ?

Bei fast allen Sprung- und Laufbewegungen läßt sich für manche Muskeln ein Verhalten erkennen, das unter dem Begriff Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) bekannt ist. Dabei wird - meistens zu Beginn der Kontaktphase mit dem Boden oder während einer Ausholbewegung - ein Muskel, der an der folgenden Beschleunigungsarbeit beteiligt ist, zuerst eine exzentrische Kontraktion zeigen, die ohne Pause in eine konzentrische Beschleunigungsphase übergeht. Durch dieses Verhalten wird offensichtlich in der Muskulatur elastische Energie gespeichert, die in der konzentrischen Phase für die Beschleunigung des Körpers wiederverwendet wird (s. z. B. BOSCO u. a., 1982; MERO u. a., 1982; SCHMIDTBLEICHER, 1985), wobei zusätzlich Muskeldehnungsreflexe ausgenutzt werden (SCHMIDTBLEICHER u. a., 1978). Für die Stützphase des Sprints kann dies jedoch nur für die Kniestreckmuskeln (Mm. vasti) und für die Wadenmuskulatur (M. triceps surae) zutreffen, nicht jedoch für die ischiocruralen Muskeln. Das Diagramm von Abbildung 6, das nach einem Sprintzyklus von M. GÖHR angefertigt wurde, zeigt sowohl die Kniewinkel- und Hüftwinkeländerung während des Sprintzyklusses als auch die daraus errechenbare Längenänderung der Fasern der ischiocruralen Muskeln. Deutlich wird im Diagramm, daß sich entgegen der Annahme von MERO u. a. (1982) für die ischiocruralen Muskeln in der Stützphase kein Wechsel von exzentrischer und konzentrischer Aktivität ergibt, sondern sich diese hier nahezu kontinuierlich verkürzen. Abbildung 6 verdeutlicht auch den Bereich der "paradoxen" Aktivität (p) der ischiocruralen Muskeln, in dem sich das Knie trotz konzentrischer (verkürzender) Tätigkeit der Kniebeugemuskeln streckt.

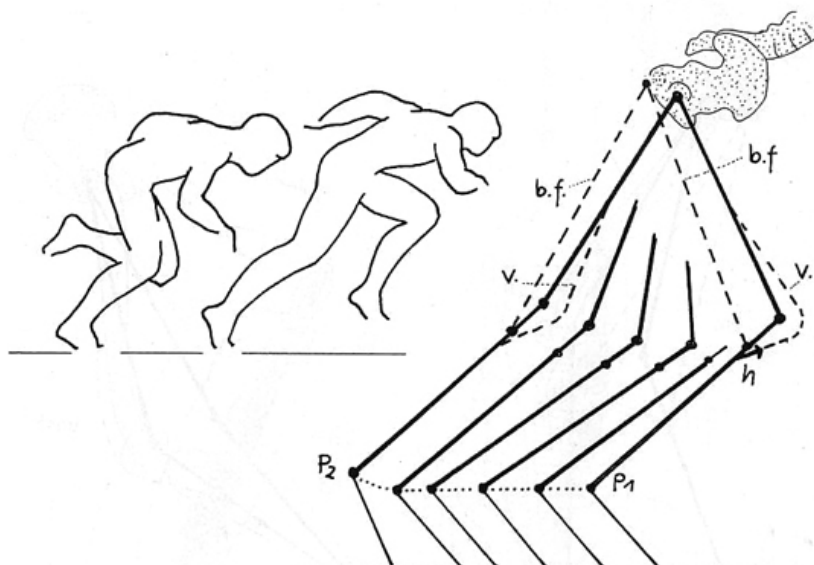
Abbildung 6: Diagramm der Hüftwinkeländerung, der Kniewinkeländerung und der Längenänderung der Fasern der ischiocruralen Muskeln während eines Sprintzyklus von M. GÖHR. p: Phase der "paradoxen" Aktion der ischiocruralen Muskeln



6 Bedeutung der Kniestreckmuskeln beim Sprint

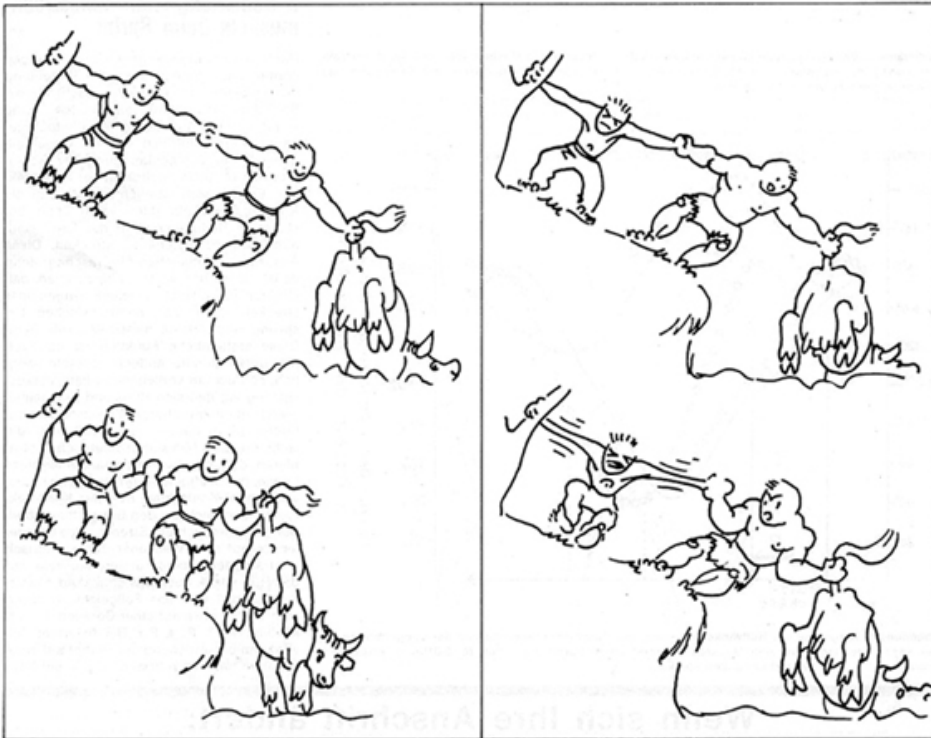
Nach den vorangegangenen Überlegungen könnte man geneigt sein, die Bedeutung der Kniestreckmuskeln (Mm. vasti) für die Sprintbeschleunigung abzuwerten. Eine solch extreme Auffassung wäre jedoch genauso wenig hilfreich wie ihr Gegenteil, nämlich die Vernachlässigung der ischiocruralen Muskeln zugunsten der Kniestrecker. Es läßt sich nämlich zeigen, daß die Kniestreckmuskeln (Mm. vasti) unter bestimmten Bedingungen in der Lage sind, auch das Hüftgelenk zu strecken. Diese Aussage mag manchen überraschen; denn es ist nicht ohne weiteres einzusehen, daß ein Muskel ein solches Gelenk beugen oder strecken kann, das nicht zwischen Ursprung und Ansatz dieses Muskels liegt. Diese erstaunliche Funktion ist natürlich nur unter Mithilfe anderer Muskeln möglich, so auch im vorliegenden Fall: Voraussetzung ist, daß sich Hüft- und Kniegelenk jeweils in einer mittleren Winkelstellung befinden (Abbildung 7) und daß sich die ischiocruralen Muskeln isometrisch kontrahieren, d. h. durch ein Konstanthalten ihrer Länge das Hüftgelenk ihrerseits nicht beeinflussen. Kontrahiert nun der Kniestrecker konzentrisch um den Betrag h (s. Abbildung 7), wird sich ein Strecken des Kniegelenkes auf dem Weg über die isometrisch kontrahierten ischiocruralen Muskeln auf das Hüftgelenk ebenfalls streckend auswirken, so daß sich das Fußgelenk in bezug zum Rumpf etwa auf einer Geraden bewegt (Abbildung 7, P, e Pl). Bei -fixiertem Fuß wird dementsprechend der Rumpf auf einer Geraden nach vorn bewegt. Die in der Konstruktionszeichnung von Abbildung 7 auftretenden Hüft- und Kniegelenkwinkel sind nahezu identisch mit denen eines Kinematogramms von der ersten Stützphase nach dem Start von V. BORSOW.

Abbildung 7: Knie- und Hüftwinkeländerung bei konstanter Länge der ischiocruralen Muskeln (b.f.) sowie konzentrische Aktivität der Kniestrecker (v.). h: Hubhöhe der Kniestrecker



Die Kniestrecke und die ischiocruralen Muskeln scheinen hier als Partner zu agieren, indem die Kniestrecke die Bewegungsenergie erzeugen, die von den ischiocruralen Muskeln auf das Hüftgelenk übertragen wird. Es ist anzunehmen, daß sich nicht nur in der Startphase des Sprints, sondern generell in allen Stützphasen des Laufens eine ähnliche synergistische Wirkungsweise ergibt, wobei - je nach Ausgangsposition und Winkelstellung - sich isometrische, exzentrische und/oder konzentrische Aktionen wechselseitig unterstützen. Selbstverständlich kann diese "konzertierte Aktion" nur bei einem ausgewogenen Kraftverhältnis der beiden Partner gelingen. Die Konsequenzen eines Kraftungleichgewichtes der Partner (meist zuungunsten der ischiocruralen Muskeln) können sowohl aus Abbildung 8 als auch aus Beobachtungen in der Trainings- und Wettkampfpraxis (Zerrungen des schwächeren Partners) abgelesen werden.

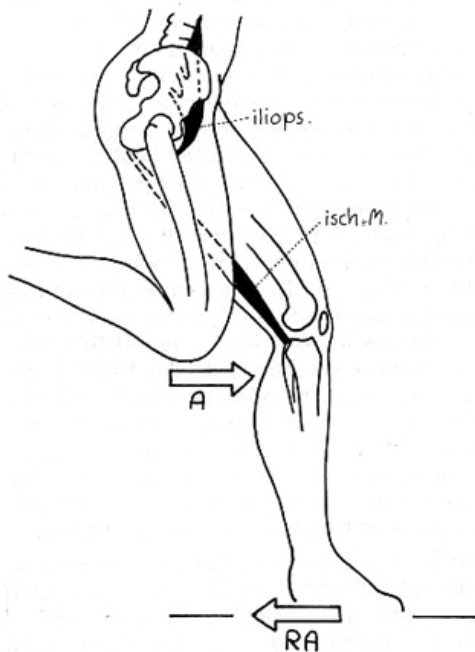
Abbildung 8: Demonstration der Wirkung unterschiedlicher Kräfte innerhalb von Muskelschlingen durch die Partner BIF (jeweils links) und VASTL (jeweils rechts)



7 Schwungbeineinsatz und ischiocrurale Muskeln

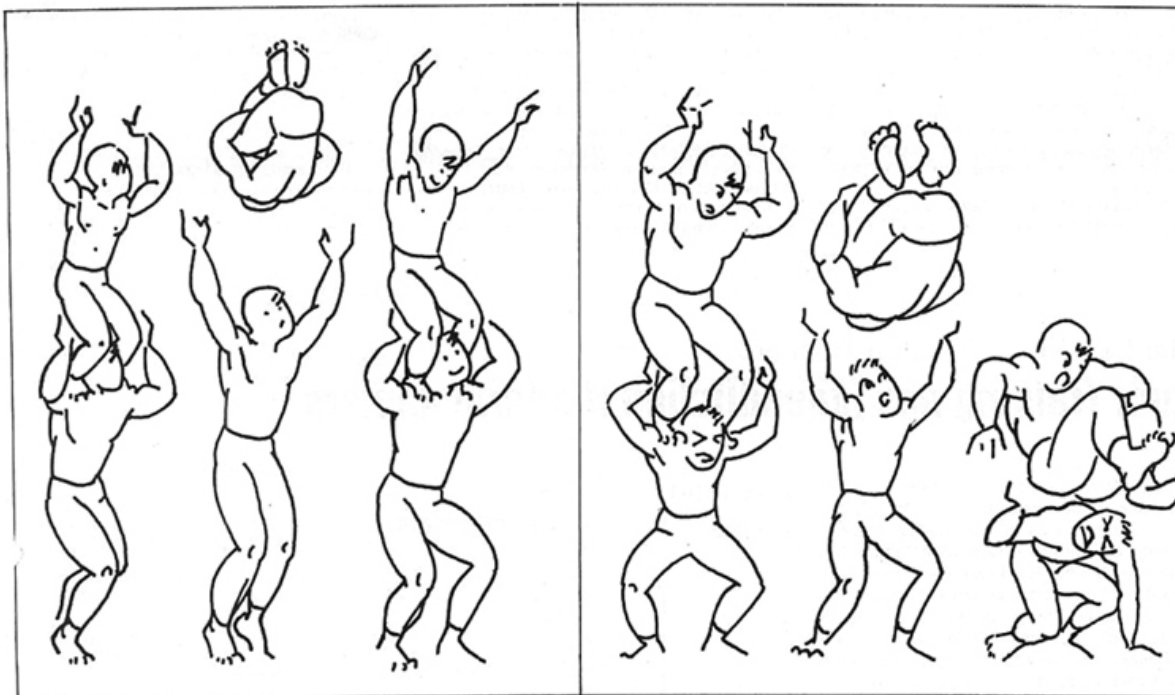
Im allgemeinen wird die Geschwindigkeit des Schwungbeinoberschenkels als ein Leistungskriterium im Sprint angesehen. Nach MERO u. a. (1982) ist der Schwungbeinoberschenkel das beschleunigende Körpersegment während der exzentrischen Phase, also im ersten Teil der Stützphase. MANN u. a. (1986) sehen sogar den Hüftbeuger (M. iliacus) als den wichtigsten Muskel (zusammen mit dem Kniestrecke) für die Vorwärtsbeschleunigung beim Lauf an. Nun kann aber die den Schwungbeinoberschenkel beschleunigende Aktion (Abbildung 9, A) auf den Gesamtkörper nur dann beschleunigend wirken, wenn die Reaktion (Abbildung 9, RA) auf den Boden trifft. D.h.: Die Kraft der Hüftbeugemuskulatur (M. iliopsoas) der Schwungbeinseite, die das Schwungbein horizontal nach vorn beschleunigt, muß auf der Stützbeinseite eine in horizontaler Richtung nach hinten auf den Boden wirkende Gegenkraft besitzen. Diese kann jedoch nur von den Hüftstreckmuskeln, speziell von den ischiocruralen Muskeln, geliefert werden.

Abbildung 9: Kraft (A) und Gegenkraft (RA) des Schwungbeineinsatzes beim Sprint



Diese Aktion setzt ebenfalls eine ausgewogene Balance im Verhältnis der Kräfte der beteiligten Muskeln voraus. In dieser Partnerschaft wirkt die ischioerurale Muskulatur des Stützbeines gleichsam als "Untermann" zur Hüftbeugemuskulatur des Schwungbeines. Ein gesteigertes Krafttraining für die die augenfälligere Aktion erzeugenden Hüftbeugemuskel (M. iliopsoas) bei einem Vernachlässigen der ischiocruralen Muskeln würde das gleiche bedeuten, als ob bei einem Artistenduo nur derjenige ein Krafttraining absolvieren würde, der den spektakulären Part, den Salto auf den Schultern des Untermannes, auszuführen hat. Die Konsequenzen für das Gelingen des Kunststückes und für die Gesundheit des Untermannes lassen sich leicht vorstellen (Abbildung 10). Statt dessen muß der Untermann, da er sowohl das Gewicht des Obermannes als auch die Gegenkräfte seiner Aktionen abzufangen hat, wesentlich kräftiger sein als der Obermann. Die Konsequenzen für die Gestaltung eines Krafttrainings für Sprinter sollten schnell gezogen sein.

Abbildung 10: Demonstration der Wirkung unterschiedlicher Kraftniveaus von Muskelschlingen durch die Artisten IPSO (jeweils Obermann) und BIF (jeweils Untermann)



8 Schlußfolgerungen

Aus dem komplexen Geschehen der Muskelaktionen beim Sprint wurde die Bedeutung der ischiocruralen Muskeln herausgestellt und mit der Funktion anderer Muskeln verglichen. Es stellt sich heraus, daß die

ischiocruralen Muskeln

- isoliert die sprintspezifische Hüftstreckung Kniestreckaktion der Stützphase durchführen können,
- wesentlich höhere Bewegungsgeschwindigkeiten bei gleicher Verkürzungsgeschwindigkeit erzeugen als die Kniestrecker,
- in der Stützphase zumindest gleichberechtigte Partner der Kniestrecker sein müssen und zusätzlich
- die Gegenkraft der Hüftbeugemuskeln der Schwungbeinseite auf den Boden zu übertragen haben.

Bekanntlich kann ein Muskel in einem mittleren Dehnungsgrad seine maximalen Kontraktionskräfte erzeugen. Dieser Dehnungsgrad wird Standardlänge des Muskels genannt. Sowohl bei Überschreitung der Standardlänge (Überdehnung) als auch bei Unterschreitung der Standardlänge (Entdehnung) nimmt die vom Muskel lieferbare Kontraktionskraft ab. Betrachtet man Abbildung 6, läßt sich feststellen, daß sich die Fasern der ischiocruralen Muskeln in der Stützphase in einem Entdehnungszustand von 60-40% der Standardlänge (Durchschnitt von 106 Versuchspersonen) befinden. Daraus muß dreierlei vermutet werden:

Tabelle 1: Faserlänge der ischiocruralen Muskeln in % der Standardlänge bei drei unterschiedlichen Kniewinkelstellungen des Mittelstützes beim Sprint

	1.	2.	3.
Hüftwinkel	165°	165°	165°
Kniewinkel	160°	150°	140°
Faserlänge	62,7%	59,5%	55,8%

1. Da der Grad der Entdehnung in der Stützphase des Sprints von der Kniewinkelstellung abhängig ist (s. Tabelle 1), sollten in

der Stützphase keine allzu niedrigen Kniewinkelwerte auftreten, um die ischiocruralen Muskeln in einem Dehnungszustand zu halten, in dem sie noch hinreichend große Kräfte erzeugen können. ("Hochlaufen" ist gefordert!)

2. Von denjenigen Athleten, bei denen sich die ischiocruralen Muskeln während der Stützphase in einem weniger entdehnten Zustand befinden (bzw. deren ischiocrurale Muskeln - bedingt durch Veranlagung und/oder Trainingseinflüsse - einen "kürzeren" Allgemeinzustand zeigen), sollte man höhere Sprintgeschwindigkeiten erwarten (s. WIEMANN, 1986).

3. Da die konzentrische Tätigkeit der ischiocruralen Muskeln weit vor der Stützphase beginnt (s. Abbildung 6), in einer Phase also, in der die Muskeln aufgrund geringerer Entdehnung noch höhere Kräfte zu erzeugen vermögen, könnte die Sprintgeschwindigkeit davon abhängen, mit welcher Geschwindigkeit der Fuß kurz vor dem Stützfassen sich in bezug zum Rumpf nach hinten bewegt.

Einige der mit der Funktion der ischiocruralen Muskeln beim Sprint zusammenhängenden Fragen versuchen wir in einem vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft geförderten Forschungsprojekt zu klären. Sobald erste Ergebnisse vorliegen, sollen sie auch in dieser Zeitschrift bekannt gegeben werden.

Literatur

ALEXANDER, R. M./VERNON, A.: The dimension of knee ankle muscles and the forces they exert. Journal of Human Movement Studies 1975, 1, 115-123.

ANDREWS, J. G.: The functional roles of the hamstrings and quadriceps during cycling: Lombard's paradox revisited. Journal of Biomechanics 20 (1987), 6, 565-575.

BOSCO, C.: Stretch-shortening cycle in skeletal muscle function. Studies in Sport, Physical Education and Health 15 (1982), University of Jyväskylä, 1-64.

BOSCO, C./TIHANYI, J./KOMI, P. V./FEKETE, G. u. a-: Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscle. Acta Physiologica Scandinavica 116 (1982) 343-349.

CARLSÖÖ, S./MOLBECH, S.: The function of certain two joint muscles in a closed muscular chain. Acta

morphologica neerlando-scandinavica, Vol. 6, 1966, 377-386.

FENN, W. O.: Zur Mechanik des Radfahrens im Vergleich zu der des Laufens. Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. Berlin, 1932, 229-354.

GREGOR, R. J./CAVANAGH, P. R./LaFORTUNE, M.: Knee flexor moments during propulsion in cycling - a creative solution to Lombard's paradox. Journal of Biomechanics 18 (1985), 5, 307-316.

HANNON, P. R./RASMUSSEN, S. A./DeROSA, C. P.: Electromyographic patterns during level

Tabelle 1: Faserlänge der ischiocruralen Muskeln in % der Standardlänge bei drei unterschiedlichen Kniewinkelstellungen des Mittelstützes beim Sprinng inclined treadmill running and their relationship to step cycle measures, Research Quarterly 56 (1985), 4, 334-338.

KAHLE, W.: Taschenatlas der Anatomie. Band 1. Stuttgart, 2. Auflage, 1978.

MANN, R.A./MORAN, G.T./DAUGHERTY, S.E.: Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running and sprinting. The American Journal of Sports Medicine 14 (1986), 6, 501-510.

MERO, A./LUHTANEN, P./KOMI, P. V.: Zum Einfluß von Kontaktphasenmerkmalen auf die Schrittfrequenz beim Maximalsprint. Leistungssport 12 (1982), 4, 308-313.

MOLBECH, S.: On the paradoxical effect of some two-joint muscles. Acta Morphologica Neerlando-Scandinavica, Vol. 6, 1965, 171-178.

SCHMIDTBLEICHER, D.: Neurophysiologische Aspekte des Sprungkrafttrainings.

CARL, K./MECHLING, H./SCHIFFER, J. (Red.): Zur Praxis des Sprungkrafttrainings. Köln 1985.

SCHMIDTBLEICHER, D./NOTH, J./ANTONI, M.: Auftreten und funktionelle Bedeutung des Muskeldehnungsreflexes bei Lauf- und Sprintbewegungen. Leistungssport 8 (1978), 6, 480-490.

WASER, J.: Zum Techniktraining beim Laufen. Leistungssport 15 (1985), 1, 34-38.

WIEMANN, K.: Die Muskelaktivität beim Laufen. Leistungssport 16 (1986), 4, 27-31.