

Zur Interpretation und Veränderbarkeit von Kraft-Zeit-Kurven bei explosiv-ballistischen Krafteinsätzen

Teil II

(Force-time-curves of ballistic muscle contractions: interpretation and changeability. Part 1: Physiological background)

Aus: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 44 (1993), 4, S.136-150.

Modelle zur Rekrutierung bei explosiven MIVCs der ischiocruralen Muskeln

Ist die Freisetzung des vorhandenen Kraftpotentials in möglichst kurzer Zeit für die Leistung in Schnellkraftsportarten entscheidend, müßte man auch von den ischiocruralen Muskeln (iM), die beim Sprint für die Erzeugung des ‚Vortriebs‘ mitverantwortlich gemacht werden können (76), die Fähigkeit zur explosiven Kraftfreisetzung fordern. Somit erscheint es legitim, die iM zum Objekt von Untersuchungen des Explosivkraftverhaltens zu erheben, zumal darin, wenn das Instrumentarium für zutreffende Diagnosen zur Verfügung steht (77). Zu fragen ist, wie sich die iM bei der Aufgabe einer explosiven Kraftfreisetzung verhalten. Besteht die Möglichkeit, mit Hilfe von Kraft-Zeit-Kurven, die unter ‚Laborbedingungen‘ gewonnen wurden, Hinweise auf das Rekrutierungsmuster im Zuge explosivballistischer maximaler isometrischer Willkürkontraktion (MIVCs) zu gewinnen?

Diese Frage soll hier in der Weise beantwortet werden, daß zuerst modellartig geprüft wird, welche Formen von Kraft-Zeit-Kurven während explosiver MIVCs der iM bei unterschiedlichem Rekrutierungsverhalten erwartet werden können. Die entwickelten Modellkurven sollen dann als Interpretationshilfe für experimentell gewonnene Kraft-Zeit-Kurven der iM dienen.

Um ein solches Modell erstellen zu können, müssen zuvor folgende Voraussetzungen geklärt werden:

1. die Fasertypverteilung der iM.
2. die pro Faser und Fasertyp freisetzbare Kontraktionskraft,
3. die Kontraktionszeiten der Fasertypen.

In der physiologischen Forschung werden Daten zur Fasertypverteilung, zur Kontraktionskraft, zur Kontraktionszeit und zu ähnlichen Funktionsparametern der Fasertypen in der Regel aus ethischen und ökonomischen Gründen an tierischen Muskeln gewonnen, bzw. bei entsprechenden Erhebungen an Muskeln des Menschen werden aus pragmatischen Gründen bestimmte Muskeln (M. interosseus dorsalis 1, M. soleus, M. gastrocnemius) bevorzugt untersucht. Zudem behandeln die einzelnen Untersuchungen stets nur wenige Parameter, oft unter Verwendung differierender Methoden, Definitionen und Maßeinheiten. Das hat zur Folge, daß für die einzelnen Muskeln des Menschen - so auch für die iM - die relevanten Daten komplett noch nicht zur Verfügung stehen. Aus diesem Grunde können hier auch nur angenäherte Mittelwerte und abschätzbare Tendenzen Verwendung finden (was im übrigen auch für die Daten in Abb. 1 gilt).

Zur folgenden Modellannahme soll in Anlehnung an *Johnson et al.* (4 1) für die iM eine Fasertypverteilung von -abgerundet- 60/40 (Typ I/Typ II) zugrundegelegt werden, wobei die Typ II-Fasergruppe noch einmal zu gleichen Anteilen in zwei Subtypen zerlegt werden soll, von denen hier die eine ‚intermediär‘, die andere ‚schnell‘ genannt wird. Der Begriff ‚intermediär‘ soll lediglich andeuten, daß dieser Subtyp im Geschwindigkeitsverhalten zwischen den langsamen und schnellen Fasern einzuordnen ist.

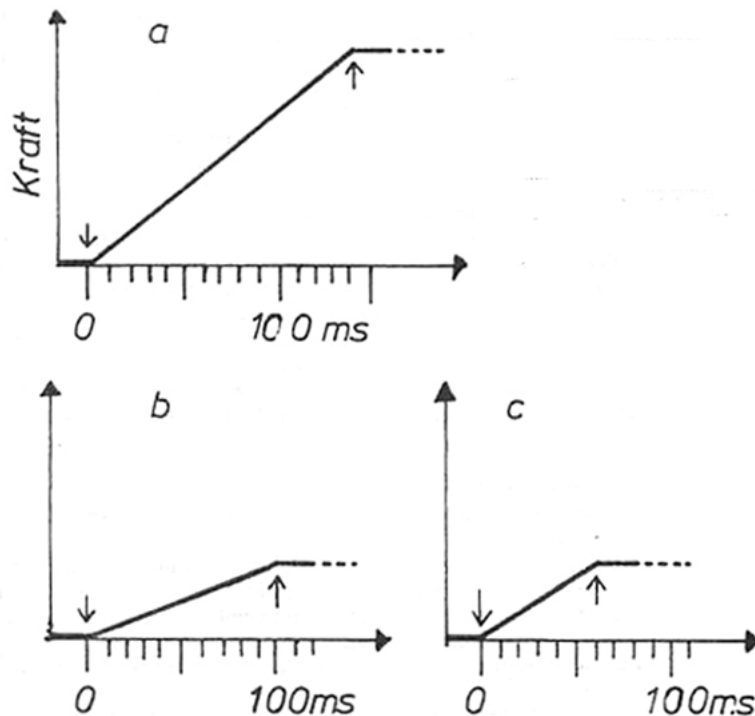


Abbildung 5: Modellhafte Kraft-Zeit-Kurven der angenommenen Fasertypen-Pools der ischiocruralen Muskeln. a: langsame Fasern. b: intermediäre Fasern. c: schnelle Fasern. Die kleinen Pfeile markieren jeweils den Kontraktionsbeginn (Spitze unten) und das Erreichen der Maximalkraft (Spitze oben).

Die in der Literatur zu findenden Angaben über das Verhältnis der Kontraktionskraft einzelner langsamer bzw. schneller Fasern schwanken zwischen rund 1/3 (20) und 1/1 (50), je nach untersuchter Spezies und Art des untersuchten Muskels. Da vor allem *Lucas et al.* (50) die Fasern ein und desselben Muskels vergleichen, soll auch hier von einer Kraftrelation von 1/1 ausgegangen werden. Das ergibt für die im des vorliegenden Modells eine Fasertyp-Kraftrelation von 60/20/20 bzw. 3/1/1 (langsame/intermediäre/schnelle Fasern).

Als letzte Vorgabe ist die Kontraktionszeit der Fasertypen in das Modell einzubringen. In der Regel werden die Kontraktionszeiten von Einzelzuckungen der Fasertypen verglichen (z.B. 9, 27, 66, 80). Nur bei *Desmedt* (20) waren auch die Kontraktionszeiten isometrischer ballistischer Kontraktionen von Muskeln unterschiedlicher Faserzusammensetzung zu finden. Nach diesen Angaben und unter Berücksichtigung des Muskeltyps sollen hier folgende Kontraktionszeiten für isometrisch ballistische Kontraktionen der im berücksichtigt werden:

1. langsame Fasern: 140 ms,
2. intermediäre Fasern: 100 ms,
3. schnelle Fasern: 60 ms.

Nimmt man nun in einem hypothetischen Modellversuch einer maximalen isometrischen Willkürkontraktion an, alle langsamen Fasern - und eben nur diese bei völliger Inaktivität sämtlicher übrigen Fasern - würden zum gleichen Zeitpunkt bei maximaler Innervation mit einer Kontraktion beginnen, müßte die im Diagramm Abb. 5a dargestellte Kraft-Zeit-Kurve zu registrieren sein, im Gegensatz zum Diagramm Abb. 5b, in dem angenommen wird, daß allein die intermediären Fasern eine maximale Kontraktion ausführen. Die isolierte Kontraktion der schnellen Fasern hypothetisiert entsprechend Abbildung 5c.

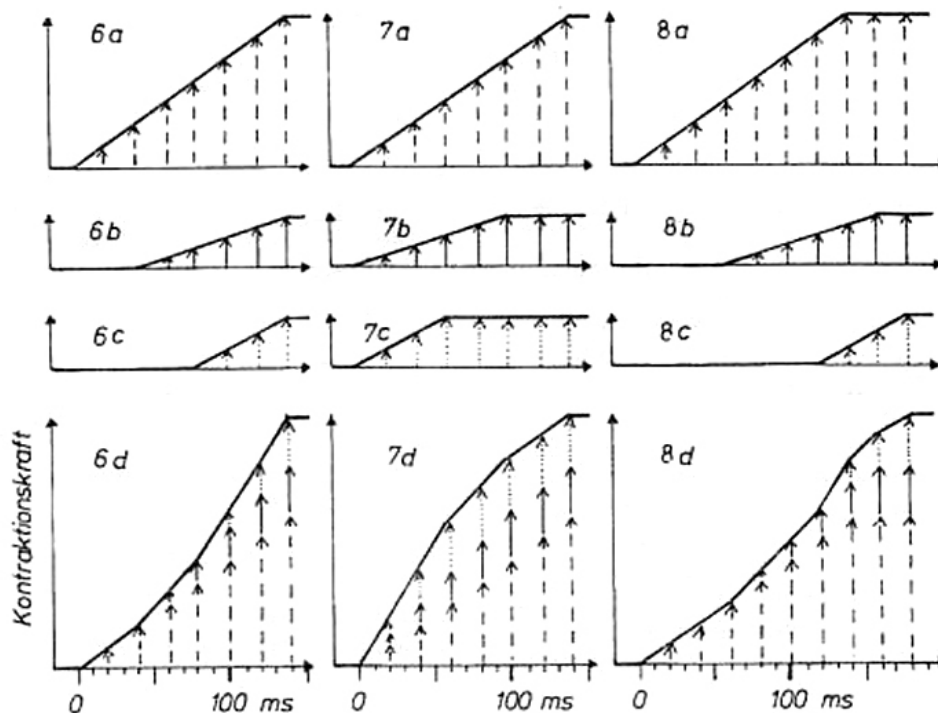


Abbildung 6-8: Modellhafte Beispiele zur Rekrutierung unterschiedlicher Fasertypen (Erläuterungen im Text).

Will man ein Modell entwerfen, das die Beteiligung aller Fasertypen an der Erzeugung der Kontraktionskraft berücksichtigt, muß man vor allem zwei Grenzfälle betrachten: Im ersten Fall soll die Rekrutierung aller Fasertypen - bei jeweils maximaler Frequenzierung - so abgestimmt sein, daß die drei Gruppen zum gleichen Zeitpunkt ihr jeweiliges Kraftmaximum erreichen (ein solches 'Timing' diskutiert Maton (51)). Dazu müssen die langsamen Fasern mit der Kontraktion beginnen (Abb. 6a). Nach 40 ms, zu einem Zeitpunkt also, zu dem die Kontraktionskraft der langsamen Fasern schon bis auf rund 30 % ihres Kraftmaximums angestiegen ist, müssen die intermediären Fasern ihrerseits mit der Kontraktion einsetzen (Abb. 6b), denen dann 40 ms später, d. h. 80 ms nach Kontraktionsbeginn der langsamen Fasern, die schnellen Fasern folgen (Abb. 6c). Ihre ansteigende Kraft addiert sich zur (immer noch ansteigenden) Kraft der langsamen und intermediären Fasern, bis 140 ms nach Kontraktionsbeginn der langsamen Fasern das Gesamtkraftmaximum erreicht ist. Die von Abb. 6a-c aufsummierte - Kraft-Zeit-Kurve bekäme in diesem Modellfall den im Diagramm 6d wiedergegebenen Verlauf.

Auch wenn diese Art der Rekrutierung unter bestimmten Umständen biologisch sinnvoll sein könnte, zur explosiven Krafterzeugung - d.h. zur Freisetzung möglichst hoher Kräfte in möglichst kurzer Zeit - läßt sich ein besseres Modell finden:

Für diesen zweiten Grenzfall soll angenommen werden, daß alle Fasertypen zum gleichen Zeitpunkt mit der Kontraktion in maximaler Frequenzierung beginnen (AW 7a-c). In diesem Fall haben die schnellen Fasern schon nach 60 ms ihr Kraftmaximum erreicht, also zu einem Zeitpunkt, zu dem die Kontraktionskraft der intermediären und langsamen Fasern noch wächst. Nimmt man weiterhin an, daß die schnellen und intermediären Fasern die Maximalkraft zumindest so lange aufrechterhalten, bis auch die langsamen Fasern ihr Kraftmaximum erreicht haben, müßte der im Diagramm 7d dargestellte Kraft-Zeit-Verlauf erwartet werden. Durch die wesentlich größere Fläche unter dieser Kraft-Zeit-Kurve müßten hier entsprechend günstigere Schnellkraftindices zu erwarten sein.

Zusätzlich könnte man noch ein Modell berechnen, bei dem die Fasertypen in einer Rekrutierungsfolge mit der Kraftproduktion beginnen, wie sie bei Bührle (12) durch die dort auf S. 318 wiedergegebene Abbildung 6 angedeutet wird. Die Kraft-Zeit-Kurve erhielte dann den in Abbildung 8d wiedergegebenen Verlauf. Die Ähnlichkeit zum Modell Abb. 6d ist augenfällig.

Explosivkraft-Zeit-Verlauf der iM

Wie verhalten sich nun die iM in der Realität bei der Aufgabe, in möglichst kurzer Zeit eine möglichst

hohe isometrische Kraft zu erzeugen? Wird man einen Kraft-Zeit-Verlauf wie im Diagramm 6d oder 8d erwarten müssen, indem die langsamen Fasern zeitlich früher rekrutiert werden als die übrigen Fasertypen - entsprechend dem Hennemanschen Rekrutierungsprinzip? Oder wird die Kraft-Zeit-Kurve in Form des Modells von Abbildung 7d eine gleichzeitige Rekrutierung der schnellen und langsamen Fasern andeuten (19, 68)?

Zur Untersuchung der Explosivkraft der iM waren die Vpn auf einer Kraftmeßstation in Rückenlage festgurtet und hatten in der in Abbildung 9 dargestellten Position die Aufgabe, mit der Ferse so schnell und so kräftig wie möglich auf die Auflage, an der sich ein Kraftaufnehmer befindet, zu drücken (77). Als Ergebnis wurden Kraft-Zeit-Kurven mit einem bei fast allen Vpn erstaunlich ähnlich geformten Verlauf gewonnen (s. Abb. 10):

Einem anfänglich steilen, mehr oder weniger geradlinigen Anstieg folgt ein 'Knick', dem sich ein weiterer geradliniger, aber weniger steiler Anstieg anschließt, um nach einem weiteren 'Knick' und noch flacheren Anstieg dem Maximum zuzustreben. Die Aufeinanderfolge von steileren und flacheren Anstiegen haben die gewonnenen Kurven mit der hypothetischen Kurve des Diagramms 7d gemeinsam.

Im Gegensatz zum Modell sind die Übergänge naturgemäß fließender. Das gilt besonders auch für den Anstieg während der ersten 20-40 ms. Hier müssen zu Beginn der Kontraktion erst die serienelastischen Elemente gespannt werden, bevor sich zwischen dem äußeren Widerstand und den Sarkomeren die gesamte Kontraktionsspannung aufbauen kann.

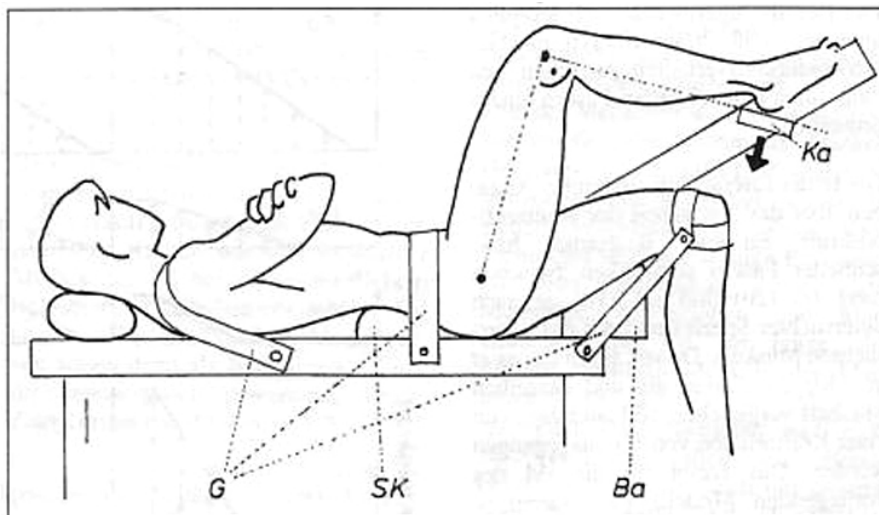


Abbildung 9: Versuchsstand zur Erzeugung maximaler isometrischer Willkürkontraktion der ischiocruralen Muskeln. Ba Beinauflage. G Zerrgurte. Ka Kraftaufnehmer. SK Beckenkeil

Von 33 Vpn, die je 3 explosive Krafteinsätze produzierten, zeigten 24 Vpn in allen drei Versuchen einen Kraft-Zeit-Verlauf, der demjenigen in Abb. 7d (bzw. Abb. 10) entspricht. 6 Vpn erreichten diesen Verlauf nur in zwei der drei Versuche, 2 Vpn nur in einem Versuch, während 1 Vp in allen drei Versuchen einen Kurvenverlauf produzierte, der eher mit dem in Abb. 8d zu vergleichen ist. Aufgrund der interindividuellen Konstanz der Explosivkraftkurven sowie ihrer Kongruenz mit dem hypothetischen Modell 7d kann vermutet werden, daß bei explosiven MIVCs der iM die beteiligten Muskelfasertypen zum gleichen Zeitpunkt mit der Kontraktion beginnen, aber zu unterschiedlichen Zeiten ihr jeweiliges Kraftmaximum erreichen.

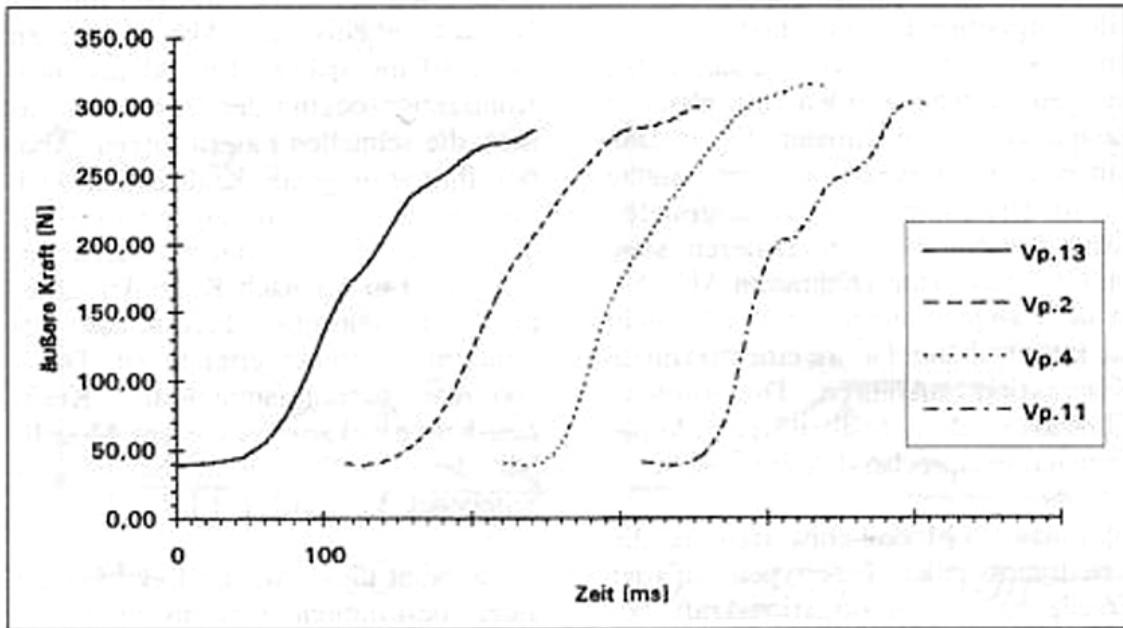


Abbildung 10: Explosivkraft-Verlauf der ischiocruralen Muskeln bei 4 Vpn.

Im Gegensatz zum Modell Abb. 7d zeigen sich anstelle der 'Knicks' gelegentlich auch 'Buckel'. Diese lassen sich dadurch erklären, daß die schnelleren Fasern nach Erreichen ihres Kraftmaximums nicht den maximalen Kontraktionszustand beibehalten, sondern schon wieder mit der Relaxation beginnen, noch bevor die anderen - langsameren - Fasertypen ihr Kraftmaximum erreicht haben. Diese Form des Kraftverlaufes findet man vor allem dann, wenn in der Bewegungsaufgabe kein 'Halten' der Maximalkraft verlangt wird (s. auch Abb. 12). In Variation des modellhaften Verlaufes (Abb. 7d) lassen sich häufig auch mehr als 3 'Knicks' oder 'Buckel' in der Kraft-Zeit-Kurve erkennen. Das könnte entweder auf eine höhere Anzahl von Faser-Subtypen mit unterschiedlichen Kontraktionszeiten, oder auf wiederholte ballistische Kontraktionen vor allem der schnellen ME hinweisen. Für die letztgenannte Interpretation spricht, daß gerade die Typ II-Motoneurone nur kurzzeitig und intermittierend feuern (können).

Rückschluß auf die Faserzusammensetzung?

Wenn es, wie beim Erstellen des Diagramms 7d, möglich ist, mit Hilfe bekannter Daten wie Fasertyp-Verteilung, Kontraktionskraft und Kontraktionszeit pro Fasertyp eine Explosivkraft-Zeit-Kurve vorauszusagen, sollte es auch möglich sein, mit Hilfe von Explosivkraft-Zeit-Kurven im umgekehrten Rechenverfahren die fasertyprelevanten Daten abzuschätzen. Dies soll am Beispiel der Kurve von Abb. 11, die mit der Explosivkraftkurve der Vp 4 auf Abb. 10 identisch ist, versucht werden:

Nimmt man an, daß die am Zustandekommen der Kraft-Zeit-Kurve von Abb. 11 beteiligten Fasertypen zum gleichen Zeitpunkt mit der Kontraktion beginnen und an dem jeweiligen 'Knick' der Kurve ihre Maximalkraft erreicht haben, läßt sich ein Maximalkraftverhältnis der beteiligten Fasertypen (langsame Fasern/intermediäre Fasern/ schnelle Fasern) von 26/51/23 ablesen.

Daraus kann gefolgert werden, daß unter der vorliegenden Aufgabe zur Produktion explosiver MIVCs die ausgewertete Vp langsame, intermediäre und schnelle Fasern in einer Kraftrelation von 26/51/23 zu rekrutieren vermag. Dabei benötigen die Fasertypen vom ersten Kraftanstieg bis zum Erreichen des jeweiligen Kraftmaximums Kontraktionszeiten von rund 60 ins (schnellste Fasern) bzw. 130 ins (intermediäre Fasern) bzw. 180 ins (langsame Fasern).

Aussagen über die zahlenmäßige Verteilung der Fasern der verschiedenen Typen lassen sich natürlich nicht treffen, solange nicht feststeht, wie sich die Kontraktionskräfte der verschiedenen Fasertypen der iM bei explosiv-ballistischen MIVCs in Wirklichkeit zueinander verhalten und ob bei den iM die Fasern ein und desselben Typs alle den gleichen Querschnitt bzw. die gleiche

Volumendichte besitzen und damit die gleiche Kontraktionskraft freisetzen können.

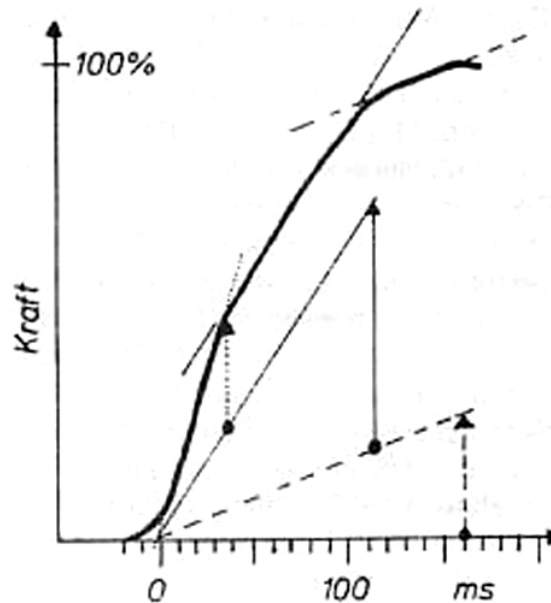


Abbildung 11: Beispiel zur Abschätzung der Fasertyp-Kraftrelation der ischiocruralen Muskeln anhand einer Explosivkraft-Zeitkurve. Die Summe der Maximalkraft-Werte (senkrechte Pfeile) der drei Fasertypen wird 100% gesetzt, so daß sich eine Fasertypkraftretention von 26/51/23 ergibt.

Rekrutierung bei explosiver submaximaler IVC

Die gewonnenen Ergebnisse drängen geradezu die Frage auf, welche Rekrutierungsfolge bei einer isometrischen Willkürkontraktion (IVC) auftritt, bei der als Ziel zwar eine explosive Kraftfreisetzung verlangt wird, die intendierte Kraftspitze aber im submaximalen Bereich bleibt, beispielsweise im Bereich von 50 % F_{max} oder im Bereich beliebiger anderer Kontraktionsintensitäten.

Bei einem solchen Kraftwert sollten gemäß dem Hennemanschen Prinzip zumindest bei langsam ansteigender Kontraktion - nur die langsamen oder zumindest nur noch intermediäre Fasern rekrutiert werden (27, 36). Zieht man die von Johnson *et al.* (41) angegebene Faserverteilung und die im Modell verwendeten Kraftrelationen der Fasertypen der iM zu Rate, müßten eigentlich die langsamen Fasern allein den 50%Wert realisieren können. Allerdings wäre der Anstieg der Kraftkurve nicht 'explosiv'.

Die Lösung dieses Problems scheint der praktische Versuch zu liefern (Abb. 12). In diesem Experiment hatte eine Vp in der in Abb. 9 dargestellten Versuchssituation den Auftrag, neben explosiven maximalen Kontraktionen auch Kontraktionen durchzuführen, die zwar ebenfalls mit höchster Explosivität Kraft freisetzen, deren Kraftspitzen aber von Versuch zu Versuch in beliebigem, unterschiedlichem Prozentsatz unter dem Kraftmaximum liegen sollten. Die produzierten Kraft-Zeit-Verläufe deuten an, daß zumindest in den ersten 50 ms alle Fasertypen annähernd zum gleichen Zeitpunkt mit der Kontraktion beginnen; ansonsten wäre der allen Kraftkurven gemeinsame Anstieg nicht zu erklären, was aus der Betrachtung von Abbildung 7a - 7d sofort einsichtig werden müßte. Das gilt selbst für den Fall, daß nur ein Drittel von F_{max} erzeugt wird, vorausgesetzt, eine möglichst explosive Aktion ist beabsichtigt. Die Kraft-Zeitkurven (Abb. 12) lassen auch vermuten, daß bei abnehmender intendierter Kraftspitze die relative Beteiligung der intermediären und langsamen Fasern an der Bildung des Kraftstoßes abnimmt (64).

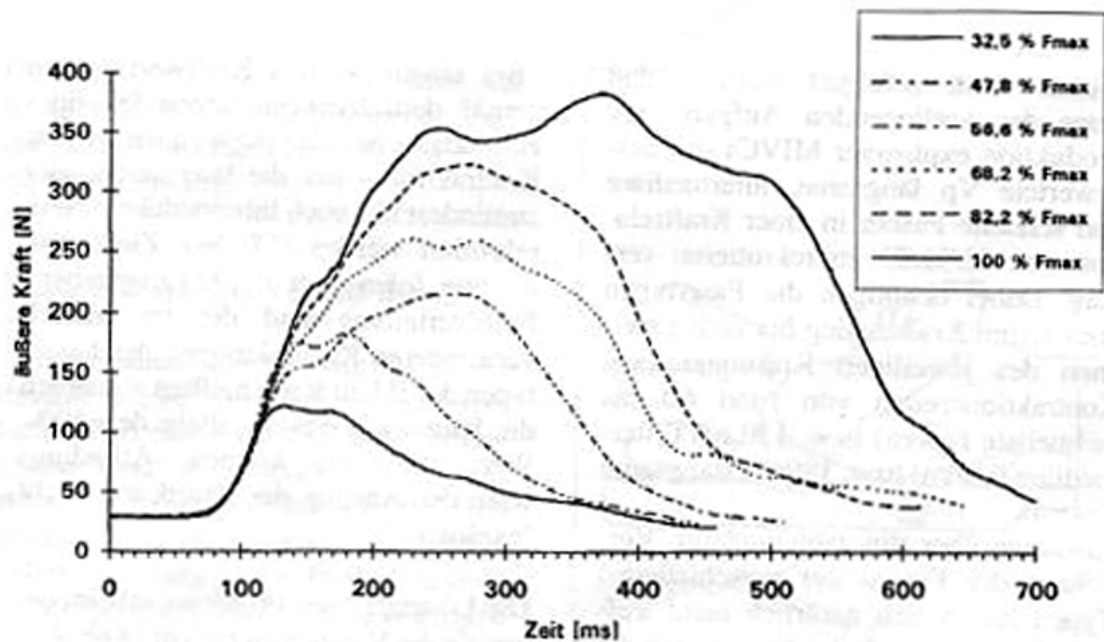


Abbildung 12: Explosive isometrische Willkürkontraktionen der ischiocruralen Muskeln einer Vpn bei unterschiedlich intendierten Kraftspitzen.

Perspektiven

Sollten sich die aus der Interpretation der Explosivkraft-Zeit-Kurven gezogenen Schlußfolgerungen als zutreffend erweisen, eröffnen sich - auch unter der Einschränkung, daß lediglich eine Aussage über die muskelspezifische Kraftrelation der Fasertypen, nicht aber über die Mengenrelation der Fasern unterschiedlicher Typen möglich ist - bedeutsame Perspektiven:

1. Können Zusammenhänge zwischen der Fasertyp-Kraftrelation der iM und der Sprintfähigkeit festgestellt werden?
2. Gibt es bei Sprintern einerseits und Langstrecklern andererseits Differenzen in der Fasertyp-Kraftrelation?
3. Kann die Fasertyp-Kraftrelation der iM durch spezifische Trainingsmaßnahmen beeinflußt werden?
4. Lassen sich mit geeigneten Methoden auch an anderen Muskeln Fasertyp-Kraftrelationen diagnostizieren?
5. Kann die Analyse von Explosivkraft-Kurven ein reliabler, nicht-invasiver Ersatz zur Muskelbiopsie bei der Diagnose der Fasertypenrelation sein?

Trainingspraktische Relevanz

Da das neuromuskuläre System unabhängig vom jeweils realisierten Annäherungsgrad der wissenschaftlichen 'Wahrheitsfindung' an die objektive Wirklichkeit (re)agiert, blieben die bisherigen Ausführungen 'akademisch', würden nicht zumindest daraus ableitbare Konsequenzen für die Trainingspraxis aufgezeigt. Zunächst einmal muß hinterfragt werden, ob die wiederholt ausgesprochene Empfehlung des Freiburger Arbeitskreises (10, 11, 12, 59, 61), zur Anhebung von Start- und Explosivkraft ausschließlich die Methode der maximalen Kräfteinsätze gegen hohe und höchste Lasten (MMK, Widerstände $\geq 90\%$) anzuwenden, nicht doch der Ergänzung bedarf. Zwar konnte (in Freiburg) in einer Reihe von Längsschnittuntersuchungen wiederholt die (diesbezügliche)

eindeutige Überlegenheit der MMK gegenüber der Schnellkraftmethode (SKM) nachgewiesen werden. Die Begründung jedoch, daß die SKM - also die Methode der maximalen Krafteinsätze gegen geringe und mittlere Lasten mit Widerständen zwischen 30 bis 60% - deswegen weniger wirksam sei, weil nur die MMK es gewährleiste, daß die schnellsten ME aufgrund zeitlich ausreichend lange dauernder Kontraktionen ihre vollständige mechanische Effizienz entwickeln können...' (61), bedarf nunmehr der Überprüfung.

Der Hauptgrund der angesprochenen Überlegenheit der MMK dürfte darin liegen, daß sich das Spektrum erfolgreicher bzw. alternativer Bewältigungsstrategien (zur Überwindung der Last) mit zunehmender Widerstandsgröße immer weiter einengt: Submaximale und maximale Lasten lassen sich nur dann (noch) bewegen, wenn der zentral erteilte Befehl und unmittelbar damit verknüpft der neuronale Einstrom zu den (Alpha-Motoneuronen maximiert wird. So werden auch die Typ II-ME dazu 'gezwungen', wiederholt (innerhalb einer Hebung) mit höchster Frequenz zu entladen. Folglich liegt die Hauptwirkung der MMK - genau dem Trainingsziel entsprechend - zweifelsfrei in einer signifikanten Erhöhung der neuronalen Aktivierung. Dieser Adaptationseffekt läßt sich mittels Oberflächen-EMG sehr gut belegen. So zeigt sich bzgl. der Veränderung der Kraft-Zeit-Kurve einerseits und der korrespondierenden Änderung der Verlaufs-Charakteristik der EMG-Aktivität andererseits eine auffällige Parallelität (32, 46, 47, 61).

Als nicht unerheblicher Nebeneffekt muß in diesem Zusammenhang noch die qualitative und/oder quantitative Veränderung des sarkoplasmatischen Retikulums (SR) Erwähnung finden (24). Hier wird vor allem die zeitliche und quantitative Veränderung der Kalzium-Freisetzung bzw. -Wiederaufnahme diskutiert (1). Auch diese die Querbrückenbildung unmittelbar beeinflussenden Prozesse scheinen zumindest indirekt der Frequenzsteuerung zu unterliegen. Da die durch die MMK zu erzielenden Adaptationseffekte nach spätestens 6 bis 8 Wochen erfahrungsgemäß ausgeschöpft sind, erscheint danach ein Wechsel der Krafttrainingsmethode unter Verfolgung eines anderen Ziels zweckmäßig. Aufgrund des Freiburger Befundes, demzufolge die MMK nicht nur - wie dargestellt - die neuronale Aktivierung verbessert, sondern zugleich auch die Start- und Explosivkraft erhöht, bleibt innerhalb dieses Ansatzes nur das Alternieren mit dem Querschnittstraining nach der Methode der submaximalen Krafteinsätze gegen mittlere bis hohe Lasten ('QM', Dosierung: 70 - 85% MVC) übrig. Die Gewichtswiderstände (Hantel oder Kraftmaschine) werden hier im allgemeinen 'ruhig' bis 'zügig' überwunden.

Bezogen auf die Kontraktionsschnelligkeit der beanspruchten Muskelgruppen kommt es sowohl beim Einsatz der MMK (gezwungenermaßen) als auch bei der QM (zur Verlängerung der Spannungsdauer) zu nur sehr geringen Ausprägungsgraden. Insofern scheint die SKM eine sinnvolle Ergänzung zu sein. Auch die inzwischen weitestgehend akzeptierte Wirkungsspezifität jeglicher Trainingsübungen (15, 32, 42, 47, 55, 69) ist ein schwergewichtiges Argument für das Einbeziehen der SKM. Die Freiburger Befunde sprechen dagegen. Möglicherweise läßt sich dieser Widerspruch durch folgende drei Erklärungsansätze aufbrechen:

Zum einen geht aus den Freiburger Testprotokollen (Zusammenfassung bei 11) nicht eindeutig hervor, ob das Testen der Start- und Explosivkraft dynamisch oder aber ausschließlich isometrisch erfolgte. Ist letzteres der Fall wie etwa bei der Untersuchung, deren Ergebnisse 1987 publiziert wurden (61) - konnte die SKM-Gruppe ihren ggf. doch erzielten 'Kontraktilitätsgewinn' möglicherweise deswegen nicht einbringen, weil sie dynamisch trainiert bzw. adaptiert war. Ein sofortiges, ungehemmtes Freisetzen aller Kräfte unter isometrischen Bedingungen ist zwar prinzipiell auch möglich, setzt jedoch hoch belastbare Sehnen und eine gerade bei sehr schnellkräftigen Vpn erfahrungsgemäß nur selten anzutreffende 'ungeteilte' Motivation voraus. Dies gilt vor allem bei isometrisch-ballistischer Testung der oberen Extremitäten. Im Gegensatz dazu liegt die Ähnlichkeit der Aufgabenstellung bei Einsatz der MMK (mit Widerständen bis zu 100% + 1kg) und isometrischer Testbeanspruchung auf der Hand. Mit anderen Worten: Akzeptiert man das bereits angesprochene und wiederholt nachgewiesene Phänomen der 'Trainings(wirkungs)-Spezifität', so muß diese sich in einer korrespondierenden 'Test-Spezifität' widerspiegeln. Ein- und Ausgangstests beider Versuchsgruppen sollten demzufolge nicht nur unter statischen, sondern - gerade bei ballistischer Zielvorgabe - auch unter dynamischen Bedingungen vorgenommen werden. Das gilt vor allem dann, wenn - wie bei der Positionierung der Vp auf dem Freiburger 'Testtisch' gegeben - durch rechtwinkliges Ausrichten des Ellbogengelenks der M. triceps brachii unter isometrischen Bedingungen bei genau diesem 90°-Winkel kaum Kräfte in der geforderten vertikalen Ausstoßrichtung entfalten kann. (Damit wird die prinzipielle Möglichkeit angedeutet, daß dieser Muskel im Rahmen einer explosivdynamischen Bewältigungsstrategie in Relation zu den beiden anderen beteiligten Kinetoren - M. pectoralis major und M. deltoideus - im

Sinne des 'ImpulseTiming' erst später, also bei stumpferem Arbeitswinkel seine volle Aktivierung erhält).

Zum zweiten: Die Untersuchungskollektive setzten sich aus weitgehend (kraft)untrainierten Versuchspersonen zusammen. Daß unter solchen Eingangsvoraussetzungen durch die MNIK ein höherer Zugewinn an Start- und Explosivkraft als unter SKM-Bedingungen erzielt werden kann, entspricht den Erwartungen; dies deswegen, weil eine Verbesserung der neuronalen Aktivierung quasi 'automatisch' eine Frequenzerhöhung der 'freigesetzten' Impulse nach sich zieht, die die Muskelfasermembran erreichen. Da diese 'Freisetzung' trainings-induziert in kürzerer Zeit gelingt (vgl. 32, 47, 61), hat das entsprechende positive Veränderungen der Kraftentwicklungsrate zur Folge. Der zusätzlich zu erzielende Effekt, daß nämlich bei wiederholtem, maximalem willentlichen Einsatz 'aller Kräfte' schließlich auch ME einbezogen werden können, die in untrainiertem Zustand (noch) nicht aktivierbar waren, verstärkt im doppelten Wortsinn die unbestrittene Wirkungsrichtung der MMK.

Zum dritten: Die nach der SKM trainierenden Vpn erhielten keine Rückmeldung über die Qualität ihrer Versuche. Setzt man beim Schnellkrafttraining eine Zeitkontrolle ein ('ZSKM', Messung in ms durch Lichtschranken), so zeigen sich bei Trainierten wie auch bei Untrainierten ab etwa 40% Widerstandsgröße bereits bei der zweiten Wiederholung innerhalb derselben Serie erhebliche Reduktionen der Hantelgeschwindigkeit. Bei Lasten im Bereich von 50 bis 60% MVC sind diese vermutlich zentral bedingten Ermüdungseffekte noch deutlicher ausgeprägt (vgl. dazu auch 2). Bedingung dafür ist ein jeweils explosiv-ballistischer maximaler Krafteinsatz. Diese Geschwindigkeitsminderungen werden subjektiv allerdings nicht registriert, da es dafür keine präzise messenden internen Rückmeldesysteme gibt.

D.h.: Wird ein SKM-Satz ohne Zeitkontrolle und ohne Einräumen von Pausen, also quasi 'rhythmisch' durchgeführt, kommt es in der Tendenz eher zu Beanspruchungen, die denen eines Querschnitts-Trainings nicht unähnlich sind. Auch dabei werden bekanntlich nur 5 bis 10 Wiederholungen innerhalb eines Satzes gefordert. Das Hauptmerkmal der meisten Querschnittsmethoden besteht darin, wiederholte submaximale Krafteinsätze zu fordern. Folglich erzwingen nur die letzten Wiederholungen innerhalb jedes Satzes eine (partielle oder ggf. vollständige) Aktivierung höherrangiger ME. Ob dies dann aufgrund der bereits eingetretenen Ermüdung - überhaupt noch gelingt, muß offen bleiben. Nach *Grimby & Hannerz* (27) koppeln sich zumindest höchstrangige Typ II-Motoneurone bei wiederholten oder länger dauernden maximalen Krafteinsätzen schon nach 5 bis 20s aus und feuern überhaupt nicht mehr.

Bei der SKM hingegen ist ein dazu invers verlaufender Prozeß zu beobachten. Da die dabei vorgegebene Widerstandsgröße relativ gering ist, können zu deren Überwindung - trotz ebenfalls von Versuch zu Versuch zunehmender Ermüdung - verschiedene submaximale Bewältigungsstrategien eingesetzt werden: Die Hebung der Last gelingt - im Gegensatz zu den MMK-Bedingungen in jedem Fall. Der subjektive Eindruck, gemäß der Vorgabe Schnellkrafttraining 'alles' gegeben zu haben, dominiert auch dann noch, wenn sich die Hantel(end)geschwindigkeit objektiv bereits erheblich verringert hat.

Benutzt man die ZSKM, um die Qualität des Schnellkrafttrainings zu überwachen (71), und erhöht die Widerstandsgröße auf beispielsweise 50%, so empfiehlt es sich, innerhalb der Serien quasi nur Einzelversuche mit ca. 3 bis 5s Pause zu fordern. Diese Intervalle können unmittelbar zur Bekanntgabe der jeweils erzielten Zeit genutzt werden. Wird entsprechend verfahren, z.B. 5 Sätze mit je 5 Wiederholungen, so ist unter dynamischen Testbedingungen eine Überlegenheit bzw. Unterlegenheit der ZSKM im Vergleich zur Wirkungsrichtung der MMK nicht nachweisbar (72). (Die 'dynamischen Testbedingungen' bestanden darin, einerseits eine 30%- sowie eine 50%-Gewichtslast Referenz: Bestleistung im Bankdrücken, - andererseits eine 15-kg-Hantel mit maximaler Geschwindigkeit vertikal auszustoßen.)

Untersuchungsergebnisse an polnischen Werfern der Spitzenklasse (53) bestätigen die Effektivität der (zeitkontrollierten) 'Speed-Power-Methode'. Nach den Erfahrungen dieses Autors können sogar Widerstandsgrößen bis zu 70% etwa beim Reißen - vorgegeben werden. Entscheidend ist die Grundkonzeption, derzufolge nicht mehr ganzjährig versucht werden soll, gemäß der beim Gewichtheben vorliegenden Vorgabe vorzugehen - nämlich eine immer schwerer werdende Last gerade noch zu heben -, sondern analog zur leichtathletischen Aufgabenstellung eine konstante Last immer schneller zu bewegen.

So könnte ein Alternieren zwischen QM, MNIK und ZSKM (in dieser Reihenfolge) mit

saisonbezogenen Akzentsetzungen ein Optimierungsansatz sein, um durch spezifischer ausgerichtete Belastungsformen einen fließenden Übergang zu den Inhalten des speziellen Krafttrainings herzustellen. Prinzipiell erscheint es auf diesem Wege möglich vor allem in Hinblick auf mehrjährige Trainingsprozesse -, (noch) steilere Anstiegsraten der Kraft-Zeit-Kurven bei explosiv-ballistischen Krafteinsätzen zu erzielen.

Schlußbemerkungen

Zieht man ein Fazit, so ist eine Veränderung des unteren und mittleren Abschnitts von Kraft-Zeit-Kurven im Sinne einer Steigerung des Kraftgradienten primär auf drei Wegen möglich:

- Erhöhung von Querschnitt/'Packungsdichte' der Typ II-Fasern
- Erhöhung der Innervationsfrequenzen
- Erhöhung der Kontraktilität.

Die erste Möglichkeit ist - wie ausgeführt - in hohem Maße talentlimitiert. Wer in seiner für die Zielmotorik 'zuständigen' Muskulatur relativ viele schnelle ME besitzt, kann aus einer komplexen Muskelhypertrophie den größten Nutzen ziehen. Um auch bei heterogenerem Faserspektrum und im Querschnitts-Training üblichen submaximalen Krafteinsätzen von der ersten Wiederholung an (innerhalb jeden Satzes) möglichst viele 'höherrangige' Typ II-ME zu integrieren, empfiehlt es sich, bei der Festlegung des Trainingsgewichts nicht unter die 85%-Grenze zu gehen. Geringere Belastungsgrößen mit entsprechend höheren Wiederholungszahlen pro Satz - könnten sonst zu einer vornehmlichen Beanspruchung und Adaptation 'nachgeordneter' ME führen.

Untersuchungsergebnisse von *Häkkinen* (32) am M. quadriceps fein. bestätigen diese auf der Basis des Rekrutierungsprinzips ausgesprochene Dosierungs-Empfehlung zumindest indirekt. Danach verringerte sich die maximale IEMG-Aktivität innerhalb eines vierwöchigen Querschnittstrainings, sofern Belastungshöhen von 70 bis 80% vorgegeben wurden. Hingegen erhöhte sich die max. elektrische Aktivität des beanspruchten Muskels, nachdem die gleiche Zeitspanne im 80 bis 90 %-Bereich trainiert worden war.

Ein selektives Erfassen der Typ II-ME mit entsprechender Hypertrophie dürfte allerdings - wenn überhaupt - nur über explosiv- reaktiv-ballistische Beanspruchungen zu realisieren sein (29, 32). Ein weiterer prinzipieller (selektiver) Zugang wird von *Grimby & Hannerz* (27) aufgezeigt. Danach gelang eine ausschließliche Typ II-Aktivierung, wenn die Vpn den Muskel vor einem maximal schnellen Spannungsanstieg völlig entspannten. Allerdings überprüften die genannten Autoren hier keine kraftbezogene Fragestellung.

Eine selektive Querschnittsvergrößerung oder eine Erhöhung der AktoMyosindichte der Typ II-Fasern besitzt bei körperrgewichtslimitierten Sportarten offenkundig besondere Relevanz. In bezug auf die myofibrilläre Volumendichte konnten - wie bereits erwähnt Unterschiede bis zu 50% nachgewiesen werden (42). Ob hier ein genetischer Faktor vorliegt oder aber spezielle Beanspruchungsmechanismen eine besonders attraktive Adaptationsvariante auslösen, ist bisher unklar.

Eine Typ II-limitierte Hypertrophie dürfte ferner überall dort wichtig sein, wo es nicht nur um ein schnelles Anwachsen der Kraft, sondern in ebenso hohem Maße um ein schnelles Entspannen geht. So wären zur Erzielung hochfrequenter Bewegungszyklen die erheblich längeren Entspannungszeiten der Typ I-ME eher hinderlich (27, 28, 64). Daß diesem Aspekt sowohl in bezug auf die maximale Sprintschnelligkeit als auch bez. der durch falsches Krafttraining erhöhten Verletzungsproblematik in dieser Disziplin eine besondere Bedeutung zukommt, liegt auf der Hand. So ist beispielsweise vom ehemaligen Sprint-Doppelolympiasieger V. Borsov (UdSSR/ Ukraine) bekannt, daß er bei entspr. Tests die kürzesten Entspannungszeiten erreichte (79). (Möglicherweise wird mit diesem Befund allerdings auch nur die eingangs angesprochene Parallelität zwischen Entspannungsfähigkeit und Kontraktilität der verschiedenen Fasertypen bestätigt).

Erhöhungen der Innervationsfrequenzen im Sinne der neuronalen Aktivierung lassen sich - wie belegt - am effektivsten über die MMK erzielen. Ob von der naheliegenden Alternative einer noch intensiveren supramaximalen exzentrischen Belastung Gebrauch gemacht werden sollte, hängt vermutlich vom zu trainierenden Muskel ab. Während der M. gastrocnemius willentlich unter konzentrischen Bedingungen nicht zur vollen Spannungsabgabe gebracht werden kann (21), verhält es sich beim M. soleus offenbar anders. Hier kann auch eine supramaximale Reizung (mittels Elektrostimulation) kaum höhere Spannungen erzeugen.

Untersuchungen der Kniestreckmuskulatur belegen allerdings, daß der exzentrisch erzielbare Zugewinn physiologisch 'kontrolliert' wird. So scheinen Schutzmechanismen (über die Golgiorgane) dafür zu sorgen, daß trotz subjektiv maximaler Anstrengung die exzentrisch erreichbare - und prinzipiell höhere - Kraftspitze bei weiter gesteigerten Dehnungsgeschwindigkeiten nicht mehr zunimmt. Die korrespondierende EMG-Aktivität reduziert sich dabei sogar (75). (Der hier angedeutete Antagonismus zwischen autogen-inhibitorischen Sehnenrezeptoren und autogen-exzitatorischen intrafusalen Rezeptoren gilt selbstverständlich auch für den M. triceps surae). Folglich kommt es zum einen auf das vorliegende Faserspektrum, zum anderen aber auf die von Muskel-Sehnen-Komplex zu -Komplex variierende 'Spannungsreserve' bzw. individuell variierende 'Belastungstoleranz' an, wann Hemmungsprozesse 'intervenieren'.

Die Kontraktilität besitzt vermutlich die höchste Bewegungsspezifität. Folglich kann sie im speziellen Krafttraining ('SKT'), das als Sonderform des Techniktrainings die serielle Reproduktion des Zielbewegungsablaufs unter erschwerten/erleichterten Bedingungen beinhaltet, sehr techniknah eingesetzt und somit optimal transformiert werden. Um die Kontraktilität jedoch auch effektiv und kontinuierlich (weiter) zu entwickeln, erscheint es zweckmäßig, der Schnellkraftmethode mit Belastungsgrößen zwischen 50 und 70% die es explosiv-ballistisch unter Zeitkontrolle jeweils als Einzelversuch zu überwinden gilt - eine zielgerichtete 'Brückenfunktion' zuzuweisen. Dadurch ist es prinzipiell möglich, die Kluft zwischen hohen bzw. höchsten Widerständen und daraus resultierenden niedrigen Bewegungsgeschwindigkeiten einerseits (wie im Rahmen des Querschnittstrainings mit phasischen bzw. zur Erhöhung der neuronalen Aktivierung mit explosiv-tonischen Anspannungen vorgegeben) und geringen Widerstandsgrößen mit korrespondierend höchsten Bewegungsgeschwindigkeiten andererseits (wie im Rahmen des speziellen Krafttrainings bei minimalen Anspannungszeiten üblich) zu schließen. Da wiederholte Belastungen im Sinne der ZSKM mit weniger als 40% Widerstandsgröße zumindest bei Hochtrainierten keine gravierenden Reduktionen der Hantelgeschwindigkeit induzieren, muß der naheliegende Ansatz, die Kontraktilität durch besonders leichte Gewichtswiderstände steigern zu können, unter dem Aspekt 'Kraft-Training' fallengelassen werden. Mit abnehmender Widerstandsgröße wird die Spannungsdauer immer kürzer und die realisierbare Spannungshöhe immer geringer. Ohne reaktive Komponente erscheint daher ein Schnellkrafttraining mit Lasten deutlich unterhalb von 50% tatsächlich wenig effektiv. Ein weiterer Begründungszusammenhang, konzentrisch nicht unter die 50%-Grenze zu gehen, könnte darin bestehen, daß nach den erwähnten Untersuchungsergebnissen von *Desmedt & Godaux* (17) auch bei ballistischer Aktivierung die maximal erreichbaren Frequenzen zumindest noch bis zu dieser 'Zielgröße' ansteigen. Diese Argumentation berücksichtigt allerdings nicht, daß das bei maximaler ballistischer Aktivierung erzielbare 'relative dynamische Kraftmaximum' auch bei geringen Widerständen (:g 20%) bereits die 50%-MVC-Grenze überschreitet.

Inwieweit plyometrische Belastungsserien (81) - die bei den Beinen einen nachweislich hohen und ggf. sogar selektiven Trainingseffekt bewirken (32) auch für die oberen Extremitäten ohne Verletzungsgefährdung empfehlenswert sind, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Versuche mit kontrolliertem, möglichst schnellem Absenken der Hantel (Hantelstange mittels Rohrisolierung gepolstert) und unmittelbar anschließendem explosivem Ausstoßen ('Bankstoßen') belegen, daß dabei (erwartungsgemäß) höhere absolute Hantelgeschwindigkeiten zu erzielen sind als bei einer Ausstoßbewegung aus der Ruhelage (vgl. dazu auch 78).

Abschließend sei auf einen Aspekt hingewiesen, der im sog. 'post-anabolen' Zeitalter sicherlich noch an Bedeutung gewinnen wird: die individuell auszurichtende Planung und (biochemische) Überwachung der Belastungs- und Regenerationsphasen. Da krafttrainingsinduzierte Adaptationsprozesse u.a. Testosteron und Wachstumshormone (HGH) benötigen bzw. verbrauchen, besitzt deren körpereigene Produktion(sssteigerung) maßgeblichen Anteil an einem möglichst vollständigen Ausschöpfen der querschnittsbezogenen Adaptationsreserve (8, 31, 63).

Der Einfluß der männlichen Geschlechtshormone auf die maximale neuronale Aktivierungskapazität - bei gegebenem Querschnitt - ist hingegen weniger eindeutig geklärt. Möglicherweise liegt hier der Schlüssel zur Aufhebung des Widerspruchs zwischen weltweit praktizierten - und offenkundig bislang erfolgreichen - Dopingpraktiken einerseits und der Aussage einiger Biochemiker (22), daß Steroidapplikation bei männlichen Erwachsenen leistungsbezogen eher einen Placebo-Effekt auslöse; dies deswegen, weil direkt proportional zur Einnahme von Fremdhormonen die Testosteron-Eigenproduktion erheblich gemindert wird. Der von *Rokitzki et al.* (54a) vorgelegte bemerkenswerte Befund einer signifikanten selektiven Querschnittszunahme der Typ II-Fasern bei jahrelang Anabolika konsumierenden Bodybuildern widerspricht dieser Placebo-These jedenfalls und scheint (zumindest

indirekt) auf die angesprochene neuronale Komponente hinzuweisen. Unabhängig von dieser offenen Frage muß im Rahmen eines 'sauberen Sports' gerade bei hochintensiven Beanspruchungen das Einhalten ausreichend langer Entlastungsintervalle im Verbund mit einer individuellen Trainingssteuerung als Voraussetzung dafür angesehen werden, daß das neuromuskuläre System sich dem explosivballistischen Trainingsziel gemäß adaptieren kann.

Literatur

- (1) Alway, S.E. et al.: Contractile adaptations in the human triceps surae after isometric exercise. *J. Appl. Physiol.* 66 (1989) 2725 - 2732
- (2) Arendt-Nilsen, L., K.R. Mills: Muscle fibre conduction velocity, mean power frequency, mean EMG voltage and force during submaximal fatiguing contractions of human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58 (1988) 20-25
- (3) Åstrand, P.-D., K. Rodahl. *Textbook of work physiology.* New York 1987
- (4) Badtke, G. et al.: *Sportmedizinische Grundlagen der Körpererziehung und des sportlichen Trainings.* Leipzig 1987
- (5) Bellemare, F. et al.: Motor-unit discharge rates in maximal voluntary contractions of three human muscles. *J. Neurophysiol.* 50 (1983) 1380- 1392
- (6) Bembem, M.G. et al.: The effect of the rate of muscle contraction on the force-time-curve parameters of male and female subjects. *Res. Q. Exerc. & Sport* 61 (1990) 96- 99
- (7) Bodine, S.C. et al.: Maximal force as a function of anatomical features of motor units in the cat tibialis anterior. *J. Neurophysiol.* 57 (1987) 1730- 1745
- (8) Boone, I.B. et al.: Resistance exercise effects on plasma cortisol, testosterone and creatine kinase activity in anabolic-androgenic steroid users. *Int. J. Sports Med.* 11 (1990) 293- 297
- (9) Buchthal, F., Schmalz-Hans, H.: Contraction times and fiber types in intact human muscle. In: *Acta Physiologica Scandinavica*, 79 (1970) 435-452.
- (10) Bührle, M.: Einführende und resümierende Aspekte zum Symposiumsbereich. In: Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings.* Schorndorf (1985a) 9- 13
- (11) Bührle, M.: Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings.* Schorndorf (1985b) 82- 111
- (12) Bührle, M.: Maximalkraft-Schnellkraft-Reaktivkraft. *Sportwiss.* 19 (1989) 311-325
- (13) Citterio, G., E. Agostini.: Selective activation of quadriceps muscle fibers according to bicycling rate. *J. appl. Physiol.* 57 (1984) 371- 379
- (14) Claniann, H.P. et al.: Motor pool organization in monosynaptic reflexes: responses in three different muscles. *J. Neurophys.* 50 (1983) 725-742
- (15) Deschenes, M.: Short review: Rate coding and motor unit recruitment patterns. *J. appl. Sports Science Research* 3 (1989) 33- 39
- (16) Desniedt, J.E., E. Godaux: Fast motor units are not preferentially activated in rapid voluntary contractions in man. *Nature* 267 (1977a) 717-719
- (17) Desmedt, J.E., E. Godaux: Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J. Physiol.* 264 (1977b) 673- 693
- (18) Desniedt, J.E., E. Godaux.: Ballistic contractions in fast and slow human muscles: discharge patterns of single motor units. *J. Physiol.* 285 (1978) 183-196
- (19) Desniedt, J.E.: Patterns of motor commands during various types of voluntary movement in man. In: *Trends in Neurosciences*, 3 (1980) 265-268
- (20) Desmedt, J.E.: The size principle of motoneuron recruitment in ballistic or ramp voluntary contractions in man. In: Desmedt, J.E.: *Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease.* Progress in Clinical Neurophysiology, Band 9. Basel (1981) 97-136
- (21) Dietz, V.: Neurophysiologische Grundlagen des Kraftverhaltens. In: Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings.* Schorndorf (1985) 16- 34
- (22) Donike, M. et al. (1985).- Die Suppression der endogenen Androgenproduktion durch Methandienon. In: Franz, I.-W., H. Mellerowicz, W. Noack (Hrsg.): *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt.* Berlin-Heidelberg: (1985) 508- 512
- (23) Duchateau, J. et al.: Contributions of slow and fast muscles of triceps surae to a cyclic movement. *Euro. J. Appl. Physiol.* 55 (1986) 476- 481
- (24) Edrington, L., L. Giiniby: Effect of exercise on the motor unit. *Muscle and Nerve* 9 (1986) 104-126
- (25) Ewing, J.L. et al.: Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fiber characteristics. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61 (1990) 159-162
- (26) Freund, H.-J., H.J. Büdingen: The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm

muscles. *Exp. Brain Research* 31 (1978) 1-12

(27) Grintby, L, J. Hannerz: Flexibility of recruitment order of continuously and intermittently discharging motor units in voluntary contraction. In: Desmedt, LE. (Hrsg.): *Progress in Clinical Neurophysiology*. Band 9. Basel (1981) 201-211

(28) Grimby, L: Motor unit recruitment during normal locomotion. *Medicine Sport Science* 26 (1987) 142- 151

(29) Haan, A. de, M.A.N. Lodder, A.J. Sargeant: Influence of an active prestretch on fatigue of skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62 (1991) 268-273

(30) Häkkinen, K., KL Keskinen: Muscle crosssectional area and voluntary force production characteristics in elite strength and endurance-trained athletes and sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59 (1989) 215-220

(31) Häkkinen, K., P. Komi: Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J. Appl. Physiol.* 65 (1988) 2406-2412

(32) Häkkinen, K. (1989): Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *L of Sports Med. and Physical Fitness* 29 (1989) 9-26

(33) Hannerz, J.: Discharge properties of motor units in relation to recruitment order in voluntary contraction. *Acta Physiol. Scand.* 91 (1974) 374-384

(34) Hennemann, E., G. Somjen, D.O. Carpenter: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *L Neurophysiol.* 28 (1965a) 560- 580

(35) Hennemann, E., G. Somjen, D.O. Carpenter: Excitability and inhibition of motoneurons of different sizes. *J. Neurophysiology* 28 (1965b) 599-620

(36) Hennemann, E.: Recruitment of Motoneurons: the size principle. In: Desmedt, LE.: *Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease*. *Progress in Clinical Neurophysiology*, Band 9. Basel (1981) 22-60

(37) Howald, H.: Training-induced morphological and functional changes in skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.* 3 (1982) 1-12

(38) Howald, H.: Morphologische und funktionelle Veränderungen der Muskelfasern durch Training. In: Bührle, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schomdorf (1985) 35-52

(39) Howald, H.: Veränderungen der Muskelfasern durch Training. *Leistungssport* 19 (1989) 18-24

(40) Ishida, K, T Moritani, K Itoh: Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and detraining. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60 (1990) 244-248

(41) Johnson, M.A. et al.: Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J. of the Neurological Sciences* 18 (1973) 111-129

(42) Jones, D.A., O.M. Rutherford, D.F. Parker: Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quart. J. of Exper. Physiology* 74 (1989) 233-256

(43) Jung, R.: Einführung in die Bewegungsphysiologie. In: Gauer/Kramer/Ung: *Physiologie des Menschen* 14 'Sensomotorik'. München-Berlin-Wien (1976) 1-97

(44) Keidel, W.D. (Hrsg.): *Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart 1979

(45) Knaflitz, M. et al.: Influence of motor recruitment order in voluntary and electrically elicited contraction. *J. Appl. Physiol.* 68 (1990) 1657- 1667

(46) Komi, P.V.: Neuromuscular performance: factors influencing force and speed production. *Scand. J. Sports Science* 1 (1979) 2-15

(47) Komi, P.V.: Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int. J. Sports Med.* 7 (1986) 10- 15

(48) Larson, L.: Is the motor unit uniform? *Acta physiol. Scand.* 144 (1992) 143- 154

(49) Lieber, R.L., T.M. Woodburn, J. Friden: Muscle damage induced by eccentric contractions of 25% strain. *J. Appl. Physiol.* 70 (1991) 2498-2507

(50) Lucas, S.M., R.L Ruff, M. D. Binder.- Specific tension measurements in single soleus and medial gastrocnemius muscle fibers in cat. *Experimental Neurology* 95, 1 (1987) 142 ff.

(51) Maton, B.: Fast and slow motor units: Their recruitment for tonic and phasic contraction in normal man. *Eur. J. Appl. Physiol.* 43 (1980) 45-55

(52) Nardone, A., M. Schieppati: Selective recruitment of high threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J. Physiol.* 409 (1989) 451-471

(53) Poprawski, B.: Aspects of strength, power and speed. *New Studies in Athletics* 3 (1988) 89-93

(54) Rapp, G., H. Weicker: Comparative studies on fast muscle myosin light chains after different training programmes. *Int. J. Sport Med.* 3: (1982) 58-60

(55) Rutherford, O.M. et al.: Strength training and power output: transfer effects in the human quadriceps muscle. *J. of Sports Sciences* 4 (1986) 101-107

- (55a) Rokitzki, L., U. P. Ketelsen, D. Probst, J. Keul: Muskelbiotopische Untersuchungen bei Bodybuildern mit und ohne Anabolikaaufnahme. In: Bemet/Jeschke: Sport u. Medizin - Pro und Contra. München 1991, 818-820
- (56) Sale, D. G. et al.: Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male bodybuilders. *J. of Appl. Physiol.* 62 (1987) 1786-1793
- (57) Sale, D.G.: Neural adaptation to resistance training. *Med. and Science in Sports and Exercise* 20 (1988), 135-145
- (58) Schmidtbleicher, D. et al.: Auftreten und funktionelle Bedeutung des Muskeldehnungsreflexes bei Lauf- und Sprintbewegungen. *Leistungssport* 8 (1978) 480-490
- (59) Schmidtbleicher, D.: Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit. Bad Homburg 1980
- (60) Schmidtbleicher, D.: Diagnose des Kraftverhaltens und Trainingssteuerung im Krafttraining. *Lehre der Leichtathletik* 3 (1985) 107-110
- (61) Schmidtbleicher, D., M. Bührle: Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In: Jonsson, B. (Hrsg.): *Biomechanics X-B. Champaign* (1987) 615-620
- (62) Secher, N.H.: Motor unit recruitment. A pharmacological approach. In: *Medicine Sport Science*. Vol. 26: (1987) 152-162
- (63) Seidman, D.S. et al.: Androgenic response to long-term physical training in male subjects. *Int. J. Sports Med.* 11 (1990) 421-424
- (64) Smith, J.L., S.A. Spector: Unique contributions of slow and fast extensor muscles to the control of limb movements. In: Desmedt, L.E. (Hrsg.): *Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease. Progress in Clinical Neurophysiology*. Band 9. Basel (1981) 161-175
- (65) Smith, J.L. et al.: Rapid ankle extension during paw shakes: selective recruitment of fast ankle extensors. *J. Neurophysiol.* 43 (1980) 612-620
- (66) Smith, J.L., S.A. Spector: Unique contributions of slow and fast extensor muscles to the control of limb movements. In: Desmedt, L.E.: *Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease. Progress in Clinical Neurophysiology*. Band 9. Basel (1981) 161-175.
- (67) Staron, R.S. et al.: Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J. Appl. Physiol.* 70 (1991) 631-640
- (68) Tanji, J., M. Kato: Activity of low- and high-threshold motor units of abductor digiti quinti in slow and fast voluntary contractions. In: Desmedt, J.E.: *Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease. Progress in Clinical Neurophysiology*. Band 9. Basel (1981) 137-144.
- (69) Thepaut-Mathieu, C., J. Van Hoecke, B. Maton: Myoelectrical and mechanical changes to length specificity during isometric training. *J. Appl. Physiol.* 64 (1988) 1500-1505
- (70) Thomas, C.K., B.H. Ross, B. Calancie: Human motor unit recruitment during isometric contractions and repeated dynamic movements. *J. Neurophysiol.* 57 (1987) 311-324
- (71) Tidow, G.: Wege zur Leistungsdiagnostik und Talentselektion im Mehrkampf - Dargestellt am Beispiel der DLV-Zehnkampf-Testbatterie 1982. *DLV-Lehrbeilage* 48 (1983) 19-26, 49 (1983) 21-24. *Leichtathletik-Magazin*.
- (72) Tidow, G.: Aspects of strength training in athletics. *New Studies in Athletics* 5, 1 (1990) 93-110
- (73) Vollestad, N.X.: Motor unit recruitment. A histochemical approach. In: *Medicine Sport Science*. Band 26. Basel (1987) 128-141
- (74) Werschoshanskij, J.V.: Grundlagen des speziellen Krafttrainings. In: Adam, K., J.V. Werschoshanskij: *Modernes Krafttraining im Sport*. Berlin-München-Frankfurt/M., 1975
- (75) Westaing, S.H., A.G. Cresswell, A. Thorstensson: Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62 (1991) 104-108
- (76) Wiemann, K.: Die ischiocruralen Muskeln beim Sprint. *Die Lehre der Leichtathletik*. 27 und 28 (1989) 783-786 und 816-818
- (77) Wiemann, K.: Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. *Sportwissenschaft*, 3 (1991) 295-306.
- (78) Wilson, G.J., G.A. Wood, B.C. Elliot: Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J. Appl. Physiol.* 70 (1991) 825-833
- (79) Wysotschin, J.: Die Muskelentspannung von Sprintern. *Die Lehre der Leichtathletik* 19 (1976) 593-596
- (80) Young, J.L., R.F. Mayer: Physiological properties and classifications of single motor units activated by intramuscular microstimulation in the first dorsal interosseous muscle in man. In: Desmedt, J.E.: *Motor unit types, recruitment and plasticity in health and disease. Progress in Clinical Neurophysiology*. Band 9. Basel (1981) 17-25.
- (81) Zanon, S.: Plyometrics - past and present. *New studies in Athletics* 5, 1 (1990) 7-17