

F. Mayer, T. Horstmann, A. Niess, K. Röcker, H. Striegel,
H.C. Heitkamp, H.H. Dickhuth

Muskuläre Reaktionen nach vorwiegend exzentrischer Belastung der Schulter in Abhängigkeit von Vorerfahrung und Belastungswiederholung

Muscular reactions after eccentric exercise of the shoulder in dependence on prior experience and after repeated measurements

Med. Klinik, Abtlg. Sportmedizin (Ärztl. Dir.: Prof. Dr. H.-H. Dickhuth),
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Zusammenfassung

Bei vorwiegend exzentrischer Muskelbelastung können höhere Kräfte bei gleichzeitig geringerer muskulärer Ermüdung erreicht werden. Die metabolische und kardiozirkulatorische Gesamtbelastung ist dabei geringer als bei vergleichbarer konzentrischer Belastung. Allerdings werden häufig reversible muskuläre Störungen mit erheblichen Beschwerden beobachtet, die jedoch bei Belastungswiederholung weniger ausgeprägt sind. Unklar ist, ob das Ausmaß der strukturellen Schäden bei Belastung der Schulter entsprechend der Vorerfahrung mit exzentrischen Belastungen variiert und ob der Adaptationseffekt über mehrere Wochen anhält.

In einer prospektiven Untersuchung wurde an 29 untrainierten Normalprobanden (Kontrollgruppe K) und 14 trainierten, exzentrisch geübten Paraplegikern (Gruppe P), die strukturelle Schädigung (CK-Konzentration im Serum) und die subjektive Beschwerdesymptomatik (Pain Disability Index) nach einer Belastung mit hoher exzentrischer Komponente gemessen. Um die Beschwerden auszulösen, absolvierten alle Probanden mehrere konzentrische (60°/s) und exzentrische (60°/s) Maximalkraftbelastun-

gen der Schulter (Flexion/Extension), gefolgt von einer jeweils einminütigen Dauerbelastung (konzentrisch und exzentrisch). Die Serumkonzentrationen der CK und die Beschwerdesymptomatik konnten für 1 Woche nach der Belastung im Verlauf bestimmt werden. Um eine Adaptationsreaktion der Muskulatur nachzuweisen, wurden die Probanden der Kontrollgruppe (K) zusätzlich 3 Wochen nach der Initialbelastung einer erneuten, der ersten Belastung äquivalenten zweiten Belastung unterzogen.

Die Ergebnisse zeigen hohe Anstiege der CK-Serumkonzentrationen und der subjektiven Beschwerdesymptomatik nach der ersten Belastung in beiden Gruppen CK_P: \bar{x} = 3311 U/l; CK_K: \bar{x} = 6448 U/l; PDI_P: \bar{x} = 8.4; PDI_K: \bar{x} = 6.2). Bei beiden Meßgrößen können keine Gruppenunterschiede nachgewiesen werden ($p > 0.05$). Der maximale CK-Anstieg und die Beschwerdesymptomatik ist nach der zweiten Belastung deutlich reduziert ($p < 0.001$); CK_K: \bar{x} = 1411 U/l; PDI_K: \bar{x} = 1.6). Unterschiede der Kraft ergaben sich weder zwischen den Gruppen bei der ersten Belastung noch im Vergleich der Belastungen 1 und 2 in Gruppe K.

Belastungen der Schulter mit hohem exzentrischen Anteil können eine erhebli-

che strukturelle Schädigung und subjektive Beschwerden auslösen. Das Ausmaß scheint dabei unabhängig von der Vorerfahrung mit exzentrischen Belastungen zu sein. Eine muskuläre Adaptation im Sinne einer Reduktion der Schäden und der Beschwerden ist auch nach einem Zeitraum von 3 Wochen offensichtlich. Der Einsatz exzentrischer Belastungsformen in Training und Therapie erfordert somit eine differenzierte Planung, insbesondere unter Berücksichtigung der Beschwerdesymptomatik, kann aber in der Therapie derzeit nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

Schlüsselworte: Exzentrische Arbeit,
Schulter, Delayed Onset
Muscle Soreness,
DOMS, Adaptation

Summary

In eccentric exercise of a muscle group, higher strength with concurrent lower muscle fatigue can be attained. The overall metabolic stress is lower than in comparable concentric exercise. However, reversible muscular impairments by considerable discomfort are frequently observed. These become less intensive by repeated exercise. It remains unclear, whether the extend of structural damage after eccentric shoulder exercise varies with respect to previous experience, and whether the adaptation effect is maintained over a period of weeks.

In a prospective investigation, structural damage (CK-concentration in serum) and subjective symptoms of pain (Pain Disability Index) was measured after exercise with high eccentric components in 29 untrained healthy subjects (K) and 14 trained paraplegics (P) accustomed to combined concentric/eccentric stress. In order to elicit discomfort, all subjects performed 5 concentric (60°/s) and eccentric (60°/s) maximum strength exercises of shoulder flexion and extension, followed by continuous concentric and eccentric stress lasting 1 minute. The serum concentration of CK and discomfort symptoms could be measured over a course of 1 week after the test. In order to demonstrate an adaptation effect, the subjects in the control group (K) performed an additional and equivalent test 3 weeks after the initial test.

The results show great increases in CK serum concentrations and in subjective discomfort symptoms after the first test in both groups \bar{x} CK_P: \bar{x} = 3311 U/l; CK_K: \bar{x} = 6448 U/l; PDI_P: \bar{x} = 8.4; PDI_K: \bar{x} = 6.2). No group differences could be determined in either measurement parameter ($p > 0.05$). The CK increase and discomfort symptoms were clearly lower after the second test ($p < 0.001$; CK_K: \bar{x} = 141 U/l; PDI_K: \bar{x} = 1.6). There was no difference in strength either between the groups in the first test nor in comparison of tests 1 and 2 in group K.

Shoulder stress with high eccentric components may elicit considerable structural damage and subjective discomfort. The extend appears to be independent on prior experience with eccentric exercises. Muscular adaptation in the sense of reduction of damage and complaints is apparent after an interim of 3 weeks. The use of eccentric forms of exercise in training and therapy thus requires differentiated planning, especially taking symptoms of discomfort into account. In general, eccentric exercises cannot presently be recommended without reservations for use in therapy.

Key-words: Shoulder, Eccentric, Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS, Adaptation

Einleitung

Unter exzentrischer Belastung einer Muskelgruppe können verglichen mit konzentrischer Belastung höhere Kräfte bei geringerer Muskelermüdung erreicht werden (14,17,20). Verantwortlich hierfür sind additive, passive Elastizitätskräfte durch Dehnung der serienelastischen Elemente (14,18). Da diese Kräfte passiv erbracht werden, führt die exzentrische Arbeit zu einer geringeren metabolischen und kardio-zirkulatorischen Gesamtbelastung (10,15,21). Es hat sich allerdings als sinnvoll erwiesen zwischen verschiedenen Gelenken und einem unterschiedlichen Trainingszustand zu differenzieren (17,20). So können die additiven Kräfte der Schultermuskulatur hauptsächlich von trainierten Sportlern mobilisiert werden.

Vergangene Untersuchungen konnten zusätzlich nachweisen, daß Belastungen

mit hoher Muskelspannung, neben der Verbesserung der intramuskulären Koordination, einen ausreichenden Reiz für die Hypertrophie und -plasie eines Muskels darstellen (1,13,27). Sowohl im sportlichen Training als auch in der Rehabilitation des Stütz- und Bewegungsapparates werden deshalb muskuläre Beanspruchungen mit hohem exzentrischen Anteil als günstig erachtet (2,17). Kombiniert konzentrisch/exzentrische Belastungsformen finden dabei im Rahmen des Reaktivkrafttrainings eine sinnvolle Anwendung (16).

Allerdings treten nach Belastungen mit hoher exzentrischer Komponente häufig muskuläre Beschwerden auf (DOMS, Delayed Onset Muscle Soreness, 3,6,11,19,22). Verantwortlich dafür sind reversible, strukturelle Schäden der Muskulatur, die u.a. durch CK- und Myoglobinanstiege im Serum quantifiziert werden können (4,19,23). Aus der Praxis ist ferner eine individuell unterschiedlich hohe Reaktion in Abhängigkeit der beteiligten Muskelmasse bekannt. Diskutiert wird zudem eine interindividuell unterschiedliche Prädisposition, weshalb zwischen sogenannten „high“, „low“ und „no responders“ differenziert werden kann (7,8,9,19).

Unklar ist, ob das Ausmaß der strukturellen Schädigung der belasteten Muskulatur von der Vorerfahrung bezüglich exzentrischer Belastungsformen abhängt. Für die Schulter sind exzentrische Belastungen im Alltag untrainierter Normalpersonen sehr selten. Auch unter Testbedingungen werden Muskelbelastungen mit hoher exzentrischer Komponente häufig als sehr unangenehm empfunden. Im Gegensatz dazu ist der Anteil an Bremsbelastungen bei schulterbelastenden Sportarten deutlich höher, so daß theoretisch angenommen werden könnte, daß bei Trainierten exzentrische Belastungen besser toleriert werden. Besondere Bedeutung kommt der kombiniert konzentrisch/exzentrischen Schulterbelastung bei querschnittgelähmten Rollstuhlfahrern zu, da hier häufig Brems- und Umbewegungen mit hohem exzentrischen Anteil anzutreffen sind (5,24,28,29,30).

Offensichtlich wird bei einmaliger Belastungswiederholung eine weit geringere Schädigung und Beschwerdesymptomatik ausgelöst (8). Bei Änderung der Bela-

stungsdosierung bzw. Änderung der beteiligten Bewegungen können allerdings erneut Schäden und Beschwerden auftreten, wobei die Dauer des Adaptationseffektes uneinheitlich bewertet wird (7,19). In einer Reihe von Untersuchungen an der Oberschenkel- und der Unterarmmuskulatur wurde eine Dauer bis zum erneuten Auftritt der Beschwerden nach exzentrischer Beanspruchung von einigen Wochen geäußert (7,8,9,23). Fraglich ist, ob dies auch für die Schultermuskulatur zutrifft, zumal dort die exzentrische Belastung unter Alltagsbedingungen seltener erforderlich und damit ungewohnt ist.

Ziel der Untersuchung war deshalb festzustellen, welches Ausmaß die Schäden und Beschwerden bei Schulterbelastung mit hohem exzentrischen Anteil in Abhängigkeit der Vorerfahrung erreichen. Zudem sollte überprüft werden, ob eine faßbare Adaptation der Schultermuskulatur bereits bei einmaliger Belastungswiederholung nachweisbar ist. Schließlich soll diskutiert werden, ob Belastungen mit hoher exzentrischer Komponente für Training und Therapie empfohlen werden können.

Untersuchungsgut und Methode

Untersuchungsgut: Insgesamt wurden 29 untrainierte männliche Probanden (Gruppe K: 25.9 ± 2.5 Jahre, 183.0 ± 5.2 cm, 76.1 ± 9.2 kg) und 15 trainierte Paraplegiker (Gruppe P: 36.8 ± 9.8 Jahre, 81.9 ± 5.7 cm Sitzhöhe, 73.1 ± 11.4 kg) in die Untersuchung eingeschlossen. Durch häufige kurzzeitige Umwend- und Bremsbewegungen während sportlicher Belastung im Rollstuhl kann bei den Paraplegikern von einem erhöhten Trainingsniveau und einer nicht unerheblichen Vorerfahrung bezüglich exzentrischer Belastungen der Schultermuskulatur ausgegangen werden (24,28,29). Diese Probanden wurden deshalb für die Beurteilung des Ausmaßes der Reaktion in Abhängigkeit der Trainingsbelastung herangezogen. Die Frage der Adaptation bei einmaliger Belastungswiederholung wurde an den Probanden der Gruppe K untersucht.

Methode: Zunächst führten alle Probanden eine standardisierte Kraftbelastung

der Schultermuskulatur (Flexion/Extension) durch, um das DOMS auszulösen: jeder Teilnehmer absolvierte pro Bewegung jeweils 5 konzentrische und 5 exzentrische Bewegungswiederholungen bei 60°/s un-

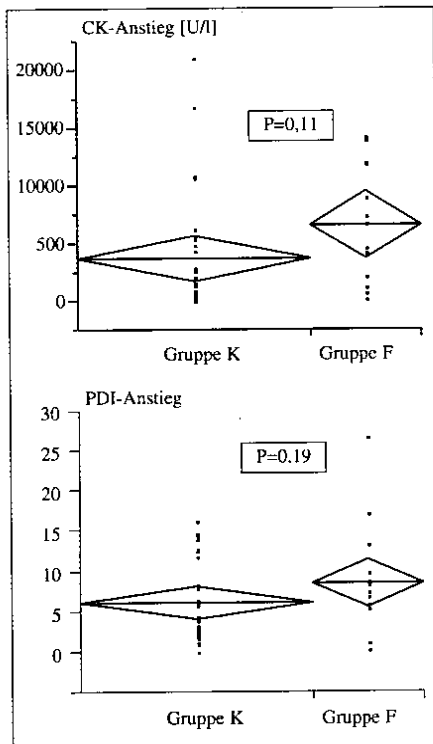


Abb. 1: Maximaler CK-Anstieg (oben) und maximaler Anstieg des PDI-Summscores (unten) in Abhängigkeit des Trainingsniveaus und der Vorerfahrung mit exzentrischen Belastungen (Gruppe P, Gruppe K) nach einer Belastung mit hohem exzentrischen Anteil (Mittelwert, 95%-Konfidenzintervall)

ter maximaler Anstrengung. Im Anschluß an diese Maximalbelastungen folgte zusätzlich eine konzentrische (180°/s) und eine exzentrische (60°/s) Kraftausdauerbelastung über 1 min. Eigene Voruntersuchungen zeigen, daß die gewählten Bewegungsgeschwindigkeiten bei unterschiedlicher Wiederholungszahl, aber exzentrisch höheren Kräften über die Dauer der Belastung eine vergleichbare Gesamtarbeit ergeben. Sowohl die Maximalbelastungen, als auch die Kraftausdauerbelastungen fanden in Rückenlage mit Fixierung über dem Becken und der nicht belasteten Schulter statt. Um einen möglichen Unterschiede der Kraft zu erkennen, fand bei den Maximalbelastungen gleichzeitig die Messung der maximalen Drehmomente statt. Sowohl bei den konzentrischen als auch den exzentrischen Belastungswiederholungen wurde dabei aus den drei höchsten Drehmomenten der

5 Wiederholungen das arithmetische Mittel errechnet. Als Endmeßwert diente schließlich ein Summscore der berechneten konzentrischen und exzentrischen, arithmetischen Mittel.

Venöse Blutentnahmen zur photometrischen Bestimmung der CK-Serumkonzentration (BM/ Hitachi 717, Fa. Böhringer, Mannheim, 37°C) fanden vor Beginn sowie 2, 12, 24 und 48 Std. nach den Belastungen statt. Zusätzlich dokumentierten alle Probanden täglich über eine Woche nach der Belastung die subjektiven Beschwerden in Form eines validierten Schmerzfragebogens (Pain Disability Index PDI, 26). Der PDI quantifiziert dabei in der Zielgruppe erwachsener Schmerzpatienten das Ausmaß, wie sehr die Beschwerden Tätigkeiten verschiedener Lebensbereiche beeinträchtigen oder verhindern. Als verschiedene Lebensbereiche werden familiäre und häusliche Verpflichtungen, Erholung, soziale Aktivitäten, Beruf, Selbstversorgung und lebensnotwendige Tätigkeiten unterschieden. Die Angaben wurden für jeden Lebensbereich mittels einer visuellen Analogskala (10 cm) getroffen, wobei als Extremwerte „kein Schmerz“ und „maximal vorstellbarer Schmerz“ festgelegt sind. Zur Auswertung der Daten wurde ein Summscore aus den Einzelkategorien gebildet.

Die Kontrollgruppe der untrainierten Probanden (Gruppe K) führte zusätzlich nach einer Pause von 3 Wochen einer der ersten Belastung äquivalente zweite Kraftbelastung durch. Anschließend wurden wiederum die CK-Serumkonzentrationen und die subjektive Beschwerdesymptomatik quantifiziert. Die Beobachtung der Gruppe K erstreckte sich somit über 4 Wochen.

Statistische Auswertung: Als Zielgröße für das Ausmaß der strukturellen Schädigung und der subjektiven Beschwerden nach der ersten Kraftbelastung wurde der maximale CK- bzw. PDI-Anstieg herangezogen. Nach Überprüfung auf Gleichheit der Varianzen in den Gruppen (Brown-Forsythe, $\alpha=0.05$) und Normalverteilung (Shapiro-Wilk, $\alpha=0.05$) wurde auf jede Meßgröße der nicht paarige Wilcoxon-Test ($\alpha=0.05$) mit Korrektur nach Bonferroni angewandt.

Der Einfluß einer einmaligen Belastungswiederholung wurde ebenfalls anhand der Zielgrößen CK-Anstieg und PDI-

Anstieg überprüft. Die statistische Auswertung fand durch Anwendung des paarigen t-Tests ($\alpha=0.05$) mit Korrektur nach Bonferroni statt.

Unterschiede der Kraftleistungsfähigkeit zwischen den Gruppen und durch die Belastungswiederholung wurden deskriptiv (Mittelwert, 95%-Konfidenzintervall) untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen einen bemerkenswerten Anstieg der CK-Serumkonzentration und des PDI-Scores nach der ersten Belastung (Abb.1). Die statistische Analyse auf Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen K und P ergab nicht signifikante Ergebnisse auf dem 5%-Niveau ($p_{CK}=0.23$; $p_{PDI}=0.08$). Auffällig ist eine hohe Streuung der einzelnen Werte für beide Meßgrößen in beiden Gruppen. In

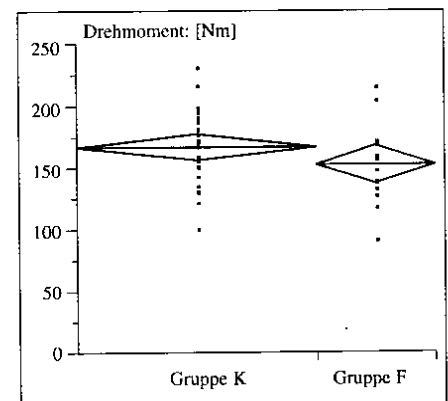


Abb. 2: Summscore der exzentrischen und konzentrischen Drehmomente in Abhängigkeit des Trainingsniveaus und der Vorerfahrung mit exzentrischen Belastungen (Gruppe P, Gruppe K, Mittelwert, 95%-Konfidenzintervall)

der deskriptiven Darstellung der Summscores der konzentrischen und exzentrischen Drehmomente lassen sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den untrainierten Normalprobanden und den trainierten Paraplegikern erkennen (Abb. 2).

Die Auswertung der Belastungswiederholung in Gruppe K zeigt einen erheblich geringeren Anstieg beider Meßgrößen nach der zweiten Belastung (Abb. 3). Besonders deutlich ist dies bezüglich der CK-Konzentration im Serum zu erkennen. Der maximale Anstieg nach der Belastungswiederholung im Abstand von 3 Wochen übersteigt den Normbereich nur geringfü-

gig bei geringer Streuung der Werte. Der mittlere Anstieg der subjektiven Beschwerdesymptomatik ist nach der zweiten Belastung ebenfalls geringer, wobei hier allerdings vereinzelt noch deutliche Beschwerden angegeben werden. Dies

Beschwerden wird eine durch belastungsinduzierte, strukturelle Veränderungen ausgelöste, sekundäre Entzündungsreaktion mit folgender Minderdurchblutung und Verhärtung der belasteten Muskulatur angenommen (6,19). Untersuchungen an Muskelgruppen, die auch häufig im Alltag exzentrisch belastet werden, wie die Oberschenkelmuskulatur (Trepp- oder Bergabgehen, Bremsbelastungen bei Sprüngen) oder die Unterarmmuskulatur (Abbremsen von angehobenen Gegenständen) ergaben CK-Anstiege im Serum bis über 10000 U/l (6,7,22,23). Zudem wurde eine Abhängigkeit von der beteiligten Muskelmasse vermutet. Erstaunlich sind in diesem Zusammenhang die in Einzelfällen extrem hohen CK-Maxima bis 20000 U/l bei Belastung der Schultermuskulatur. Ein Grund hierfür könnte in der für die Schulter ungewohnten Belastungsform zu suchen sein, da Schulterbelastungen mit hoher exzentrischer Komponente im Alltag eher selten anzutreffen sind. Dies würde allerdings nahelegen, daß bei entsprechender Vorerfahrung mit exzentrischen Belastungen eine geringere strukturelle Schädigung und auch eine geringere subjektive Beschwerdesymptomatik ausgelöst wird, was bei den trainierten Paraplegikern nicht der Fall war. Das Ausmaß der Schäden scheint somit unabhängig von der Vorerfahrung bezüglich exzentrischer Belastungen zu sein, sofern es sich nicht um eine exakt der Messung entsprechende Bewegung handelte.

Kritisch muß allerdings die bekannte interindividuell unterschiedliche Reaktionsweise der sogenannten „high“ und „low responder“ diskutiert werden (8,19). Da auch bei Belastung der Schulter große Differenzen im Ausmaß der Belastungsreaktion bei den einzelnen Probanden festgestellt wurden, ist es nicht auszuschließen, daß einzelne Probanden dennoch aufgrund einer hohen Vorerfahrung und einer ausgeprägten intramuskulären Koordination ökonomischer arbeiten und somit geringere Schäden auftreten.

Offensichtlich ist ein deutlich geringeres Ausmaß sowohl der strukturellen Schäden als auch der subjektiven Beschwerden bereits bei einmaliger Wiederholung der Schulterbelastung. In methodisch ähnlichen Untersuchungen konnte dies bereits von *Clarkson und Nosaka* an der Unterarmmuskulatur nachgewiesen

werden (7,23). Verantwortlich hierfür scheint eine höhere Membranstabilität der Muskelzelle nach der Initialbelastung zu sein (19,22). Unterschiedlich diskutiert wird jedoch die Dauer, über die dieser Effekt anhält. Verschiedene Autoren gehen von einer Adaptationsdauer von bis zu 6 Wochen aus. *Ebbeling* konnte zudem zeigen, daß bereits bei unvollständiger Erholung, wenige Tage nach einer exzentrischen Belastung ein erheblich geringeres Ausmaß der Schädigung bei Belastungswiederholung nachweisbar ist (8). Ungeklärt bleibt in diesem Zusammenhang allerdings, ob nicht dennoch bei früher exzentrischer Belastungswiederholung aufgrund der verkürzten, verhärteten Muskulatur mit geringerer Flexibilität ein höheres Verletzungsrisiko besteht, obwohl nur geringe CK-Anstiege nachweisbar sind.

Nahezu äquivalente Reaktionsweisen konnten in der vorliegenden Untersuchung an der Schultermuskulatur beobachtet werden. Die deutlich geringere Belastungsreaktion nach einem Intervall von 3 Wochen legt zudem nahe, daß nach

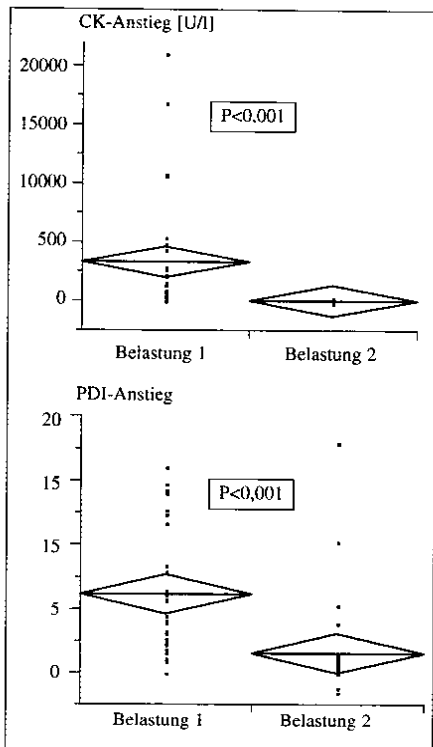


Abb. 3: Maximaler CK-Anstieg (oben) und maximaler Anstieg des PDI-Summscores (unten) nach einmaliger Belastungswiederholung im Abstand von 3 Wochen (Mittelwert, 95%-Konfidenzintervall)

drückt sich durch eine hohe Streuung der Werte auch nach der zweiten Belastung aus. Die statistische Analyse ergab für beide Meßgrößen signifikante Ergebnisse ($p_{CK} < 0.001$; $p_{PDI} < 0.001$), so daß die Nullhypothese, daß keine Unterschiede der strukturellen Schäden und der subjektiven Beschwerden bei Wiederholung der Belastung bestehen, auf dem 5%-Niveau zugunsten der Alternativhypothese abgelehnt werden kann. Der Summscore der Kraft bleibt bei Wiederholung der Belastung nahezu unverändert, bei vergleichbarer Streuung der Werte in Belastung 1 und Belastung 2 (Abb. 4).

Diskussion

Muskuläre Beschwerden nach Belastungen mit hohem exzentrischen Anteil sind aus der Praxis bekannt. Als Ursache der

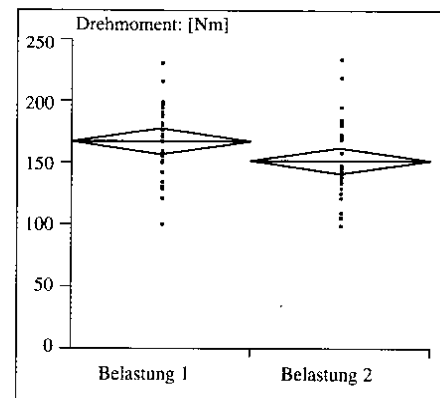


Abb. 4: Summscore der exzentrischen und konzentrischen Drehmomente bei einmaliger Belastungswiederholung im Abstand von 3 Wochen (Mittelwert, 95%-Konfidenzintervall)

einer exzentrischen Initialbelastung auch im Rahmen der Therapie von Schulterbeschwerden, bei vergleichbaren weiteren Belastungen eine derart ausgeprägte, belastungsinduzierte Beschwerdesymptomatik nicht mehr zwingend auftreten muß. Dies würde den Einsatz exzentrischer Belastungsformen in der Therapie und hier v.a. im Training der inter- und intramuskulären Koordination befürworten, da häufig von einer Behandlungsdauer von 4 Wochen auszugehen ist. *Gallo*

way und Stanish wiesen dabei insbesondere auf die positiven Effekte exzentrischer Belastungen auf die Beschwerdesymptomatik bei Ansatzendinosen hin (12,25). Ungeklärt bleibt dennoch in wie weit eine Veränderung der Belastungsdosierung oder der Bewegungsausführung erneut zu Beschwerden führen kann.

Ein nicht zu vernachlässigender Kritikpunkt ist aber trotz allem in der starken Beeinflussung der Patienten oder Sportler nach erstmaliger exzentrischer Belastung zu sehen. Es stellt sich somit die Frage, ob die beschriebenen Belastungsreaktionen toleriert oder trainings- und therapiebegleitend behandelt werden sollten, ob gegebenenfalls eine „einschleichende“ Form der Belastung in der Praxis sinnvoll anwendbar ist und in wie weit regelmäßige Bestimmungen von CK und Myoglobin Rückschlüsse auf die zu erwartende Reaktion erlauben. Vereinzelt konnten bereits Hinweise gewonnen werden, daß eine reduzierte Intensität bei der Erstbelastung mit hohem exzentrischen Anteil ein geringeres Ausmaß der Schäden und Beschwerden nach sich zieht (9). Sicherlich ist zur abschließenden Klärung des sinnvollen Einsatzes exzentrischer Belastungen in der Therapie noch eine Reihe von klinischen Untersuchungen notwendig. Es sei allerdings darauf hingewiesen, daß insbesondere die interindividuell stark schwankenden Reaktionsausmaße eine einheitlich Beurteilung erschweren.

Zusammenfassend ist zu folgern, daß der Einsatz der exzentrischen Belastung der Schulter eine exakte Trainingsplanung und -dosierung erfordert. Unabhängig von der Vorerfahrung der Patienten oder Sportler und der belasteten Muskelgruppe ist mit zum Teil erheblichen strukturellen Störungen und subjektiven Beschwerden zu rechnen, die allerdings bereits bei einmaliger Wiederholung der Belastung deutlich rückläufig sind. Die Anwendung der exzentrischen Belastungsform muß deshalb derzeit trotz der genannten Vorteile unterschiedlich diskutiert und kann nur eingeschränkt empfohlen werden.

Literatur

- Antonio J, Gonyea WJ: Skeletal muscle fiber hyperplasia. *Med Sci Sports Exerc* 25 (1993) 1333-1345
- Aronen JG: Shoulder rehabilitation. *Clin Sports Med* 3 (1985) 477-493
- Asmussen E: Positive and negative muscular work. *Acta Physiol Scand* 28 (1952) 364-382
- Brown SJ, Child RB, Day SH, Donnelly AE: Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. *Eur J Appl Physiol* 75 (1997) 369-374
- Burnham RS, May L, Nelson E, Steadward R, Reid D: Shoulder pain in wheelchair athletes - the role of muscle imbalance. *Am J Sports Med* 21 (1993) 238-42
- Byrnes WC, Clarkson PM, White JS, Hsieh SS, Frykeman PN, Maughan RJ: Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *J Appl Physiol* 59 (1985) 710-714
- Clarkson PM, Tremblay J: Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J Appl Physiol* 65 (1988) 1-6
- Ebbeling CB, Clarkson PM: Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 60 (1990) 26-31
- Fitzgerald GK, Rothstein JM, Mayhew TP: Exercise-induced muscle soreness after concentric and eccentric isokinetic contractions. *Phys Ther* 71 (1991) 505-513
- Fleck SJ: Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20 (1988) 146-151
- Friden J, Kjörrell U, Thornell LE: Delayed muscle soreness and cytoskeletal alterations - an immunocytological study in man. *Int J Sports Med* 5 (1984) 15-18
- Galloway MT, Jokl P, Dyaton OW: Achilles tendon overuse injuries. *Clin Sports Med* 11 (1992) 771-82
- Gonyea WJ, Sale DG, Gonyea FB, Mikesky A: Exercise-induced increases in muscle fiber numbers. *Eur J Appl Physiol* 55 (1986) 137-141
- Gülch RW, Fuchs P, Geist A, Eisold A, Heitkamp HC: Eccentric and posteccentric contractile behaviour of skeletal muscle - a comparative study in frog single fibers and in humans. *Eur J Appl Physiol* 63 (1991) 323-329
- Haemmel RG, Snyder Miller GD, Teo KK, Greenwood PV, Quinney HA, Kappagoda CD: Changes in blood pressure and cardiac output during maximal isokinetic exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 73 (1992) 150-155
- Higbi EJ, Cureton KJ, Warren GL: Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area and neural activation. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1994) 31
- Kellis E, Baltzopoulos V: Isokinetic eccentric exercise. *Sports Med* 19 (1995) 202-222
- Komi PV, Buskirk ER: Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics* 15 (1972) 417-434
- Kuipers H: Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 15 (1994) 132-135
- Mayer F, Horstmann T, Yin L, Dickhuth HH: Differences in concentrically and eccentrically determined local muscle endurance of the shoulder musculature with different training status. *Eur J Appl Physiol* 69 (1994) 7
- Mitchell JH: Neural control of the circulation during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22 (1990) 141-154
- Newham D: The consequences of eccentric contractions and their relationship to delayed onset muscle pain. *Eur J Appl Physiol* 57 (1988) 353-359
- Nosaka K, Clarkson PM: Effect of eccentric exercise on plasma enzyme activities previously elevated by eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 69 (1994) 492-497
- Rodger NM, Gayle GW, Figoni SF, Kobayashi M, Lieh J, Glaser RM: Biomechanics of wheelchair propulsion during fatigue. *Arch Phys Med Rehabil* 75 (1994) 85-93
- Stanish WD, Rubinovich RM, Curvin S: Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin Orthop Relat Res* 208 (1986) 605-608
- Tait RC, Chibnall JT, Krause S: The pain disability index: psychometric properties. *Pain* 40 (1990) 171-82
- Tomberlin JP, Basford JR, Schwen EE: Comparative study of isokinetic eccentric and concentric training. *J Orthop Sports Phys Ther* 14 (1991) 31-35
- Van der Helm FC, Veeger HE: Quasi-static analysis of muscle forces in the shoulder mechanism during wheelchair propulsion. *J Biomech* 29 (1996) 39-52
- Van der Woude LH, Bakker WH, Elkhuizen JW, Veeger HE, Guinness T: Propulsion technique and anaerobic work capacity in elite wheelchair athletes: cross-sectional analysis. *Am J Phys Med Rehabil* 77 (1998) 222-34
- Vanlandewijck YC, Spaepen AJ, Lysens RJ: Wheelchair propulsion efficiency: movement pattern adaptations to speed changes. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1994) 1373-81

Anschrift:

Priv.-Doz. Dr. Frank Mayer
Medizinische Klinik und Poliklinik
Abteilung Sportmedizin
Hölderlinstr. 11
D-72074 Tübingen
Tel.: 0049/7071/2986493
Fax: 0049/7071/295162
e-Mail:
frank.mayer@med.uni-tuebingen.de