

„Anpassung der morphologischen und mechanischen Eigenschaften des Muskels und der Sehne durch exzentrisches Training – Effekt der Reizfrequenz“

Robert Marzilger und Adamantios Arampatzis (Projektleiter)

Humboldt-Universität zu Berlin | Institut für Sportwissenschaft | Abteilung für Trainings- und Bewegungswissenschaften

1. Einleitung und Problemstellung

Regelmäßiges Training kann zu einer Erhöhung des Muskelquerschnittes (radiale Adaptation) und der Muskelfaserlänge (longitudinale Adaptation) führen und somit die Muskelkraft, die Verkürzungsgeschwindigkeit sowie die maximalen Muskelleistung - als Produkt von Kraft und Geschwindigkeit - erhöhen. Neuere Studien belegen, dass exzentrisches im Vergleich zu konzentrisch durchgeführtem Training zu einer höheren Muskelhypertrophie führt (Roig et al., 2009; Vikne et al. 2006), zudem wird mit exzentrischen Kontraktionen eine longitudinale Adaptation assoziiert (Butterfield et al. 2005). In einer vorangegangenen Studie unserer Arbeitsgruppe (Sharifnezhad et al. 2014) zeigte sich dabei eine Spezifität der Bewegungsgeschwindigkeit (Reizfrequenz) bei exzentrischen Kontraktionen hinsichtlich radialer und longitudinaler Muskeladaptation. Aus trainingspraktischer Sicht sind die mit exzentrischen Kontraktionen assoziierten Adaptationen insofern interessant, als dass sie zur Steigerung der sportlichen Leistung (z.B. Kumagai et al., 2000) und zur Verletzungsprophylaxe (z.B. Brockett, Morgan, & Proske, 2004) beitragen können.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es den Einfluss der Geschwindigkeit von exzentrischen Belastungen auf die mechanischen und morphologischen Muskeleigenschaften zu untersuchen. Wir stellten die Hypothese auf, dass die Durchführungsgeschwindigkeit der applizierten exzentrischen Belastung einen entgegenwirkenden Effekt auf die longitudinale und radiale Muskeladaptation zeigt. Hohe Geschwindigkeiten führen eher zu einer longitudinalen Adaptation während niedrige Geschwindigkeiten eine radiale Hypertrophie begünstigen.

2. Methoden

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde ein Pre-Post-Test Design mit einer Trainings- und Kontrollgruppe gewählt. Es wurden 40 Probanden rekrutiert und in eine Trainings- (n=28) und Kontrollgruppe (n=12) aufgeteilt. Den Teilnehmern der Trainingsgruppe wurde pro Bein zufällig eines von 4 Trainingsprotokollen zugewiesen. Die Trainingsprotokolle unterschieden sich nur hinsichtlich der Geschwindigkeit, die durch ein Dynamometers (Biodex System 3,

Shirley US) vorgegeben wurde ($45^\circ/s$; $120^\circ/s$; $210^\circ/s$ und $300^\circ/s$). Die Bewegungsamplitude ($25-100^\circ$ Kniegelenkwinkel – 0° = vollständige Kniestreckung) und die Kraftmagnitude (100% des isometrischen Kraftmaximums - iMVC) waren in allen Protokollen gleich, ebenso die Dauer und Häufigkeit des Trainings (12 Wochen, 3x pro Woche, 5 Sätze). Die Anpassung der Wiederholungszahl (3, 8, 14, 20) in den einzelnen Protokollen, sicherte ein identisches Belastungsvolumen d.h. Integral des Momentes über die Zeit (siehe Abbildung 1)

Vor und nach der Trainingsintervention wurden die maximalen Knieextensionsmomente mit einem Dynamometer gemessen. Durch die zusätzliche Aufnahme der Bewegungskinetik (Vicon 1.7.1; Vicon Motion Systems, Oxford, UK) konnte das vom Dynamometer gemessene Moment mit einem inversdynamischen Ansatz um Schwerkraft und Achsverschiebung korrigiert werden (Arampatzis et al. 2004). Weiterhin wurde der maximale Muskelquerschnitt vom m. vastus lateralis (VL) mit Hilfe von Magnet-Resonanz-Tomographie-Aufnahmen (MRT, ESAOTE G-Scan, Genova Italy) bestimmt. Aus Zeit- und Kostengründen erfolgten die MRT-Aufnahmen nur für die vier Trainingsgruppen.

Für den VL erfolgten zudem die Bestimmung der Muskelfaserlänge, des Fiederungswinkels und der Muskeldicke mit Hilfe von Ultrasonographie. Dafür wurde die Muskelarchitektur mit einer ca. 10cm langen Ultraschallsonde bei etwa 50% der Oberschenkellänge während passiver Kniegelenkflexionen erfasst und anschließend mit einem halb-automatischen Tracking-Algorithmus ausgewertet (Marzilger et al. 2018).

Der Einfluss der Trainingsprotokolle auf die gemessenen Muskeleigenschaften wurde mit einer zweifaktoriellen-ANOVA (Testtag und Interventionsgruppe) überprüft ($\alpha=0.05$).

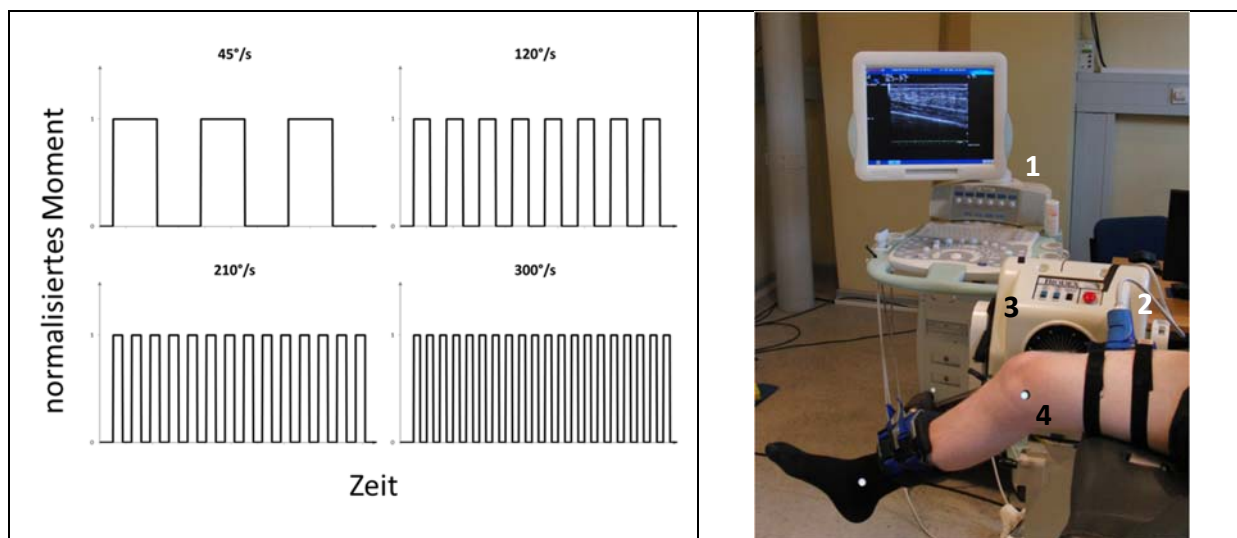


Abbildung 1: links, schematische Darstellung der Trainingsstimuli in den einzelnen Protokollen; rechts, Setup zur Bestimmung der Muskelarchitektur, 1 Ultraschallsystem, 2 Ultraschallsonde - fixiert mit elastischen Bändern, 3 Dynamometer, 4 Viconmarker.

3. Ergebnisse

Für die Teilnehmer der Trainingsgruppen konnten wir eine signifikante Zunahme der Knieextensionsmomente (Tabelle 1) zwischen 12% und 16% feststellen ($p < 0,05$), jedoch ohne Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsgruppen. Für die Kontrollgruppe zeigte sich keine signifikante Veränderung. Der maximale Querschnitt vom VL zeigte eine signifikante Zunahme ($p < 0,05$) zwischen 4,5% und 7% nach dem Training (Tabelle 1). Auch hier konnten wir keinen Unterschied zwischen den 4 Trainingsbelastungen beobachten.

Die Parameter der Muskelarchitektur wurden im Bereich zwischen 50° und 75° des Kniegelenkwinkels gemittelt. Durch die Intervention nahmen die Faserlängen zwischen 2,5% und 7% und die Muskeldicke zwischen 6,5 und 10% zu (Tabelle 1) über alle Gruppen betrachtet waren diese Veränderungen signifikant ($p < 0,05$). Eine trainingsgruppenspezifische Veränderung konnte jedoch nicht gefunden werden. Der Fiederungswinkel zeigte für keine Untersuchungsgruppe einen signifikanten Unterschied zwischen der Prä- und Postmessungen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der Veränderungen in den untersuchten Parametern (Mittelwert \pm Standardabweichung) von Prä- zu Postmessungen. # statistisch signifikante Zeit x Gruppe Interaktion, * statistisch signifikanter Unterschied zwischen Prä- und Post-Wert (post-hoc Analyse), $^\circ$ statistisch signifikanter Prä-Post Effekt.

Parameter		Kont.	45°/s	120°/s	210°/s	300°/s
Maximales Knie- extensions- moment [Nm/Kg]	Prä	3,6 \pm 0,5	3,8 \pm 0,4	3,9 \pm 0,4	3,9 \pm 0,4	3,9 \pm 0,5
	Post #	3,7 \pm 0,4	4,3 \pm 0,5*	4,4 \pm 0,4*	4,5 \pm 0,7*	4,4 \pm 0,5*
Maximaler Muskelquer- schnitt [cm ²]	Prä	-	36,0 \pm 2,4	34,3 \pm 4,3	34,1 \pm 5,5	32,8 \pm 4,7
	Post $^\circ$	-	37,6 \pm 2,8	36,0 \pm 4,6	36,1 \pm 5,4	34,9 \pm 4,4
Muskeifaserlänge [cm]	Prä	14,1 \pm 1,7	14,0 \pm 1,8	14,0 \pm 1,8	13,8 \pm 1,5	13,7 \pm 1,6
	Post $^\circ$	14,5 \pm 1,4	14,6 \pm 1,7	14,5 \pm 2,0	14,3 \pm 1,7	14,6 \pm 1,6
Fiederungswinkel [$^\circ$]	Prä	10,9 \pm 1,8	11,3 \pm 1,2	11,0 \pm 2,1	10,6 \pm 1,7	10,7 \pm 1,7
	Post	10,2 \pm 0,8	11,7 \pm 0,9	11,3 \pm 1,9	11,1 \pm 1,5	11,0 \pm 0,9
Muskeldicke [cm]	Prä	2,4 \pm 0,4	2,4 \pm 0,3	2,4 \pm 0,3	2,4 \pm 0,3	2,4 \pm 0,3
	Post $^\circ$	2,4 \pm 0,3	2,6 \pm 0,3	2,6 \pm 0,4	2,5 \pm 0,3	2,6 \pm 0,3

4. Diskussion

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass ein ca. 12-wöchiges Training mit exzentrischen Kontraktionen sowohl eine radiale als auch longitudinale Muskelhypertrophie hervorruft. Die radiale Muskelhypertrophie äußert sich in der signifikanten Zunahme der maximalen Muskelquerschnitte und indirekt in der Zunahme der maximalen Knieextensionsmomente. Auf eine longitudinale Muskeladaptation deutet die signifikante Zunahme der

Muskelfaserlänge hin. Zwischen den einzelnen Trainingsgruppen konnte jedoch für keinen der untersuchten Parameter ein signifikanter Unterschied gefunden werden. Unsere Hypothese, dass ein Training mit langsamen exzentrischen Kontraktionen eher eine radiale Hypertrophie begünstigt und ein Training mit hohen Geschwindigkeiten eher zu einer longitudinalen Muskeladaptation führt, konnte daher nicht bestätigt werden.

Bei exzentrischen Kontraktionen wird der Muskel während der Kontraktion gedehnt. Hierdurch kann es zu Mikrorupturen im Bereich der Z-Scheiben zwischen zwei Sarkomeren kommen (Shepstone et al. 2005). Um vor erneuter Schädigung in diesem Bereich zu schützen, versucht der Körper die Anzahl der Sarkomere in Serie zu erhöhen (Butterfield et al. 2005). Diese Anpassung scheint über einen recht kurzen Zeitraum zu verlaufen und nach einer gewissen Zeit zu stagnieren (Blazevich et al. 2007; Baroni et al. 2013). Unsere Trainingsprotokolle (ca. 12 Wochen, 3 Mal pro Woche) konnten eine Zunahme der Faserlänge des VL von 4% bis 7% verursachen. Damit scheinen auch relativ kurze Interventionen von ca. 12 Wochen Dauer eine longitudinale Adaptation hervorrufen zu können. Folglich könnten gezielt in der Vorbereitungsperiode eingesetzte exzentrische Trainingsreize zur Kraftsteigerung und Verletzungsprophylaxe genutzt werden (z.B. Roig et al., 2009; Brughelli et al. 2010). Neben der Möglichkeit eine longitudinale Muskelanpassung hervorzurufen, ist exzentrisches Training auch konzentrischem und isometrischem Training hinsichtlich der Kraft und Muskelvolumensteigerung überlegen (z.B. Farthing & Chilibeck, 2003). Durch das erhöhte Muskelkraftpotential während exzentrischer Kontraktionen (aufgrund der Kraft-Geschwindigkeitsrelation) ist eine stärkere mechanische Belastung des Muskels, bei gleichzeitig geringerer metabolischer Belastung möglich (Moore et al., 2005).

5. Literatur

- Arampatzis A, Karamanidis K, De Monte G, et al (2004) Differences between measured and resultant joint moments during voluntary and artificially elicited isometric knee extension contractions. *Clin Biomech* 19:277–283.
- Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, et al (2013) Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: Rectus femoris vs. vastus lateralis. *Muscle and Nerve* 48:498–506.
- Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S (2007) Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* 103:1565–1575.
- Brockett, C. L., Morgan, D. L. & Proske, U. (2004). Predicting Hamstring Injury in Elite Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 379–387.
- Brughelli M, Mendiguchia J, Nosaka K, et al (2010) Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Phys Ther Sport* 11:50–5.

- Butterfield TA, Leonard TR, Herzog W (2005) Differential serial sarcomere number adaptations in knee extensor muscles of rats is contraction type dependent. *J Appl Physiol* 99:1352–1358.
- Farthing JP, Chilibeck PD (2003) The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *Eur J Appl Physiol* 89:578–586.
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S. & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 88, 811–816.
- Marzilger R, Legerlotz K, Panteli C, et al (2018) Reliability of a semi-automated algorithm for the vastus lateralis muscle architecture measurement based on ultrasound images. *Eur J Appl Physiol* 0:1–11.
- Moore DR, Phillips SM, Babraj JA, et al (2005) Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 288:E1153–E1159.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B. & Reid, W. D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 556–568.
- Sharifnezhad A, Marzilger R, Arampatzis A (2014) Effects of load magnitude, muscle length and velocity during eccentric chronic loading on the longitudinal growth of the vastus lateralis muscle. *J Exp Biol* 217:2726–2733.
- Shepstone TN, Tang JE, Dallaire S, et al (2005) Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol* 98:1768–1776.
- Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, et al (2006) Muscular Performance after Concentric and Eccentric Exercise in Trained Men. *Med Sci Sport Exerc* 38:1770–1781.