

Tobias Marzin¹

(3. Platz, Kategorie Referate Wissenschaftlicher Nachwuchs)

Ausgewählte biomechanische und physiologische Parameter von Muskelarbeit – Längs- und Querschnittsuntersuchung bei Krafttraining und Kniestreckarbeit

Summary

The metabolic aspects of resistance training (KT) are hardly ever considered in literature, as well as during symposia. If the expected and actual adaptations, respectively, are a direct effect of the load of KT, then there is a need to describe and discuss the metabolic aspects of training load, too. For this purpose two out of several studies will be presented in this paper in more detail. The characteristics of blood lactic acid (La) and pulmonary oxygen uptake (VO_2) during standardised and non-standardised KT will be described and discussed in the context of methodological aspects of training.

Zusammenfassung

Physiologische Aspekte des Krafttrainings (KT) finden in der Fachliteratur und auf Tagungen von Fachverbänden kaum Erwähnung. Wenn man davon ausgeht, dass die erwarteten, bzw. auch tatsächlich stattfindenden Anpassungsprozesse eine direkte Folge der Krafttrainingsbelastung darstellen, dann müssen auch die physiologischen Aspekte der Belastung beschrieben und diskutiert werden. Zu diesem Zweck werden im Rahmen dieser Darstellung aus mehreren Untersuchungsreihen zwei näher ausgeführt. Das Verhalten von Blutlaktat (La)

¹ Betreuer der Arbeit ist Herr Professor Dr. Ulrich Hartmann, Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der Sportarten, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

und pulmonaler Sauerstoffaufnahme (VO_2) soll hierbei während standardisiertem und nicht standardisiertem KT beschrieben und im Kontext der trainingsmethodischen Parameter diskutiert werden.

Schlagnworte: Krafttraining, Energiestoffwechsel, Sauerstoffaufnahme, Laktat

1. Einleitung

1.1 Forschungsstand

Ein regelmäßig durchgeführtes Krafttraining (KT) wird heutzutage in nahezu allen Bereichen des Sports allgemein empfohlen. Dies umfasst sowohl die Aspekte des Leistungssports, als auch des Gesundheitssports im Sinne eines Präventions- und Rehabilitationstrainings. Insgesamt liegen nur wenige Studien vor, welche die metabolischen Prozesse während Krafttraining beschreiben. Diese beschreiben meist die VO_2 , bzw. den Energieumsatz während relativ kurzen (< 30 min) KT Einheiten i.S. eines Zirkeltrainings unter den Aspekten von Prävention. Während seit Mitte der 1980er Jahre elegante Studien existieren, welche physiologische Parameter wie Durchblutung, oxidative, anaerob-alkalotische und anaerob-laktotische Stoffwechselbeiträge einer umschriebenen Muskelgruppe unter kontrollierten Arbeitsbedingungen beschreiben (Andersen, Saltin, 1985), liegen praktisch keine Daten zu Belastungen mit hohen Kräfteinsätzen und niedrigen Bewegungsgeschwindigkeiten i.S. eines KT vor.

1.2 Forschungsidee

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die physiologischen Belastungen bei KT anhand von pulmonaler VO_2 und La beschrieben werden. Weiter soll diskutiert werden, in wie weit Möglichkeiten bestehen auf dieser Basis quantitative Aussagen über oxidative (VO_2) und glykolytische (Laktatbildung (V_{La})) Energiebereitstellung bei Kraft-/kraftähnlichen Belastungen zu erhalten, da invasive Methoden zur Bestimmung des zellulären Energiestoffwechsels praktisch schwer durchführbar sind.

1.3 Wissenschaftliche Fragestellung

Es wird angenommen, dass die Bestimmung von VO_2 und La bei KT neue Erkenntnisse über die jeweiligen physiologischen Mechanismen ermöglicht und, dass die Bestimmung der mechanisch erbrachten Leistung (P), eingesetzten Muskelmasse (MuM) und von VO_{2max} und $V_{La,max}$ der eingesetzten Muskulatur erforderlich ist, um exakte Beiträge von VO_2 und V_{La} zur Gesamtstoffwechselleistung abzuschätzen.

2. Methodik

In mehreren Quer- und Längsschnittuntersuchungen werden VO_2 und La bei Krafttraining, Laufen, Fahrrad-Ergometerarbeit und eingelenkiger Beinstreckarbeit durchgeführt. Hiervon werden im Weiteren zwei Untersuchungen näher erläutert. Bei beiden Messreihen wurden für die Atemgasanalyse mehrere Messsysteme eingesetzt (MetaMax I, K4b2, ZAN600), deren Übereinstimmung in einer separaten Messreihe geprüft wurde. Die Laktatbestimmung erfolgte enzymatisch-ampereometrisch (EKF, Biosen C-Line) nach Blutentnahme am Ohrläppchen.

2.1 Untersuchung 1

Bei 51 Versuchspersonen (VP) ($m = 39$, $w = 12$, $35,0 \pm 17,3$ Jahre, $179,4 \pm 5,5$ cm, $81,4 \pm 18,9$ kg) aus den Gruppen Senioren, Fitness, Athletik, Leistung und Kraftsport wurden während eines nicht standardisierten KT VO_2 , La, Herzfrequenz (Hf), subjektives Belastungsempfinden (SBE), Netto- und Bruttotrainingsdauer (t_{netto} , t_{brutto}) bestimmt. Darüber hinaus wurde bei ausgewählten VP am Fahrrad-Ergometer (Cyclus 2) die Leistung bei $4,0$ mmol/l La ($n = 44$), die $VO_{2\text{max}}$ ($n = 35$), sowie die $V_{\text{La}\text{max}}$ ($n = 14$) bestimmt.

2.2 Untersuchung 2

In einer weiteren Untersuchung wurden bei bislang 10 männlichen VP ($27,3 \pm 7,4$ Jahre, $176,8 \pm 8,7$ cm, $75,8 \pm 6,5$ kg) $VO_{2\text{max}}$, $V_{\text{La}\text{max}}$, 10 Wiederholungsmaximum (10RM) und Maximalkraft (F_{max}) bei beidbeiniger, eingelenkiger Kniestreckarbeit (KS) bestimmt, sowie die Ruhe VO_2 und die Quadricepsmasse (QM) anthropometrisch abgeschätzt. Anschließend wurde während eines standardisierten KT (4x10 Wiederholungen mit 90 % des 10 RM) VO_2 , La und P bei KS gemessen. Nach dem zweiten und vierten Satz erfolgten 15 min Pause. Zwischen Satz 2 bis 4 betrug die Pause jeweils 1 min. Die KS, bzw. die Ermittlung von P und F_{max} erfolgten an einem Motronik-Trainer und einem m^3 der Fa. Schnell. Die Winkel-Zeit-Daten dieser Messgeräte wurden z.T. zur weiteren Berechnung mit einem AD-Wandler me-ADfo (bmcm) ausgelesen. Die Abschätzung der Quadricepsmasse (QM) und der Teilkörpercharakteristika (TkCh) der Beine erfolgten anthropometrisch (Jones & Pearson, 1969; Radegran et al., 1999; Winter, 1991).

3. Ergebnisse

Für alle Untersuchungen werden z.Zt. die statistischen Auswertungen vorgenommen. Die Messungen zu Untersuchung 2 sind noch nicht abgeschlossen.

3.1 Untersuchung 1

In den unterschiedlichen Stichprobengruppen liegen die VO_2 bei nicht standardisiertem KT im Mittel bei $0,7$ - $0,8$ l/min (Frauen), bzw. $1,0$ - $1,3$ l/min (Männer). Bezogen auf das Körpergewicht zeigen sich unabhängig vom Geschlecht Werte

von 12-15 ml/min*kg. Es werden damit 29,3 % ($\pm 4,6$) der am Fahrrad-Ergometer ermittelten VO_2max genutzt. Etwa 60-70 % der gemessenen La liegen im Bereich von 4,0-8,0 mmol/l, wobei die Senioren zu niedrigeren, die Athletiksportler zu etwas höheren Ergebnissen tendieren. Die Frauen zeigen in allen Gruppen niedrigere Werte als Männer. Der durchschnittliche Energieumsatz (En) (kalorische Äquivalent: 5,0 kcal/l O_2) liegt bei 4,0 kcal/min ($\pm 0,4$) für die Frauen, bzw. 5,8 kcal/min ($\pm 1,2$) für die Männer.

3.2 Untersuchung 2

Tabelle 1 zeigt die vorläufigen Ergebnisse der 10 bisher untersuchten VP bei beidbeiniger KS.

Tab. 3. Mittelwerte (Mw) und Standardabweichung (s) der biomechanischen, anthropometrischen und physiologischen Messungen

F_{max} (Nm)	10RM (kg)	VO_2max (l/min)	Ruhe VO_2 (l/min)	$V_{La}max$ (mmol/lxs)	QM (kg)
453,8 ($\pm 45,8$)	80,5 ($\pm 9,0$)	2,4 ($\pm 0,6$)	4,1 ($\pm 0,6$)	0,28 ($\pm 0,06$)	4,0 ($\pm 0,4$)

Die mittlere Belastungszeit für 10 Wiederholungen KS betrug ca. 20 s. Das maximale Nachbelastungslaktat (MaxNbLk) nach dem ersten Satz betrug 2,65 mmol/l ($\pm 0,48$) und wurde zwischen der 1. und 4. min nach Belastungsende erreicht. Nach 15min Pause sinkt das La auf 1,61 ($\pm 0,54$ mmol/l) und damit nicht ganz auf die Ruhe Werte (1,08 $\pm 0,21$ mmol/l). Die resultierende V_{La} (0,10 $\pm 0,03$ mmol/l*s) nutzt die gemessene $V_{La}max$ zu 36,8 % ($\pm 13,0$). Nach dem 4. Satz erreichte das MaxNbLk im Mittel 5,40 mmol/l ($\pm 0,91$), dann sinkt das La bis zur 15. Nachbelastungsminute auf 3,05 mmol/l ($\pm 0,95$). Die VO_2 (Durchschnitt über 60 s) steigt in der ersten Minute nach Satz 1 auf maximal 0,93 l/min ($\pm 0,16$), bzw. 45 % ($\pm 13,8$) der VO_2max an und sinkt nach ca. 5 min wieder auf Ruhe Niveau ab. Nach Satz 4 steigt die VO_2 in der ersten Nachbelastungsminute auf 1,21 l/min ($\pm 0,33$), bzw. 59 % ($\pm 23,6$) der VO_2max und erreicht nach wenigen Minuten wiederum Ruhewerte. Eine Auswertung der Winkel-Zeit Daten und die resultierende Berechnung von Arbeit und Leistung wird z.Zt. durchgeführt.

4. Diskussion

Der in Untersuchung 1 ermittelte Energieumsatz (En) von 5,8 kcal/min für Männer und 4,0 kcal/min für Frauen liegt niedriger als die Angaben anderer Autoren. Diese Befunde sind vermutlich auf die deutlich höhere t_{brutto} (110,6 $\pm 27,8$ min vs. 14-37 min) während des untersuchten KT zurückzuführen. Der gesamte En liegt in der aktuellen Studie aufgrund der längeren Belastungszeit jedoch höher.

Während die relative Nutzung der $VO_2\text{max}$ bei KT scheinbar unabhängig vom Trainingszustand und Trainingsziel ist, zeigen die La die höchsten Werte im Bereich des Muskelaufbautrainings ($7,56 \pm 1,60$ mmol/l), während die Seniorensportler die niedrigsten La aufweisen ($4,48 \pm 1,50$ mmol/l). Insgesamt zeigen die La interindividuell eine große Streuung. Die Ergebnisse von Untersuchung 2 zeigen, dass La und VO_2 unter standardisierten Bedingungen Informationen über die relative Nutzung von $V_{La\text{max}}$ und $VO_2\text{max}$ einer umschriebenen Muskelgruppe liefern. Die Untersuchung soll zeigen, ob anhand der gewonnenen Daten eine Berechnung der zeitlichen Dynamik der Energie liefernden Prozesse bei KT mittels mathematischer Modelle möglich ist. Es kann vermutet werden, dass eine möglichst exakte Bestimmung der aktiven MuM, sowie die Berücksichtigung der exzentrisch verrichteten Arbeit notwendig ist.

Literatur

Andersen, P., Adams, R. P., Sjogaard, G., Thorboe, A. & Saltin, B. (1985). Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. *Journal of Applied Physiology*, 59 (5), 1647-1653.

Radegran, G., Blomstrand, E. & Saltin, B. (1999). Peak muscle perfusion and oxygen uptake in humans: importance of precise estimates of muscle mass. *Journal of Applied Physiology*, 87 (6), 2375-2380.

Jones, P. R. & Pearson, J. (1969). Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *Journal of Physiology*, 204 (2), 63-66.

Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (2. Auflage). New Jersey: John Wiley & Sons.

Verfasser

Tobias Marzin, Sportschule FFB-Puch