

---

## **Auswirkungen eines konventionellen Kraftausdauertrainings in Hypoxie sowie eines desmodromischen Kraftausdauertrainings in Normoxie auf Struktur und Stoffwechsel des Skelettmuskels**

B. Friedmann (Projektleiterin)<sup>1</sup>, St. Borisch<sup>1</sup>, K. Kucera<sup>2</sup>, H. Müller<sup>2</sup>, P. Bärtsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Heidelberg

Medizinische Klinik und Poliklinik, Abt. Innere Medizin VII: Sportmedizin

<sup>2</sup>Olympiastützpunkt Rhein-Neckar

VF 0407/01/04/98

### **1 Problem**

Ein Training unter Hypoxiebedingungen wurde bisher fast ausschließlich zur Verbesserung der oxidativen Kapazität durchgeführt (FRIEDMANN/BÄRTSCH, 1999). Dabei wurden in der Muskulatur sowohl eine Steigerung der Enzymaktivitäten des oxidativen Stoffwechsels als auch eine Zunahme des Myoglobins festgestellt (TERRADOS et al., 1990). Einige wenige Berichte über Veränderungen des Muskelfaserquerschnitts bei Aufenthalt bzw. Training in Hypoxie sind widersprüchlich. Während es bei längerem Aufenthalt in extremer Hypoxie (bis 8848 m Höhe) zu einer deutlichen Abnahme des Muskelfaserquerschnitts (25% ST-, 20% FT-Fasern) kam (GREEN et al., 1989) und in einer Studie nach einem achtwöchigen einbeinigen Fahrradtraining (3x/Woche, je 30 Minuten) in normobarer Hypoxie (ca. 3300 m Höhe) keine signifikante Änderung des Muskelfaserquerschnitts eintrat (MELISSA et al., 1997), wurde in einer Studie bei einem über drei Wochen für zwei Stunden am Tag auf dem Fahrrad durchgeführten Ausdauertraining in normobarer Hypoxie (anfänglich ca. 4100 m Höhe, am Ende ca. 5700 m Höhe) eine Zunahme des Muskelfaserquerschnitts von 10% beobachtet, die bei vergleichbarem Training in Normoxie nicht festzustellen war (DESPLANCHES et al., 1993). Eine Zunahme des Muskel- bzw. Muskelfaserquerschnitts ist die bedeutendste Anpassungsreaktion des Skelettmuskels zur Verbesserung der Muskelkraft nach Krafttraining. In der vorliegenden Studie sollte überprüft werden, ob ein konventionelles Kraftausdauertraining in normobarer Hypoxie (ca. 4500 m Höhe) bei untrainierten Probanden eine stärkere Zunahme der Muskelkraft sowie des Muskel- bzw. Muskelfaserquerschnitts bewirkt als ein äquivalentes Training in Normoxie. Weiterhin gibt es Hinweise auf eine größere Zunahme des Muskelquerschnitts bei einer Erhöhung des exzentrischen Anteils der Muskelbelastung (O'HAGAN et al., 1995). Aus diesem Grund sollen in dieser Untersuchung ferner die Auswirkungen eines desmodromischen Krafttrainings untersucht werden, bei dem die exzentrische Muskelbelastung erhöht ist.

## 2 Methode

26 gesunde Männer, die bisher kein Krafttraining absolviert hatten, absolvierten vier Wochen lang 3x/Woche ein Kraftausdauertraining für den M. quadriceps femoris (Trainingsphase). Nach dem Zufallsprinzip wurden sie einem Quadricepstraining im Sitzen entweder an einem Beincurler in Hypoxie oder Normoxie oder an einem desmodromischen Gerät (Motronic) in Normoxie zugeteilt. Zuvor hatten sie eine dreiwöchige Eingewöhnungsphase mit einem Quadricepstraining an einem Beincurler (3x/Woche) durchgeführt.

Tab. 1: Anthropometrische Daten

Trainingsgruppe	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
Hypoxie (n = 10)	25,1 ± 2,9	183,5 ± 5,1	77,0 ± 9,0
Normoxie (n = 9)	24,3 ± 2,5	179,3 ± 8,4	72,9 ± 9,0
Desmodromisch (n = 7)	24,8 ± 4,2	182,8 ± 6,7	78,3 ± 6,4

Jeweils in der Woche vor und nach der Trainingsphase wurden an aufeinanderfolgenden Tagen folgende Untersuchungen durchgeführt:

- ◆ Fahrradspiroergometrie (Maximalleistung, anaerobe Schwelle)
- ◆ Kraftmessung an einem isokinetischen System (Biodex, Maximalkraft: bester Versuch aus drei Wiederholungen mit 60°/Sek.; Kraftausdauer: geleistete Arbeit bei einem „all-out-Test“ mit 50 Wiederholungen bei 180°/Sek.)
- ◆ Magnetresonanztomographie (MRT) zur Bestimmung des Muskelquerschnitts der Oberschenkelstreckmuskulatur (M. quadriceps femoris, M.vastus lateralis) und Biopsie aus dem rechten M. vastus lateralis zur Bestimmung des Faserquerschnitts, verschiedener Enzyme und m-RNA-Moleküle.
- ◆ Statistik: Vergleich vor und nach Training: t-Test für verbundene Stichproben; Vergleich der einzelnen Trainingsgruppen untereinander hinsichtlich der Differenzen vor und nach dem Training: ANOVA.

## 3 Ergebnisse

Die Maximalkraft änderte sich in keiner der Trainingsgruppen signifikant. Hingegen nahm die geleistete Arbeit im „all-out-Test“ sowohl in der Hypoxie- als auch in der Normoxiegruppe signifikant zu und blieb in der desmodromischen Trainingsgruppe unverändert. Hinsichtlich der Trainingseffekte (Differenzen: vor und nach dem Training) unterschieden sich die einzelnen Gruppen nicht signifikant voneinander.

Tab. 2: Ergebnisse der isokinetischen Krafttests. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen für den besten Versuch der drei Wiederholungen im Maximalkrafttest bei 60°/Sek. sowie für die geleistete Arbeit im „all-out-Test“ mit 50 Wiederholungen bei 180°/Sek., jeweils für das rechte Bein und bezogen auf das Körpergewicht. \*:  $p < 0.05$  im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training.

Trainingsgruppe	Maximalkraft (Nm/kg)		Arbeit (J/kg)	
	vor	nach	vor	nach
Hypoxie	2,69 ± 0,43	2,81 ± 0,47	56,0 ± 11,4	60,5 ± 10,6*
Normoxie	2,85 ± 0,37	2,90 ± 0,33	59,6 ± 7,3	64,7 ± 7,2*
Desmodrom.	2,64 ± 0,25	2,75 ± 0,32	58,0 ± 6,0	58,8 ± 6,0

Die Leistungen in der Fahrradspiroergometrie änderten sich in keiner Trainingsgruppe signifikant. Im Gruppenvergleich zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Differenzen in der Leistungsfähigkeit nach der Trainingsphase im Vergleich zu vorher.

Tab. 3: Maximalleistung, Leistung an der 4 mmol- und der individuellen anaeroben Laktatschwelle (IAS) in der Fahrradspiroergometrie. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen für die körpergewichtsbezogenen Leistungen vor und nach der Trainingsphase.

Training	Maximalleistung (Watt/kg)		4 mmol/l (Watt/kg)		IAS (Watt/kg)	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Hypoxie	4,2 ± 0,4	4,3 ± 0,4	3,2 ± 0,6	3,3 ± 0,5	2,9 ± 0,6	3,0 ± 0,5
Normoxie	4,2 ± 0,5	4,3 ± 0,5	3,2 ± 0,6	3,2 ± 0,6	3,0 ± 0,7	3,1 ± 0,7
Desmodr.	4,3 ± 0,2	4,5 ± 0,4	3,3 ± 0,4	3,3 ± 0,7	3,0 ± 0,5	3,1 ± 0,6

## 4 Diskussion

Sowohl in der Normoxie- als auch in der Hypoxiegruppe weist die signifikant verbesserte Arbeit im „all-out-Test“ auf eine verbesserte Kraftausdauer nach der Trainingsphase hin. Durch die der Trainingsphase vorgeschaltete Eingewöhnungsphase kann weitgehend ausgeschlossen werden, dass es sich hierbei um Auswirkungen einer neuronalen Adaptation handelt. Die Ergebnisse der Muskelquerschnittsmessung (MRT-Untersuchung) und der Bestimmung des Muskelfaserquerschnitts (Muskelbiopsie) stehen noch aus. Bisher gibt es aufgrund fehlender signifikanter Unterschiede beim Vergleich der Gruppen untereinander hinsichtlich der Trainingseffekte keinen eindeutigen Hinweis darauf, dass eine Trainingsform effektiver ist als die anderen.

## 5 Literatur

- DESPLANCHES, D.; HOPPELER, H.; LINOSSIER, M.T.; DENIS, C.; CLAASSEN, D.; DORMOIS, D.; ACOUR, J.R.; EYSSANT, A.: Effects of training in normoxia and normobaric hypoxia on human muscle ultrastructure. *Pflügers Arch.* 425 (1993), 263-267
- FRIEDMANN, B.; BÄRTSCH, P.: Möglichkeiten und Grenzen des Höhentrainings im Ausdauersport. *Leistungssport* 29 (1999) 3, 43-48
- GREEN, H.J.; SUTTON, J.R.; CYMERMAN, A.; YOUNG, P.M., HOUSTON, C.S.: Operation Everest II: adaptations in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 66 (1991) 5, 2454-2461
- O'HAGAN, F.T.; SALE, D.G.; MACDOUGALL, J.D.; GARNER, S.H.: Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (1995) 8, 1210-1219
- MELISSA, L.; MCDOUGALL, J.D.; TARNOPOLSKY, M.A.; CIPRIANO, N.; GREEN, H.J.: Skeletal muscle adaptations to training under normobaric hypoxic versus normoxic conditions. *Med. Sci. Sportes Exerc.* 29 (1997) 2, 238-243
- TERRADOS, N.; JANSSON, E.; SYLVEN, C.; KAIJSER, L.: Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *J. Appl. Physiol.* 68 (1991) 6, 2369-2372