

Über den Einfluss von Hypoxie- und Normoxie-Umgebung auf hämodynamische und metabolische Parameter bei Stufenbelastung und Dauerlauf

Jang JT¹, Chan YS¹, Wang YC², Chen JH²

Institute of Coaching Science, Abteilung für Trainingsphysiologie und Gesundheit, National Taiwan Sport University

Zusammenfassung

Einleitung: Es wurde die Beziehung zwischen Hypoxie- und Normoxie-Umgebung beim Laufbandstufentest und beim Dauerlauf auf metabolische und hämodynamische Parameter untersucht.

Methodik: Ausgehend von einer Geschwindigkeit von 2.3 m/s wurde die Belastung um jeweils 0.3 m/s bis in den Grenzbereich der Leistungsfähigkeit gesteigert. Die 6 Probanden mit einem Durchschnittsalter von 24.3 ± 1.11 Jahren führten 4 Tests durch. Je Testintervall mit 48 Stunden Pause wurde stufenweise in den Bereichen Hypoxie (I), Normoxie (II), V4-Hypoxie (III) und V4-Normoxie (IV) untersucht.

Ergebnisse: Die Geschwindigkeiten nehmen an der 2 mmol/L und 4 mmol/L Schwelle (V2-V4) von I nach II zu ($+0.4$ m/s, $p > 0.05$). Die Mittelwerte der Herzfrequenzen weisen bei der 2 mmol/L Schwelle eine Differenz von $+1$ min^{-1} ($p > 0.05$) und bei der 4 mmol/L Schwelle eine Differenz von $+5$ min^{-1} ($p > 0.05$) auf. Ein Unterschied ergibt sich bei der Ausbelastung. Bei Normoxie weist ein Proband eine Geschwindigkeit bis 4.1 m/s auf, bei Hypoxie nur bis 3.8 m/s. Bei 20 min Dauerlauf (V4) liegen die Laktatwerte durchschnittlich bei 5.4 ± 2.5 mmol/L (III) und 4.9 ± 1.8 mmol/L (IV), die Differenz beträgt -0.5 mmol/L ($p > 0.05$). Bei Ausbelastung (V4) liegen die Mittelwerte der Herzfrequenz unter Hypoxie bei 163 ± 17.4 min^{-1} und unter Normoxie bei 168 ± 14.9 min^{-1} ($p < 0.05$). Die Beziehung der Geschwindigkeit zwischen Hypoxie und Normoxie an der V2- und der V4- Schwelle ist hochsignifikant ($r = 0.05$, $p < 0.05$).

Schlussfolgerung: Die erhobenen Befunde deuten auf den Schluss hin, dass stufenweise durchgeführter Laufbandtest und Dauerlauf unter Hypoxie- und Normoxie-Umgebung keine großen Unterschiede der metabolischen und hämodynamischen Parameter aufweisen. Um einen Effekt in der Praxis unter Hypoxie- (15%)- Anwendung zu erreichen, muss über lange Perioden trainiert werden.

Schlüsselwörter: Hypoxie, Normoxie, V2, V4

Einleitung

In Training und Wettkampf spielt die Pausengestaltung für die schnelle und effektive Regeneration in den meisten Sportarten eine entscheidende Rolle. In zunehmendem Maße absolvieren nun auch (immer mehr) Freizeitsportler ihr Training in der Höhe, da auch dem Aspekt der Prävention durch das Training in der Höhe immer mehr Bedeutung geschenkt wird. Die physiologischen Auswirkungen der Hypoxie auf die sportliche Leistungsfähigkeit sind international vielfältig belegt (Berglund 1992; Böning 1997).

Reaktionen des Körpers auf Höhentaining sind einerseits die Zunahme der Sauerstoffaufnahme sowie der Anstieg der Herzfrequenz und des Schlagvolumens pro Pulsschlag in Ruhe und bei maximaler Intensität. Weiterhin kommt es bei einem Höhentaining zu dem Effekt, dass mehr Energie mit Hilfe des aeroben Systems gewonnen werden kann. Die nachgewiesenen leistungssteigernden Effekte sowohl eines Höhentrainings als auch die eines Hypoxietrainings im Labor bei körperlichen Beanspruchungen in Meereshöhe können auch dadurch ausgelöst sein, dass der Hypoxiereiz auf einige Systeme im Körper wie eine zusätzliche Trainingsbelastung wirkt (Hollmann et al. 1966).

Beim Training in moderaten Höhen muss die Laufgeschwindigkeit um 7 bis 9 % reduziert werden, da bei steigender Höhe die maximale aerobe Kapazität abnimmt (Jackson et al. 1988). In 2500m Höhe ist die Sauerstoffkonzentration nur 15% (Neumann et al. 2001). Bei akuten Belastungen in Höhen um 2500 m kann mit einer deutlicheren Verringerung die Sauerstoffkonzentration gerechnet werden (Levine et al. 1997). Da unter Belastung in Hypoxie die Glykolyse hauptsächlich anaerob abläuft, kann es zu einer verstärkten Akkumulation des Laktates kommen. Die Untersuchung in der Hypoxiekammer (Normobare Hypoxie) wurde unter mit den zwei Methoden Stufenlauf und Dauerlauf durchgeführt. Das Ziel der Studie ist es herauszufinden, ob sich bei körperlicher Beanspruchung in normobarer Hypoxie und in Normoxie eine Änderung der individuellen Schwelle und der hämodynamischen und metabolischen Parameter beobachten lassen.

Methodik

An der Untersuchung nahmen 6 männliche Sportstudierende teil, die 3 mal pro Woche wie gewohnt trainierten (Alter 24.3 ± 1.11 Jahre; Grösse 169.5 ± 6.20 cm; Gewicht 64.8 ± 8.10 kg). Es wurden 4 Tests durchgeführt, die je Testintervall mit 48 Stunden Pause stufenweise in den Bereichen Hypoxie-I, Normoxie-II (Abb. 1), V4-Hypoxie -III und V4-Normoxie-IV (Abb. 2) untersucht wurden.

Als Verfahren der beschreibenden Statistik kamen arithmetisches Mittel (\bar{x}) und

Standardabweichung ($\pm s$) zum Einsatz. Die Prüfung auf signifikante Zusammenhänge zwischen Normoxie und Hypoxie erfolgte mittels linearer Regressionsanalyse. Unterschiede ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurden als signifikant bezeichnet.

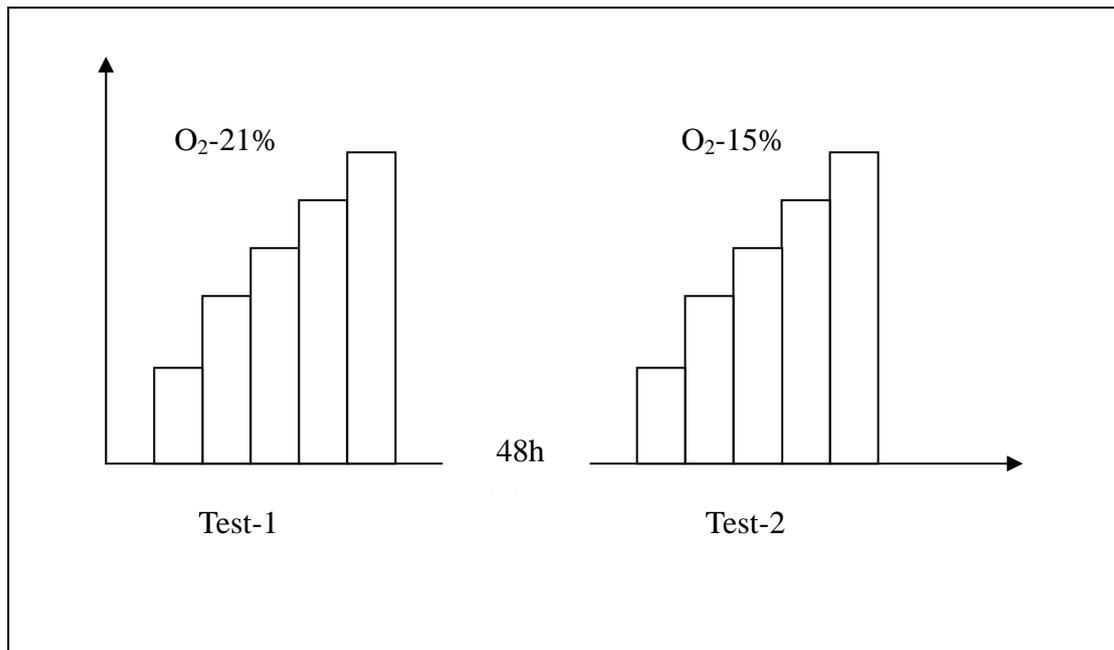


Abbildung 1: Stufentest bei Sauerstoff 21% und 15 % Umgebung, zwei Test Intervalle 48 Stunden Pause

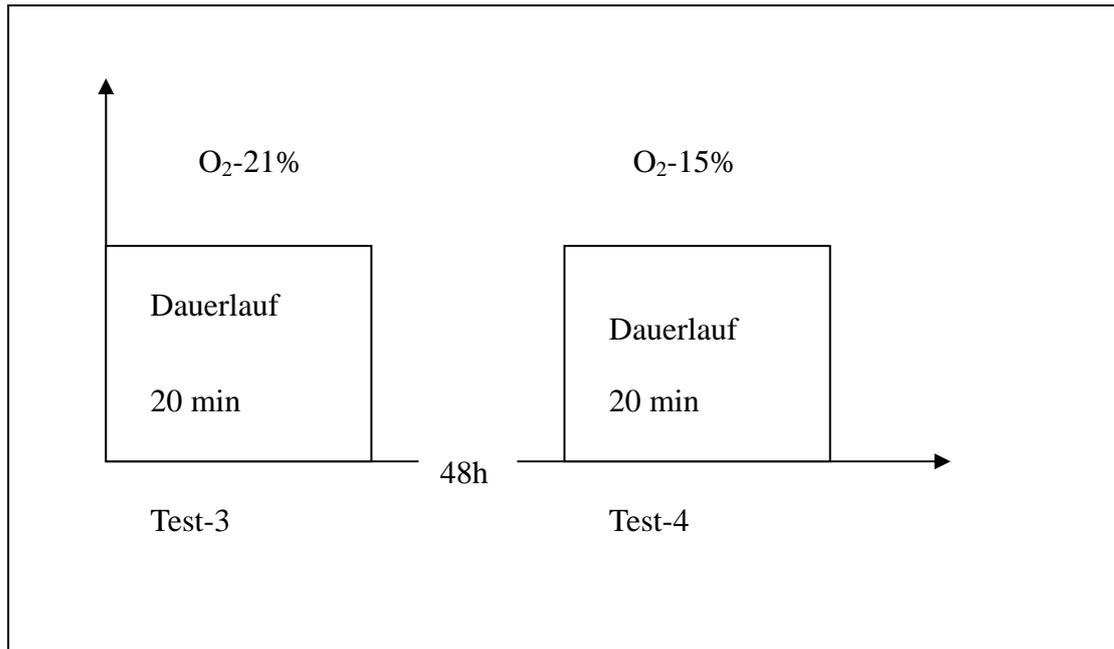


Abb. 2: 20 Minuten Dauerlauf unter Normoxie- und Hypoxie-Umgebung

Ergebnisse

Die Probanden erreichten an der 2 mmol/L Schwelle eine durchschnittliche Geschwindigkeit (V_2) von 2.1 ± 0.2 m/s bei Normoxie (O₂-21%) und von 1.7 ± 0.3 m/s bei Hypoxie (O₂-15%). Zwischen beiden Untersuchungen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0.05$) bei der Differenz der durchschnittlichen Herzfrequenzen an V_2 (Tab. 1). An der 4 mmol/L Schwelle bestanden keine signifikanten Unterschiede bei der Geschwindigkeit (V_4) und der Herzfrequenz unter Normoxie und Hypoxie unter Belastung (Tab-2, $p > 0.05$).

Die Abb. 3 verdeutlicht eine positive Beziehung der Geschwindigkeit bei Belastung unter Normoxie und Hypoxie an V_2 und V_4 ($r = 0.5$, $p < 0.05$). Bei einer Dauerlaufbelastung von 20 Minuten konnten keine signifikanten Unterschiede der Herzfrequenzdifferenzen festgestellt werden ($p > 0.05$). Bei Betrachtung der Einzelwerte der Laktatkonzentration nach der Belastung betrug der höchste Wert unter Hypoxie 9.7 mmol/L; unter Normoxie nur 6.8 mmol/L. Die Differenz zwischen den durchschnittlichen Laktatkonzentrationen unter Normoxie und Hypoxie lag bei 0.47 mmol/L ($p > 0.05$), die der durchschnittlichen Herzfrequenzen bei 5 min^{-1} . Somit ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Abb-4, $p > 0.05$).

Tab-1: 2 mmol/L Schwelle

Nr.	15%		21%	
	Hf	m/s	Hf	m/s
1	144	1.5	158	2.1
2	136	1.4	132	1.9
3	155	2.2	148	2.3
4	137	1.7	132	1.9
5	131	1.5	141	2.3
6	149	1.9	148	2.2
M±SD	142±9.2	1.7±0.3	143±10	2.1±0.2
Diff.			+1	+0.4

Tab-2: 4 mmol/L Schwelle

Nr.	15%		21%	
	Hf	m/s	Hf	m/s
1	161	2.0	173	2.6
2	153	2.0	155	2.6
3	175	2.8	174	3.0
4	155	2.2	150	2.3
5	148	2.2	161	3.1
6	163	2.5	170	2.9
M±SD	159±9.7	2.3±0.3	164±10	2.7±0.3
Diff.			+5	+0.4

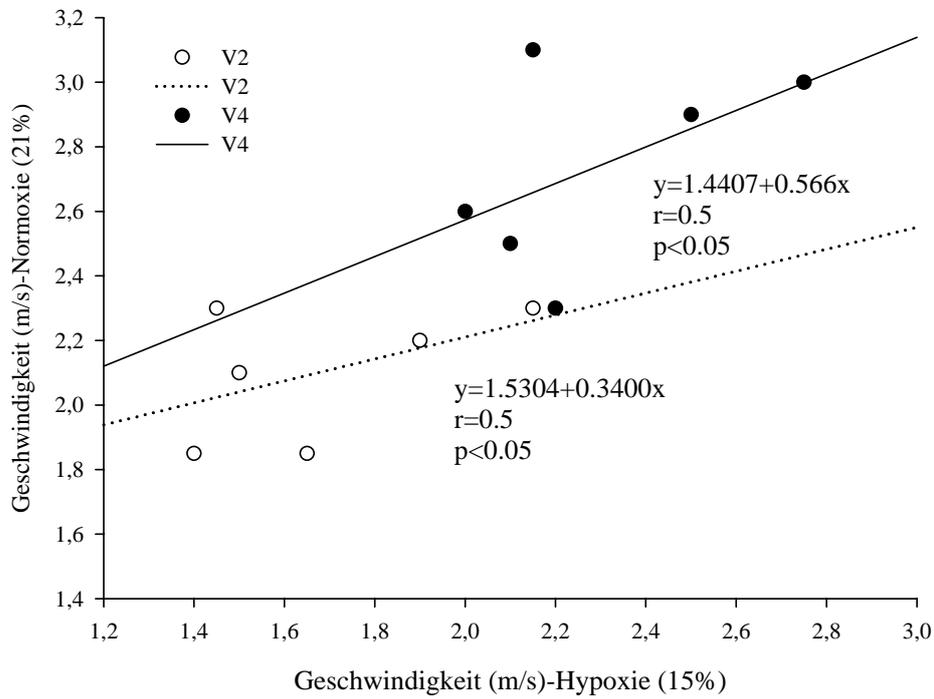


Abb-3: Die Beziehung der Geschwindigkeit zwischen der Hypoxie- und Normoxie-Umgebung an der aeroben (V2)- und anaeroben (V4) Schwelle

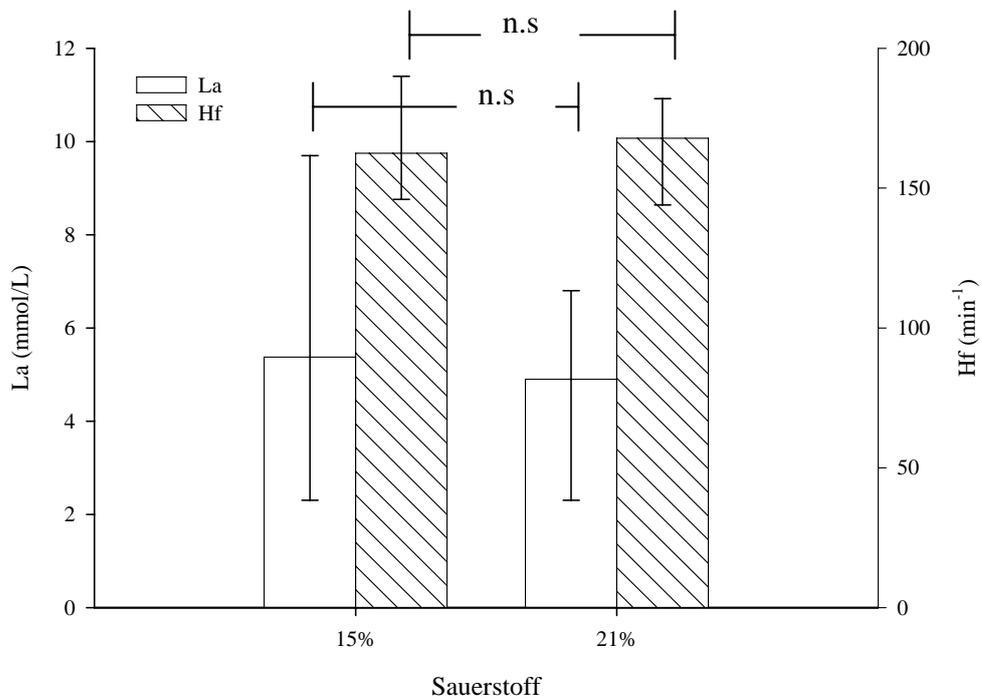


Abb-4: Der V4 Dauerlauf (20min) unter Hypoxie (15%) und Normoxie (21%)

Diskussion

Die Tests bestanden aus zwei verschiedenen Formen der Sauerstoffaufnahme (15% und 21%) bei einem Dauerlauf und auf dem Laufbandergometer mit einem Stufenlauf.

Nach der Untersuchung der individuellen Schwellen bei V2 und V4 ergab sich eine signifikante Korrelation zwischen Hypoxie und Normoxie. Die Herzfrequenz stieg fünf Schläge (V4) bei Normoxie ($p > 0.05$). Beim Dauerlauf unter Normoxie-Bedingung nahm die Laktatkonzentration um ca. 0,5 mmol/L (V4) ab ($p > 0.05$). Der Effekt des Dauerlaufs bei V4 unter Hypoxie entsprach der trainingsbedingt höheren Belastung, die noch erhöht werden könnte. Andererseits aber auch infolge der gesteigerten Atemantwort auf Hypoxie kann dies einen erhöhten Energieverbrauch durch diese Muskulatur bei V4 bedeuten (Wolski et al. 1996).

Aus den widersprüchlichen Untersuchungsergebnissen (Berglund 1992; Koistinen et al. 1995; Reiss 1998; Friedmann 2000) leiten sich die Fragen ab: Wie viele Stunden wird täglich trainiert? Wie intensiv ist die Belastung? Wie lange muss sich ein Sportler in seiner trainingsfreien Zeit in Hypoxie aufhalten, um die individuelle Schwelle signifikant zu stimulieren und eine Zunahme der Ausdauerfähigkeit bei einem kurzen Zeitraum zu erreichen. Um einen Effekt in der Praxis unter Hypoxie-(15%)-Anwendung zu erreichen, muss über lange Perioden trainiert werden.

Literatur

Mader, A.; Lisen, H.; Heck,.; Philippi, H Rost, R.; Schurch, P.; Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit in Labor. Sportarzt und Sportmed. 27(4),80-88.

Hollmann, W., Venrath, H., Herkenrath, G., Barwisch, B. (1966). Untersuchungen zum Leistungsverhalten in mittleren Höhen. I. Mitt: Der einfluss unterschiedlicher O₂-Konzentration in der Inspirationsluft auf das kardio-pulmonale Verhalten bei 12- bis 50sekündigen Maximalbelastungen. In: Sportmedizin. Grundlagen für Arbeit, Training und Präventionmedizin. 4. Auflage. Schattauer. 472-474.

Jackson, C. G., Sharkey, B. J. (1998).: Altitude, Training and Human Performance. Sports Med.6 (5), 279-84.

Berglund, B. (1992): High-altitude Training. Aspects of Haematological Adaptation.

In sports Med. 14, 289-303.

Böning, D. (1997): Altitude and Hypoxia Training- A Short Review. In: Int. J. Sports Med. 18, 565-570.

Neumann, G., Pfützner, A., Berbalk, A. (2001): Optimiertes Ausdauertraining. 3. Aufl. Aachen: Meyer und Meyer. 290-292.

Levine, B. D., Stray-Gundersen, J. (1997): Living high- Training low: Effect of Moderate-Altitude Acclimatization with Low-altitude Training on Performance. In: J. Appl. Physiol. 83, 102-112.

Wolski, LA., McKenzie, DC., Wenger, HA. (1996): Altitude training for improvements in sea level performance. Is there scientific evidence or benefit? Sports Med 22, 251-263.

Berglund, B. (1992): High-Altitude Training. Aspect of Haematological Adaptation. Sport Med 14, 289-303.

Koistinen, P., Takala, T., Martikkala, V., Leppäluoto, J. (1995): aerobic fitness influences the response of maximal oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia. Int J sports Med 26, 78-81.

Reiss, M. (1998): Hauptrichtungen des Einsatzes und der Methodik des Höhentrainings in den Ausdauersportarten. Leistungssport 4, 21-28.

Friedmann, B. (2000): Entwicklungen im Höhentaining: trends und Fragen. Deuts Z SportMed 51. 418-423.