
Die Wirkung kurzzeitiger intermittierender Hypoxie in Ruhe auf die Leistungsfähigkeit in Ausdauerbelastungen

Nadine Stuke, Vladimir Shushakov & Norbert Maassen (Projektleiter)

Medizinische Hochschule Hannover
BE Sportphysiologie/Sportmedizin

1 Problem

Intermittierende Hypoxie (IH) wird seit einigen Jahren als ein Ersatz des Höhentrainings propagiert. Ziel dieser Studie war es, herauszufinden, ob IH tatsächlich die Ausdauerleistung verbessert und die physiologischen Anpassungen durch IH die gleichen sind wie nach einem Höhentaining.

Untersuchungen am Menschen mit IH sind noch relativ selten. In der ehemaligen Sowjetunion gibt es klinische Erfahrungen mit einem Modell bei dem alle fünf Minuten zwischen Hypoxie und Normoxie gewechselt wird. Die inspiratorische O₂-Konzentration wird dabei auf 9-10 % reduziert. Mit dieser Methode werden neurologische Störungen mit Erfolg behandelt (Novikov et al., 1998). Die Methode findet auch bei Koronarer Herzkrankheit und Bluthochdruck Anwendung (Burtscher et al., 2004).

Wenn sich diese Methode als erfolgreich erweist, dann könnte sie eine sinnvolle und kostengünstige Alternative zum Höhentaining oder eine gute Ergänzung (Vorbereitung) des Höhentrainings sein. Dazu ist es aber nötig zu wissen, welche Anpassungen im Einzelnen zur Leistungsverbesserung führen. Dies ist auch wichtig, um diese Methode sinnvoll in den Trainingsprozess einzubauen. Die Adaptationen könnten im Bereich der Ventilation, im zentralen bzw. im peripheren Kreislauf, im Energiestoffwechsel, in der Erregung des Muskels und in der elektromechanischen Koppelung liegen.

Um Hinweise auf die Art und den Ort der Anpassung zu erhalten, sollte die Wirkung der IH auf die Ausdauerleistungsfähigkeit in dieser Studie untersucht werden, in der die Belastung mit einer kleinen Muskelgruppe und eine Fahrradergometrie bei vergleichbaren Intensitäten durchgeführt werden.

2 Methode

In der Studie nahmen 31 männliche Athleten teil, die über einen Zeitraum von zwei Wochen entweder IH durchführten (in Ruhe, 5:5 Min Hypoxie:Normoxie Zyklen, einmal pro Tag; fünf Tage pro Woche) oder als Kontrolle dienten.

Es gab vier Untersuchungsgruppen:

1. Hypoxie 1h, 9 %:21 % O₂ Zyklen für 60 Min, n = 5;
2. Hypoxie 1,5h, 9 %:21 % O₂ Zyklen für 90 Min, n = 9;
3. Hyperoxie, 21 %:50-60 % O₂ für 90 Min, n = 9;
4. Placebo, 21 %:21 % O₂ für 90 Min, n = 8.

Vor und nach den zwei Wochen führten die Probanden zunächst einen Dauertest mit der Unterarmmuskulatur durch, wobei die Belastung bei 91 % der Maximalleistung aus einem Stufentest (Pow_{max}) lag. Nach einer Stunde Pause folgte ein Dauertest auf dem Fahrradergometer bei 80 % Pow_{max} . Aus den Blutproben wurden SBS-Status, Metabolite und Elektrolyte bestimmt. Bei den Unterarmversuchen wurden sowohl die Durchblutung plethysmographisch gemessen, als auch die Kontraktionsgeschwindigkeit sowie die Hubhöhe durch einen induktiven Wegaufnehmer aufgezeichnet.

Im Anschluss fand eine Gesamthämoglobin-Bestimmung mit der CO-Methode statt. Am darauf folgenden Tag startete die Versuchsperson (Vp) mit der ersten Atmungssitzung, bei der die Vp in Ruhe das hypoxische Gasgemisch (9 % O₂, das entspricht einer Höhe von 6500 m) atmete. Die IH-Sitzungen fanden neben dem normalen Training statt. Nach der zehnten Atmungssitzung folgte am nächsten Tag der Abschlusstest, der genauso ablief wie die Eingangstests.

3 Ergebnisse

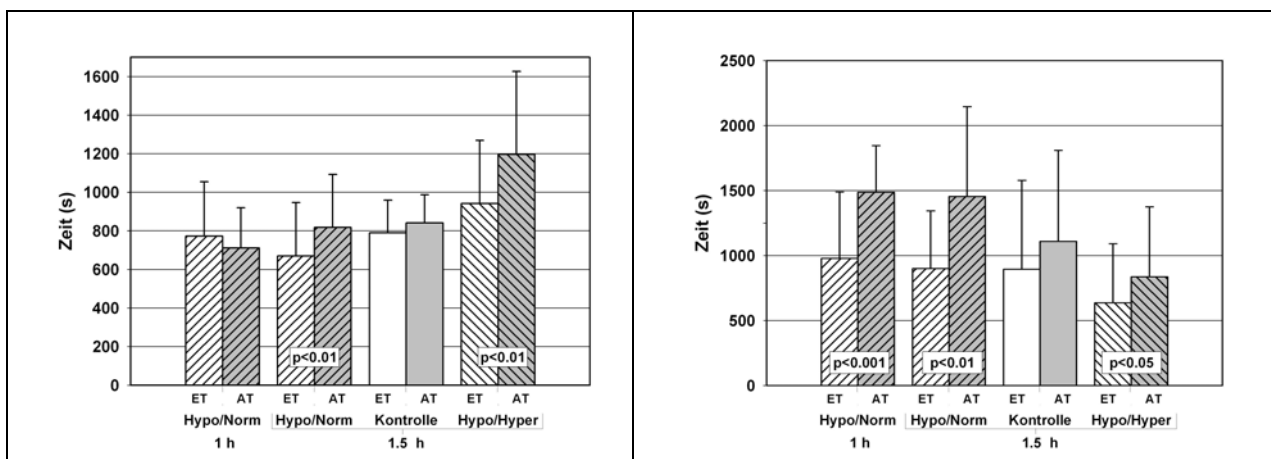


Abb. 1: Leistungszeiten auf dem Fahrradergometer von den vier Gruppen. Die beiden 1,5-stündigen Hypoxiegruppen verbesserten sich signifikant. Die Kontrollgruppe zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Abb. 2: Leistungszeiten der Unterarmergometrie der vier Gruppen. Alle Hypoxiegruppen steigern sich signifikant. Die Kontrollgruppe zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Nach zehn Tagen IH für 1,5h pro Tag war die Leistungszeit auf dem Fahrradergometer (+20 %; $p < 0,001$) und während der Unterarmergometrie (+40 %; $p < 0,002$) erhöht (Abb.1 und 2).

Aus den Abbildungen lässt sich entnehmen, dass sich die einstündige Hypoxiegruppe bei der Unterarmergometrie verbesserte, aber nicht bei der Fahrradergometrie.

Die Verbesserung bei der Fahrradergometrie der 1,5 h Hypoxiegruppen ist unabhängig von der $VO_2\text{max}$. Da die Verbesserung in beiden 1,5 h Hypoxiegruppen gleich ist (Verlängerung der Arbeitszeit um ca. 20 %) und sich die weiteren Ergebnisse unter beiden Bedingungen nicht unterscheiden, werden im weiteren Verlauf die Daten dieser Hypoxiegruppen zusammengefasst.

Die Retikulozyten stiegen signifikant an ($p < 0,001$) (Abb.3).

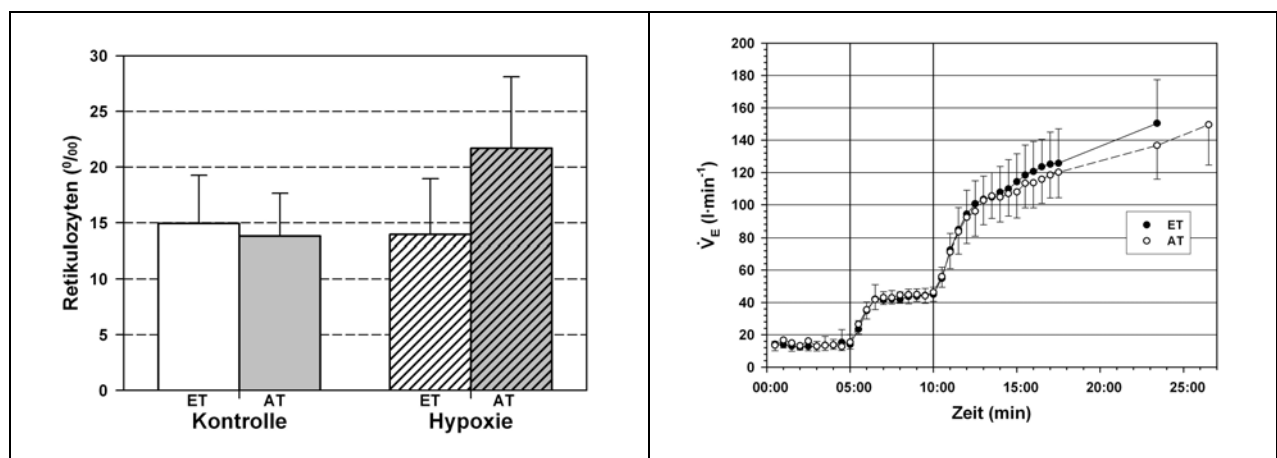


Abb. 3: Die Retikulozyten der Hypoxiegruppe stiegen sofort nach der ersten Sitzung an und blieben bis zum Ausgangstest erhöht. Die Kontrollgruppe zeigte keine Unterschiede.

Abb. 4: Während der hohen Belastungsphase war die Ventilation in der Hypoxiegruppe signifikant erniedrigt. Die Kontrollgruppe zeigte keine Unterschiede.

Das Blutvolumen, das mittlere Erythrozytenalter, die Sauerstoffaffinität des Hämoglobins und die Transportkapazität zeigten keine signifikanten Unterschiede. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Herzfrequenz, in den Parametern des Energiestoffwechsels, des Elektrolythaushalts und beim Säure-Base-Status.

Die einzig signifikante Veränderung bei der Fahrradergometrie war die reduzierte Ventilation ($p < 0,001$) (Abb. 4). Die Atemfrequenz war prozentual stärker reduziert als die Ventilation.

Neben der verlängerten Arbeitszeit bei der Unterarmergometrie zeigte sich bei hoher Belastung eine signifikant geringere Abnahme der Kontraktionsgeschwindigkeit ($p < 0,002$) (Abb. 5) bei unverändertem EMG und unveränderter Erregbarkeit. Auch die Erschlaffungsgeschwindigkeit nahm signifikant weniger ab (Abb. 6).

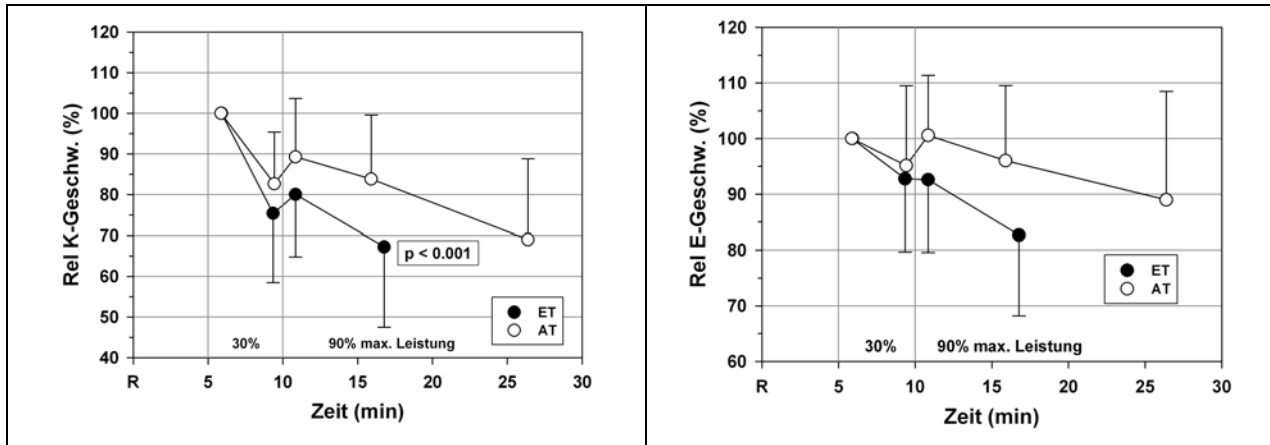


Abb. 5: Die Kontraktionsgeschwindigkeit der Hypoxiegruppe zeigte eine geringere Abnahme während der hohen Belastungsphase. Die Kontrollgruppe zeigte keine Unterschiede.

Abb. 6: Die Erschlaffungsgeschwindigkeit nimmt in der Hypoxiegruppe signifikant weniger ab. Die Kontrollgruppe zeigte keine signifikanten Unterschiede.

4 Diskussion

Die Leistungsfähigkeit in Ausdauerbelastungen ist nach zehn Tagen IH signifikant verbessert. Die nach einem Höhenttraining erwarteten Anpassungserscheinungen wie z. B. eine erniedrigte Herzfrequenz oder geringere Laktatkonzentration treten nicht auf. Zehn Tage IH scheinen keinen Einfluss auf den Energiestoffwechsel, das Blutvolumen und die O₂-Bindungskurve zu haben. Damit sind auch die üblichen Veränderungen bei einem Trainingsfortschritt nicht zu sehen. Lediglich die Ventilation steigt langsamer an. Da die Ventilation bei Ausdauerbelastungen ein leistungsbegrenzender Faktor sein kann (Markov et al., 2001; Romer et al., 2002), könnte die reduzierte Ventilation bei der Fahrradergometrie ein Grund für die Leistungsverbesserung sein. Da aber die Ventilation bei Arbeit der kleinen Muskelgruppe keine entscheidende Rolle spielt, könnte die Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch eine geringere Ermüdbarkeit erklärt werden. Diese kann nicht durch eine veränderte Innervation oder veränderte Erregbarkeit erklärt werden, da EMG, M-Welle und Elektrolytverschiebung sich nicht veränderten. Daher liegen die Anpassungen wahrscheinlich auf intrazellulärer Ebene. Die zugrunde liegenden Mechanismen sollten noch weiter untersucht werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch diese Methode die Ausdauerkapazität verbessert wird, d.h. es verbessert sich die Fähigkeit, bei gleicher relativer Leistung länger zu arbeiten.

5 Literatur

- Burtscher, M., Pachinger, O., Ehrenbourg, I., Mitterbauer, G., Faulhaber, M., Puhlinger, R. & Tkatchouk, E. (2004). Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in elderly men with and without coronary artery disease. *Int. J. Cardiol.*, 96, 247-254.
- Markov, G., Spengler, C. M., Knopfli-Lenzin, C., Stuessi, C. & Boutellier, U. (2001). Respiratory muscle training increases cycling endurance without affecting cardiovascular responses to exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 85, 233-239.
- Novikov, V. S., Sapova, N. I., Ivanov, A. O. & Goranchuk, V. V. (1998). Kliniko-fiziologicheskie aspekty vliianiia normobaricheskoi gipoksicheskoi trenirovki na funktsional'noe sostoianie bol'nykh neirotsirkulatornoi distoniei [Clinical-physiological aspects of normobaric hypoxic training effects on functional status of patients with neurocirculatory dystonia]. *Aviakosm. Ekolog. Med.*, 32, 71-75.
- Romer, L. M., McConnell, A. K. & Jones, D. A. (2002). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J. Sports Sci.*, 20, 547-562.

