



HÖHENBALANCE 
Wir versetzen Berge

Prävention und Therapie (Übergewicht)

Obesity (2009) doi:10.1038/oby.2009.193

Influences of Normobaric Hypoxia Training on Physical Fitness and Metabolic Risk Markers in Overweight to Obese Subjects

Susanne Wiesner¹, Sven Haufe¹, Stefan Engel^{1,2}, Harry Mutschler³, Ute Haas³, Friedrich C. Luft¹ and Jens Jordan^{1,2}

1. ¹Franz Volhard Clinical Research Center at the Experimental and Clinical Research Center, Medical Faculty of the Charité and Max Delbrück Center for Molecular Medicine, Berlin, Germany

2. ²Institute of Clinical Pharmacology, Hannover Medical School, Hannover, Germany

3. ³Höhenbalance AG, Cologne, Germany

Abstract

Previous studies suggested that hypoxia and exercise may have a synergistic effect on cardiovascular and metabolic risk factors. We conducted a single blind study in overweight to obese subjects to test the hypothesis that training under hypoxia (HG, $n = 24$, $FiO_2 = 15\%$) results in similar or even greater improvement in body weight and metabolic risk markers compared with exercise under normoxia (NG, $n = 21$, $FiO_2 = 21\%$). After an initial metabolic evaluation including incremental exercise testing, subjects trained in normoxic or hypoxic conditions thrice weekly over a 4-week period at a heart rate corresponding to 65% of maximum oxygen uptake (VO_{2max}). The experimental groups were similar at the start of the investigation and weight stable during the training period. Subjects in the hypoxia group trained at a significantly lower workload ($P < 0.05$). Yet, both groups showed similar improvements in VO_{2max} and time to exhaustion. Respiratory quotient and lactate at the anaerobic threshold as well as body composition improved more in the hypoxia group. We conclude that in obese subjects, training in hypoxia elicits a similar or even better response in terms of physical fitness, metabolic risk markers, and body composition at a lower workload. The fact that workload and, therefore, mechanic strain can be reduced in hypoxia could be particularly beneficial in obese patients with orthopedic comorbidities.

Zusammenfassung und Relevanz

Blindstudie mit zwei Gruppen übergewichtiger Personen zur Untersuchung des Einflusses von Hypoxie auf die körperliche Fitness und metabolische Risikofaktoren. Gruppe 1 trainierte über einen Zeitraum von vier Wochen mehrmals wöchentlich in normobarer Hypoxie. Die Kontrollgruppe trainierte im selben Zeitraum in Normoxie, allerdings mit deutlich höherer Intensität.

Nach der Testphase wurden der Fitnesszustand, das Körpergewicht und die Körperzusammensetzung gemessen und mit den Ausgangswerten verglichen. Bei der Gruppe, die in Hypoxie trainierte wurden dabei im Vergleich zur Kontrollgruppe geringfügig bessere Werte festgestellt. Entscheidend dabei ist allerdings die deutlich geringere Intensität, mit der die Hypoxie-Gruppe trainierte. Dadurch war das Training bei der Gruppe deutlich effizienter und aus orthopädischer Sicht unbedingt empfehlenswert für diese Zielgruppe, da schonender für Muskeln und Gelenke.

- ➔ Das Training in Hypoxie ist effizienter und teilweise effektiver als ein Training in Normoxie. Mit geringeren Intensitäten werden in Hypoxie die selben oder sogar bessere Trainingsergebnisse erzielt. Des Weiteren ist das Training dadurch schonender für Muskeln und Gelenke, was besonders einer übergewichtigen Zielgruppe entgegenkommt.

Prävention und Therapie (Übergewicht)

Obesity (2009) doi:10.1038/oby.2009.193

Same significant body weight reduction in healthy obese subjects after 12 training sessions on a 17% lower performance level during normobaric hypoxic endurance training compared with normoxic endurance training

¹Wiesner S, ¹Haufe S, ¹Engeli S, ¹Hermesdorf M, ¹Nickel E, ¹Stoffels G, ²Buhl H., ²Haas U., ¹Luft FC, ¹Jordan J.

¹Franz Volhard Clinical Research Center, Medical Faculty of the Charité, Berlin, Germany

²Höhenbalance AG, Köln, Germany

Abstract

Introduction:

Training under intermittent normobaric hypoxia initiates metabolic and muscular-cardiorespiratory adaptations that influence oxygen transport/utilization. These changes may also be of importance to improve weight gain and the metabolic inflexibility in obese type 2 diabetic patients, but no randomized studies on the metabolic effects of ambulant hypoxic exercise training are available.

Patients and Methods:

All subjects were randomly assigned in a single blind manner to either a hypoxic (HG, n= 21, FiO₂=15%) or a normoxic group (NG, n=24, FiO₂=21%). Training included 3x60min/week at normoxic or hypoxic conditions for 4 weeks at a heart rate corresponding to the 3 mmol/l lactate threshold. Before and after the training period, subjects were investigated (BFMBodyplethysmography/Bio-Impedance-Analyses; fasting glucose, insulin, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, triglyceride level in venous blood) and tested in an incremental normoxic exercise treadmill test (aeroplethysmographical measurement) to determine maximal lactate (Lacmax), maximal oxygen uptake (VO₂max), and maximal respiratory quotient (RQmax).

Results:

At the end of the training period, body weight decreased in both groups -2.8 kg without any differences between hypoxic and normoxic exercise conditions. Fasting insulin declined explicitly in both group (HG -30% vs. NG -29%; ns between groups), whereas fasting glucose only be reduced in the hypoxic group (HG -3% vs. NG -0%; ns between groups). The performance level during the exercise period was significantly lower at the same cardiorespiratory level in HG (1.38 watt/kg bodyweight/VO₂max) than in NG (1.67 watt/kg bodyweight/VO₂max) (p=0.0007). Interesting is that the fat free mass increased in the hypoxic group after the trainings period (HG +3.5% vs. NG +0.5%; ns between groups).

Conclusion:

These first results suggest that normobaric hypoxic endurance training leads to the same and significant weight and body fat reduction and also to the same reduction in metabolic disturbances like normoxic endurance training. But it is important to note, that the participants in the hypoxic group achieved this on a 17% lower performance level during the exercise period than participants in the normoxic group and that may be important for obese patients often suffer from joint diseases. This finding will be analysed in more detail in a larger study population.

➔ Das Training in Hypoxie ist effizienter als ein Training in Normoxie. Mit geringeren Intensitäten (in dieser Studie 17% geringere Leistung) werden in Hypoxie die selben Trainingsergebnisse erzielt. Das Hypoxietraining wirkt dadurch besonders bei übergewichtigen Personen degenerativen Gelenkerkrankungen entgegen.

Prävention und Therapie (Übergewicht)

PMID: 18057976 [PubMed - indexed for MEDLINE]; PMCID: PMC22

Low intense physical exercise in normobaric hypoxia leads to more weight loss in obese people than low intense physical exercise in normobaric sham hypoxia.

Netzer NC, Chytra R, Küpper T.

Hermann Buhl Institute for Hypoxia and Sleep Medicine Research, Paracelsus Medical University Salzburg, Kurmittelhaus der Moderne, Salzburgerstrasse 7, 83435 Bad Reichenhall, Germany.

Abstract

Training in mild to moderate hypoxia (14-17% O₂) in breathing air and extended resting in moderate hypoxia (9-13% O₂) have been shown to have effects in animals and humans on lipid and glucose metabolism, appetite loss, and, in part, on body weight. The causality for these effects is not yet known in detail, and the available data in humans from high-altitude and low-pressure chamber studies are scarce. New technical developments by German companies in the production of artificial climates with normobaric hypoxic conditions in larger rooms at reasonable energy costs allow now to perform hypoxia weight loss studies in obese humans with stable experimental conditions and protocols with a sham hypoxia control. Thirty-two obese people were recruited for a mild intense training study in normobaric hypoxia (15 vol.% O₂) and normoxia/sham hypoxia (20.1 vol.% O₂). Twenty of these [mean age 47.6 years, mean body mass index (BMI) 33.1, 16 m, 4 f] were willing to follow up on an 8-week, three times per week, 90-min low intense physical exercise in their individual fat burning mode, which has been determined by an exercise testing with spiro-ergometry upfront. The subjects were evenly randomized into a hypoxia and sham hypoxia group. The difference of the two groups in weight loss and changes in HbA1C values were analyzed before and after the training period. No nutritional diet was applied. Subjects in the hypoxia group in mean lost significantly more weight than in the sham hypoxia group (Delta 1.14 kg vs Delta 0.03 kg; p = 0.026). This resulted in a tendency to reduce the BMI more in the hypoxia group (p = 0.326). In the mean, there was no HbA1C exceeding normal values (mean 5.67 and 5.47%), and the HbA1C stayed basically unchanged after the 8-week training. Mild physical exercise three times per week for 90 min in normobaric hypoxia for 8 weeks led to significantly

greater weight loss in obese persons than the exercise in sham hypoxia in this, to our knowledge, first sham hypoxia controlled study.

Zusammenfassung und Relevanz

In mehreren Studien wurde der Einfluss von milder normobarer Hypoxie auf den Fettstoffwechsel, den Appetit und teilweise auf das Körpergewicht bei Tieren und Menschen festgestellt. Jedoch sind genauere Zusammenhänge und Ursachen noch unbekannt, insbesondere auch deshalb, da es an Daten von Probanden in Unterdruck-Höhen Trainingskammern mangelt. Neue technische Entwicklungen, insbesondere auch durch die Höhenbalance AG, erleichtern die Bedingungen für Studien im Bereich der Hypoxie. So wurden in dieser Studie insgesamt 32 übergewichtige Probanden mittleren Alters über einen Zeitraum von 8 Wochen untersucht, in denen eine Gruppe drei Mal wöchentlich ein aktives Training in Hypoxie mit niedriger Intensität absolvierte, während die andere Gruppe ein Normoxie-Training durchführte. Die Unterschiede dieser beiden Gruppen, insbesondere der Gewichtsverlust wurde vor und nach der Trainingsperiode gemessen.

Ergebnis: Die Hypoxie Gruppe nahm während der Trainingsphase signifikant mehr an Gewicht ab als die Kontrollgruppe.

➔ **Mildes Hypoxietraining über einen Zeitraum von mehreren Wochen führt zu signifikant höherem Gewichtsverlust als ein Training in Normoxie.**

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Effekte milder hypobarer Hypoxie (2650 m) auf Belastbarkeit und Laborparameter bei Patienten mit Metabolischem Syndrom

Melanie Kuhnke (2008)

Zielsetzung:

In vorliegender Studie sollte untersucht werden, ob ein 1-wöchiger Aufenthalt in mittlerer Höhe für Metabolische Syndrom Patienten insbesondere auf ausgewählte Blutwerte sowie auf die Leistungsfähigkeit einen positiven Einfluss hat.

Die Patienten sollten sich in dieser Zeit wie gewohnt und ohne diätetische Einschränkungen ernähren. Des Weiteren sollten die Patienten auch keine größeren körperlichen Anstrengungen auf sich nehmen, also z.B. keine täglichen Wanderungen durchführen.

Mittels Spiroergometrie sollte die

- maximale Leistungsfähigkeit sowie der
- Gasaustausch und die Ventilation bestimmt werden.

Mittels gezielter Laboruntersuchungen sollten

- Blutbildveränderungen sowie die
- Veränderung der Stoffwechselfparameter erfasst werden

Die Datenerfassung erfolgte bei Patienten mit Metabolischem Syndrom auf einer Ausgangshöhe

von 520 m, sowie während und 4 Wochen nach einem 1-wöchigen Aufenthalt in einer Höhe von 2.650 m.

Ergebnisse:

Mit der Studie "Effekte milder hypobarer Hypoxie (2650 m) auf Belastbarkeit und Laborparameter bei Patienten mit Metabolischem Syndrom", erfolgten erstmals aufwendige Messungen zur Auswirkung des niedrigen Luftdrucks in mittlerer Höhe auf das Metabolische Syndrom mit seinen verschiedensten Ausprägungen.

Insgesamt wurden 35 Patienten beobachtet, die nach strengen Ein- und Ausschlusskriterien des Metabolischen Syndroms nach der NCEP ATP III ausgewählt wurden. Die für die Studie ausgewählten Patienten unterzogen sich diversen Untersuchungen, wie die Bestimmung von ausgewählten Blutwerten und der Blutgase, die Durchführung eines Lungenfunktionstests sowie einer Spiroergometrie und eine Langzeitblutdruckaufzeichnung über 24 Stunden.

Ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeit ist die hochsignifikante Steigerung von $\text{VO}_2\text{-max}$ auch noch vier Wochen nach Höhengaufenthalt. Da während des Höhengaufenthaltes keine körperliche Betätigung erfolgte, ist dieser Effekt vermutlich dem passiven Aufenthalt in hypobarer Hypoxie zuzuschreiben.

Bei den Stoffwechselfparametern zeigt sich ein hochsignifikanter Abfall des LDL auch noch vier Wochen nach der Höhenexposition. Eine Veränderung des HDL und LDL auf die akute Höhenexposition sowie während des einwöchigen Höhengaufenthaltes war nicht zu erkennen, die Werte blieben annähernd konstant.

Ein Langzeiteffekt des einwöchigen Höhengaufenthaltes konnte beim Fructosamin festgestellt werden: hier zeigte sich ein hochsignifikanter Abfall bei der Nachuntersuchung im Vergleich zur Voruntersuchung. Dies lässt darauf schließen, dass die Hypoxie einen positiven Effekt auf den Kohlenhydratmetabolismus hat.

Die Studie zeigte, dass die einwöchige Exposition in mittlerer Höhe (2650 m) eine hochsignifikante Zunahme der Leistungsfähigkeit, sowie eine Verbesserung des Kohlenhydratmetabolismus bewirkt.

Prävention und Therapie

International Journal of Cardiology 96 (2004) 247–254; Received 24 February 2003; received in revised form 22 July 2003; accepted 25 July 2003

Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in elderly men with and without coronary artery disease

Martin Bartscher^a, Otmar Pachinger^b, Igor Ehrenbourg^c, Günther Mitterbauer^a,
Martin Faulhaber^a, Reinhard Pühringer^a, Elena Tkatchouk^c

^a Department of Sport Science, Medical Section, University of Innsbruck, Fürstenweg 185, 6020 Innsbruck, Austria

^b Division of Cardiology, Internal Medicine, University of Innsbruck, Anichstrasse 35, 6020 Innsbruck, Austria

^c Clinical Research Laboratory, Hypoxia Medical Academy, 3, Ivankovskoye shosse, 123367 Moscow, Russia

Abstract

Background: Intermittent hypoxia has been suggested to increase exercise tolerance by enhancing stress resistance and improving oxygen delivery. Because the improvement of exercise tolerance reduces mortality in the elderly with and without coronary artery disease intermittent hypoxia might be a valuable preventive and therapeutic tool. However, controlled studies are lacking.

Methods and results: Sixteen males (50–70 years, 8 with and 8 without prior myocardial infarction) were randomly assigned in a double-blind fashion to receive 15 sessions of passive intermittent hypoxia (hypoxia group) or normoxia (control group) within 3 weeks. For the hypoxia group each session consisted of three to five hypoxic (14–10% oxygen) periods (3–5 min) with 3-min normoxic intervals. Controls inhaled only normoxic air in the same way. Exercise tests were performed before and after the 3-week breathing program. After 3 weeks of intermittent hypoxia peak oxygen consumption had increased compared to normoxic conditions (+6.2% vs. -3%, $p < 0.001$). This improvement was closely related to the enhanced arterial oxygen content after hypoxia ($r = 0.9$, $p < 0.001$). Both higher haemoglobin concentration and less arterial oxygen desaturation during exercise contributed to the increase in arterial oxygen content. During submaximal exercise (cycling at 1 W/kg) heart rate, systolic blood pressure, blood lactate concentration, and the rating of perceived exertion were diminished after intermittent hypoxia compared to control conditions (all $p < 0.05$). Changes in responses to exercise after intermittent hypoxia were similar in subjects with and without prior myocardial infarction.

Conclusions: Three weeks of passive short-term intermittent hypoxic exposures increased aerobic capacity and exercise tolerance in elderly men with and without coronary artery disease.

Zusammenfassung und Relevanz

Blindstudie zur Wirkung von normobarer Hypoxie auf die Belastungsfähigkeit/Leistungsfähigkeit älterer Männer. Ein Schwerpunkt wurde in dieser Studie auf ältere Personen mit koronaren Arterienerkrankungen gelegt.

Die Testpersonen aus Gruppe 1 absolvierten insgesamt 15 Sitzungen mit passivem intermittierendem Hypoxietraining innerhalb eines Zeitraums von drei Wochen. Jede Sitzung beinhaltete drei bis fünf Intervalle, in denen abwechselnd hypoxische und normoxische Luft geatmet wurde. Leistungstests mit den Probanden wurden jeweils vor- und nach dieser 3-wöchigen Höhentrainingsperiode durchgeführt. Dabei stellte sich bei der Hypoxie-Gruppe eine signifikant höhere Sauerstoffaufnahmefähigkeit im Vergleich zur Normoxie-Gruppe heraus. Sowohl bei maximalen Leistungsfähigkeit als auch bei submaximaler Belastung traten bei den Testpersonen aus Gruppe 1 signifikante, positive Veränderungen der Herzfrequenz, des Blutdrucks, der Laktatkonzentration und der subjektiv wahrgenommenen Anstrengung auf. Bei der Kontrollgruppe hingegen wurden diese Veränderungen nicht festgestellt.

➔ **Intermittierendes passives Höhenttraining steigert bereits nach wenigen Wochen signifikant die Leistungsfähigkeit der Testpersonen.**

Prävention und Therapie

From the Institute of Social and Preventive Medicine, University of Zurich, Zurich, Switzerland. Received September 4, 2008; accepted June 8, 2009

Lower Mortality from Coronary Heart Disease and Stroke at Higher Altitudes in Switzerland

David Faeh, MD, MPH; Felix Gutzwiller, MD, DrPH; Matthias Bopp, PhD, MPH; for the Swiss National Cohort Study Group

Abstract

Background: Studies assessing the effect of altitude on cardiovascular disease have provided conflicting results. Most studies were limited because of the heterogeneity of the population, their ecological design, or both. In addition, effects of place of birth were rarely considered. Here, we examine mortality from coronary heart disease and stroke in relation to the altitude of the place of residence in 1990 and at birth.

Methods and Results: Mortality data from 1990 to 2000, sociodemographic information, and places of birth and residence in 1990 (men and women between 40 and 84 years of age living at altitudes of 259 to 1960 m) were obtained from the Swiss National Cohort, a longitudinal, census-based record linkage study. The 1.64 million German Swiss residents born in Switzerland provided 14.5 million person-years. Relative risks were calculated with multivariable Poisson regression. Mortality from coronary heart disease (-22% per 1000 m) and stroke (-12% per 1000 m) significantly decreased with increasing altitude. Being born at altitudes higher or lower than the place of residence was associated with lower or higher risk.

Conclusions: The protective effect of living at higher altitude on coronary heart disease and stroke mortality was consistent and became stronger after adjustment for potential confounders. Being born at high altitude had an additional and independent beneficial effect on coronary heart disease mortality. The effect is unlikely to be due to classic cardiovascular disease risk factors and rather could be explained by factors related to climate.

Zusammenfassung und Relevanz

Bisherige Studien zur Auswirkung der Höhenlage auf Herzgefäßerkrankungen kommen auf Grund des Studiendesigns und der Auswahl der Testpersonen zu unterschiedlichen Ergebnissen.

In dieser Studie wurde eine große Probandenzahl gewählt, die repräsentative Ergebnisse gewährleisten sollten. So wurden die Mortalitätsdaten von 1,64 Deutsch-Schweizern (deutsche Herkunft und in der Schweiz geboren) über einen Zeitraum von 10 Jahren untersucht, was zu folgendem Ergebnis führte: Die Sterberate an Herzgefäßerkrankungen und Herzinfarkt sank mit zunehmender Höhe, in der die Personen ansässig waren, signifikant (Herzgefäßerkrankungen -22% pro 1.000 Meter, Herzinfarkt -12% pro 1.000 Meter). Des Weiteren fördert oder vermindert die Höhe, in der die Personen geboren waren, das Risiko.

➔ **Höhenluft besitzt eine präventive Wirkung bei Herzgefäßerkrankungen und einem erhöhten Herzinfarkttrisiko. Ebenso spielt die Geburtshöhe eine risikofördernde oder mindernde Rolle.**

Höhenakklimatisation

Sleep Breath, DOI 10.1007/s11325-007-0127-9, ©Springer-Verlag 2007

Preacclimatization in simulated altitudes

Prof. Dr. M. Bartscher & E. Brandstätter & H. Gatterer

Abstract

Acute exposure to high altitude provokes the development of mountain illnesses and decrease of exercise performance. Thus, sufficient acclimatization is of utmost importance for mountaineers, trekkers, and athletes performing at high altitude. The main purpose of this paper was to review existing studies and observations on the effectiveness of preacclimatization at simulated altitude. Data source: A PubMed search has been performed and preliminary observations from our laboratory have been included. Although some beneficial effects have been demonstrated, it is not possible to draw firm conclusions from the few available studies dealing with the effects of preacclimatization at simulated altitude on the reduction of acute mountain sickness (AMS) incidence and performance loss at high altitude. For the present, 1-4 h of daily exposures for 1-5 weeks to simulated altitudes of about 4,000 m seem to initiate ventilatory and autonomous nervous system adaptations to high altitude with the potential to reduce AMS development. At least for protocols of short duration, rest during hypoxic exposures seems to be similarly effective as exercise. For the more prolonged protocols, exercise may be included to enhance exercise performance in hypoxia.

Zusammenfassung und Relevanz

Es ist Fakt, dass ein Aufenthalt in großer Höhe den Ausbruch der akuten Höhenkrankheit fördert. Die Symptome der AMS (Acute Mountain Sickness) reichen dabei von starkem Leistungsabfall, über Kopfschmerzen und Schwindel bis hin zu lebensbedrohlichen Hirn- und Lungenödemen. Eine ausreichende Vorakklimatisation ist daher für jeden Trekker und Bergsteiger dringend notwendig. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt gezielt auf der Vorakklimatisation in künstlicher, sprich normobarer Höhe. Sie berücksichtigt bereits bestehende Studien zur Vorakklimatisation in normobarer Hypoxie und kommt zu dem Ergebnis, dass auch kurzzeitiges Training in simulierter Höhe die Atmung und Prozesse des autonomen Nervensystems anregt, die Symptome der AMS abschwächen. Dabei scheint ein passives Training in der ersten Zeit ähnlich wirksam zu sein wie ein aktives Training in Hypoxie. Insbesondere um die körperliche Leistungsfähigkeit in der Höhe zu steigern können bei einer Langzeit-Vorakklimatisation aktive Übungen integriert werden.

- ➔ Diese Arbeit von Prof. Bartscher gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zur Vorakklimatisation mit künstlicher Hypoxie. Insbesondere die unterschiedlichen Wirkungsweisen von passivem und aktivem Höhenttraining sowie der zeitlichen Komponente werden hier noch einmal aufgegriffen. Diese Arbeit ist Grundlage für die von Prof. Bartscher zur Höhenakklimatisation entwickelten Trainingsprogramme.

- ➔ **Passives Höhenttraining ist bei einer Kurzzeit-Akklimatisation ähnlich wirksam wie aktives Höhenttraining. Im weiteren Verlauf kann mit aktiven Trainingseinheiten die Leistungsfähigkeit in der Höhe gesteigert werden.**

Höhenakklimatisation

Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University, Nagoya, Japan.

Effect of a repeated series of intermittent hypoxic exposures on ventilatory response in humans

Katayama K, Fujita H, Sato K, Ishida K, Iwasaki K, Miyamura M.

Abstract

The purpose of this study was to elucidate the magnitude and the time course of ventilatory changes resulting from a repeated series of hypoxic exposures. Eight healthy males participated in the present study. The subjects spent 1 h/day in normobaric hypoxia (12% inspired oxygen). Inspired minute ventilation ($\dot{V}_I$), end-tidal partial pressure of carbon dioxide ($P(ET(CO_2))$), and arterial oxygen saturation (SaO_2) were measured in a hypoxic tent. These measurements were taken for 10 consecutive days (series 1), and were taken again after the subjects had been away from hypoxic exposure for 1 month (series 2). $P(ET(CO_2))$ decreased and SaO_2 increased progressively in the hypoxic tent during the 10 days of intermittent hypoxia in series 1. At the onset of series 2 (days 1 to 3), $P(ET(CO_2))$ was significantly lower and SaO_2 was significantly higher than those on day 1 during series 1. These results suggest that humans who have had previous hypoxic exposure adapt sooner to hypoxic condition due to an increase in the magnitude of hyperventilation in the first few days of a series of reexposures to hypoxia.

Respir Physiol Neurobiol. 2005 Mar; 146(1):55-65.

Zusammenfassung und Relevanz

Die Testgruppe absolvierte über einen Zeitraum von 10 Tagen täglich 1 Std. passives normobares Höhenttraining (12% O_2 , ca. 4.500 Meter Höhe).

Atemminutenvolumen und Sauerstoffsättigung des Blutes (SaO_2) wurden in diesem Zeitraum regelmäßig gemessen.

Nach einer Pause von 1 Monat ohne weiteres Hypoxietraining wurde eine zweite Testserie mit den Testpersonen in Hypoxie durchgeführt.

Zu Beginn der zweiten Testserie wurden bei den Testpersonen eine deutlich ruhigere Atmung sowie eine signifikant höhere Sauerstoffsättigung des Blutes (SaO_2) als an Tag 1 der ersten Testserie festgestellt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Menschen, die früher einmal bereits einer Höhenexposition ausgesetzt waren, sich bei erneuter Hypoxieexposition bereits in den ersten Tagen schneller anpassen und akklimatisieren.

➔ Diese Studie zeigt, dass auch nach einem Abklingen der ersten Effekte der Akklimatisation weitere Vorteile bei erneuter Höhenexposition bestehen bleiben. Durch den Einfluss der Hypoxie in genetischer Ebene bleiben Adaptionsprozesse in den Zellen gespeichert, was bei erneuter Hypoxieexposition zu einer beschleunigten Anpassung und Akklimatisation führt.

Höhenvorbereitung, Leistungssteigerung, Therapie und Prävention

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 53 (2), 61-67, 2005

Intermittierende Hypoxie:

Höhenvorbereitung, Training, Therapie

Prof. Dr. med. Martin Bartscher - Institut für Sportwissenschaften der Universität Innsbruck, Innsbruck

Zusammenfassung

Unter intermittierender Hypoxie (IH) wird die wiederholte Sauerstoffmanglexposition, unterbrochen von normoxischen Phasen, verstanden. Der Sauerstoffmangel kann durch natürlichen Höhengaufenthalt, durch Aufenthalt in hypobaren oder hypoxischen normobaren Kammern oder durch Atmung eines Sauerstoffmangelgemisches über eine Maske erzeugt werden.

Es wurde mehrfach berichtet, dass IH erfolgreich zur Leistungssteigerung, zur Höhenvorbereitung sowie zur Prävention und Therapie verschiedener Erkrankungen eingesetzt wurde. IH ist charakterisiert durch eine Zunahme der Ventilation in Hypoxie, durch Adaptation des hämatopoietischen und Herzkreislauf-Systems, durch verbesserte Sauerstoffversorgung der Gewebe, eine Optimierung der Sauerstoffausnutzung und eine Funktionsverbesserung des Immunsystems. Basierend auf den berichteten IH-Effekten können zumindest 5 IH-Protokolle unterschieden werden:

1. Kurze Zyklen mit 30-90 s Hypoxie für 7-8 Stunden pro Tag über Wochen bis Jahre
2. IH in Ruhe mit einer Zyklusdauer von 2-10 min für 1-2 Stunden pro Tag über 2-4 Wochen
3. 1-2 Stunden Hypoxie in Ruhe pro Tag für 5 Tage
4. IH in Ruhe für mehr als 90 min (bis Stunden) pro Tag über 2-6 Wochen
5. IH mit Belastung für 30 min bis 2 Stunden pro Tag über 2-6 Wochen

Die unterschiedenen Protokolle scheinen auch in Abhängigkeit des Gesundheits- und Trainingszustandes unterschiedliche Effekte hervorzurufen.

Relevanz:

Prof. Burtcher entwickelte auf Basis der Ergebnisse dieser Studie mehrere Trainingsprogramme für unterschiedliche Einsatzbereiche wie der gezielten Höhenvorbereitung, der (Ausdauer)Leistungssteigerung sowie Präventions- und Therapieprogramme.

Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Untersuchung des sog. IH-Trainings (intermittierende Hypoxie). Die Effekte konstanten passiven oder aktiven Hypoxietrainings spielen hier eine untergeordnete Rolle.

Leistungssteigerung

J. Appl. Physiol. 83(1): 102–112, 1997; 0161-7567/97 \$5.00 Copyright 1997 the American Physiological Society

“Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance

BENJAMIN D. LEVINE¹ AND JAMES STRAY-GUNDERSEN²

¹ Institute for Exercise and Environmental Medicine, Presbyterian Hospital of Dallas 75231; and

² Baylor/The University of Texas Southwestern Sports Science Research Center, The University of Texas Southwestern Medical Center, Dallas, Texas 75235

Abstract

The principal objective of this study was to test the hypothesis that acclimatization to moderate altitude (2,500 m) plus training at low altitude (1,250 m), “living high-training low,” improves sea-level performance

in well-trained runners more than an equivalent sea-level or altitude control. Thirty-nine competitive runners (27 men, 12 women) completed 1) a 2-wk lead-in phase, followed by 2) 4 wk of supervised training at sea level; and 3) 4 wk of field training camp randomized to three groups: “high-low” ($n = 13$), living at moderate altitude (2,500 m) and training at low altitude (1,250 m); “high-high” ($n = 13$), living and training at moderate altitude (2,500 m); or “low-low” ($n = 13$), living and training in a mountain environment at sea level (150 m). A 5,000-m time trial was the primary measure of performance; laboratory outcomes included maximal O₂ uptake ($\dot{V}O_{2\max}$), anaerobic capacity (accumulated O₂ deficit), maximal steady state (MSS; ventilatory threshold), running economy, velocity at $\dot{V}O_{2\max}$, and blood compartment volumes. Both altitude groups significantly increased $\dot{V}O_{2\max}$ (5%) in direct proportion to an increase in red cell mass volume (9%; $r = 0.37$, $P < 0.05$), neither of which changed in the control. Five-kilometer time was improved by the field training camp only in the high-low group (13.4 $\pm$ 10 s), in direct proportion to the increase in $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = 0.65$, $P < 0.01$). Velocity at $\dot{V}O_{2\max}$ and MSS also improved only in the high-low group. Four weeks of living high-training low improves sea-level running performance in trained runners due to altitude acclimatization (increase in red cell mass volume and $\dot{V}O_{2\max}$) and maintenance of sea-level training velocities, most likely accounting for the increase in velocity at $\dot{V}O_{2\max}$ and MSS.

Zusammenfassung und Relevanz

Diese berühmte Studie von Levine und Stray-Gunderson versucht, anhand eines Versuches mit gut trainierten Athleten aus dem Laufsport und mehrstufig aufgebauten Trainingsphasen die tatsächliche Wirkung der „Living high-training low“-Höhentrainingsmethode zu verifizieren. Die Testgruppe, bestehend aus 39 Sportlern, wurde dazu nach einer Eingangsphase und einer Periode des Trainings auf Meereshöhe in drei Gruppen unterteilt. Jede dieser Gruppen absolvierte ab diesem Zeitpunkt eine andere Form des (Höhen)Trainings. Gruppe 1: Live high-train low, Gruppe 2: Live high-train high, Gruppe 3: live low-train low. Nach einer 4-wöchigen Trainingsperiode unterzogen sich die Probanden einem erneuten Leistungstest in Form eines 5000-Meter Laufs. Die Ergebnisse bestätigen die leistungssteigernde Wirkung. Bei den beiden Höhengruppen wurden enorme Steigerungen der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit (5%) sowie eine signifikante Vermehrung der Erythrozyten-Masse festgestellt. Bei der Kontrollgruppe blieben diese Effekte ausnahmslos aus. Die 5000-Meter Zeit wurde allerdings nur bei der „high-low“-Gruppe verbessert.

➔ Ein mehrwöchiges „living high training low“- Höhenttraining führt zu einer gesteigerten Leistungsfähigkeit nach der Rückkehr auf Meereshöhe durch eine Verbesserung der VO₂-max und einer erhöhten Erythrozyten Produktion.

Leistungssteigerung

J Appl Physiol 100: 203–211, 2006, First published September 22, 2005; doi:10.1152/jappphysiol.00808.2005

Eighteen days of “living high, training low” stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners

Julien V. Brugniaux,¹ Laurent Schmitt,^{1,2} Paul Robach,^{1,3} Gerard Nicolet,² Jean-Pierre Fouillot,¹ Stephane Moutereau,⁴ Francoise Lasne,⁵ Vincent Pialoux,⁶ Philippe Saas,⁷ Marie-Claude Chervot,⁷ Jeremy Cornolo,¹ Niels V. Olsen,⁸ and Jean-Paul Richalet¹

¹ Université Paris 13, Laboratoire “Reponses cellulaires et fonctionnelles a l’hypoxie,” Bobigny; ² Centre National de Ski Nordique, Premanon; ³ Ecole Nationale de Ski et d’Alpinisme, Chamonix; ⁴ Laboratoire de Biochimie, Hopital Henri-Mondor, Creteil; ⁵ Laboratoire National de Depistage du Dopage, Chateaufort; ⁶ Laboratoire de Physiologie-Biologie du Sport, Faculte de Medecine, Clermont-Ferrand; ⁷ Plateforme de BioMonitoring, Inserm U645/Unite Propre de Recherche et d’Enseignement Supérieur EA2284, Etablissement Francais du Sang Bourgogne Franche-Comte, Besancon, France; and ⁸ University of Copenhagen, Department of Pharmacology, The Panum Institute, Copenhagen, Denmark

Abstract

The efficiency of “living high, training low” (LHTL) remains controversial, despite its wide utilization. This study aimed to verify whether maximal and/or submaximal aerobic performance were modified by LHTL and whether these effects persist for 15 days after returning to normoxia. Last, we tried to elucidate whether the mechanisms involved were only related to changes in oxygen-carrying capacity. Eleven elite middle-distance runners were tested before (Pre), at the end (Post1), and 15 days after the end (Post2) of an 18-day LHTL session. Hypoxic group (LHTL, $n = 5$) spent 14 h/day in hypoxia (6 nights at 2,500 m and 12 nights at 3,000 m), whereas the control group (CON, $n = 6$) slept in normoxia (1,200 m). Both LHTL and CON trained at 1,200 m. Maximal oxygen uptake and maximal aerobic power were improved at Post1 and Post2 for LHTL

only (+7.1 and +3.4% for maximal oxygen uptake, +8.4 and +4.7% for maximal aerobic power, respectively). Similarly oxygen uptake and ventilation at ventilatory threshold increased in LHTL only (+18.1 and +12.2% at Post1, +15.9 and +15.4% at Post2, respectively). Heart rate during a 10-min run at 19.5 km/h decreased for LHTL at Post2 (-4.4%). Despite the stimulation of erythropoiesis in LHTL shown by the 27.4% increase in serum transferrin receptor and the 10.1% increase in total hemoglobin mass, red cell volume was not significantly increased at Post1 (+9.2%, not significant). Therefore, both maximal and submaximal aerobic performance in elite runners were increased by LHTL mainly linked to an improvement in oxygen transport in early return to normoxia and probably to other process at Post2.

Zusammenfassung und Relevanz

Die Wirkung der „living high-training low“- Höhentrainingsmethode wird nach wie vor kontrovers diskutiert. Diese Studie versucht acht Jahre nach den Versuchen von Levine und Strey-Gunderson, anhand eines ähnlichen Versuches mit Spitzensportlern im Laufsport und einer 18-tägigen Periode des Höhentrainings nach der LHTL-Methode deren tatsächliche Wirkung zu verifizieren. Des Weiteren wurde untersucht, inwiefern Effekte des Höhentrainings auch 15 Tage nach Beendigung des Trainings noch bestehen. Dazu unterzogen sich die Athleten mehreren Leistungstests vor Beginn der Testphase, nach der 18-tägigen Höhentrainingsperiode sowie 15 Tage nach der letzten Höhentrainungseinheit. Die Probanden hielten sich in dieser Zeit 14 Std./Tag in einer Höhe zwischen 2.500 und 3.000 Metern auf und trainierten täglich auf einer Höhe von 1.200 Metern. Die Ergebnisse bestätigen die Studie Levines und Stray-Gundersons. Bei den Testpersonen wurden wiederum Steigerungen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit, sowie ein deutliches Absinken der Pulsfrequenz unter Belastung festgestellt. Bei einer Kontrollgruppe blieben diese Effekte aus. Auch 15 Tage nach dem Ende der Trainingsperiode blieb bei den genannten Parametern (abgeschwächt) eine Steigerung im Vergleich mit den Ausgangswerten bestehen.

Leistungssteigerung

Ergonomics. 2005 Sep 15-Nov 15;48(11-14):1535-46.

Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. Part II: improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle.

Ponsot E, Dufour SP, Zoll J, Doutreleau S, N'guessan B, Geny B, Hoppeler H, Lampert E, Mettauer B, Ventura-Clapier R, Richard R.

Service de Physiologie Clinique et des EFR, Departement de Physiologie, Hopital Civil, Strasbourg, France, Metropolitan.

Abstract

This study investigates whether adaptations of mitochondrial function accompany the improvement of endurance performance capacity observed in well-trained athletes after an intermittent hypoxic training program (IHT). Fifteen endurance trained athletes performed two weekly training sessions on treadmill at vVT2 (velocity associated to the second ventilatory

threshold) with $FiO_2=14.5\%$ (HYP, $n=8$) or with $FiO_2=21\%$ (NOR, $n=7$), integrated into their usual training, for 6 weeks. Before and after training, oxygen uptake and speed at VT2, maximal oxygen uptake (VO_{2max}), time to exhaustion (T_{lim}) at vVO_{2max} (minimal speed associated with VO_{2max}) were measured and muscle biopsies of Vastus Lateralis were harvested. Muscle oxidative capacities (V_{max}) and sensitivity of mitochondrial respiration to ADP (K_m) were evaluated on permeabilized muscle fibers. T_{lim} , VO_2 at VT2 and VO_{2max} were significantly improved in HYP (+42%, +8%, +5% respectively) but not in NOR. No increase in muscle oxidative capacity was obtained with either training protocol. However, mitochondrial regulation shifted to a more oxidative profile in HYP only as shown by the increased K_m for ADP (NOR: before 476 ± 63 , after $524 \pm 62 \mu M$, ns; HYP: before 441 ± 59 , after $694 \pm 51 \mu M$, $p < 0.05$). Thus, including hypoxia sessions into the usual training of athletes qualitatively ameliorates mitochondrial function by increasing the respiratory control by creatine, providing a tighter integration between ATP demand and supply.

Zusammenfassung und Relevanz

In dieser Studie wurde eine andere Trainingsmethode des Höhentrainings untersucht. Und zwar die „Train high live low“- Methode, bei der die Athleten aktives Höhentaining in ihren regulären Trainingsplan einstreuen. Schwerpunktmäßig untersucht wurde dabei die Adaption der Mitochondrien und deren Auswirkung auf die Ausdauerleistungsfähigkeit der Sportler.

Über einen Zeitraum von insgesamt sechs Wochen nahmen die 15 ausdauertrainierten Probanden an dem IHT-Programm (Intermittent hypoxic training) teil und unterzogen sich vorher und nachher Tests, die verschiedene Parameter wie die Sauerstoffaufnahmefähigkeit und Geschwindigkeit am respiratorischen Kompensationspunkt sowie die maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Ebenso wurden Muskelbiopsien durchgeführt.

Als Ergebnis zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Sauerstoffaufnahmefähigkeit sowohl am respiratorischen Kompensationspunkt als auch in der Ausbelastung. Bei einer Kontrollgruppe, die in Normoxie trainierte, blieben diese Anpassungen aus. Eine Erhöhung der oxidativen Kapazität der Muskulatur konnte bei beiden Gruppen nicht festgestellt werden, allerdings wurde durch die Anpassung der Mitochondrien die Bereitstellung von ADP und ATP signifikant verbessert.

Leistungssteigerung

The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans.

Hendriksen IJ, Meeuwssen T.

Royal Netherlands Air Force, Centre for Man and Aviation, Aerospace Physiology Department, Soesterberg, The Netherlands.

Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of intermittent training in a hypobaric chamber on physical exercise at sea level. Over a 10 day period, 16 male triathletes trained for 2 h each day on a cycle ergometer placed in a hypobaric chamber. Training intensity was at 60%-70% of the heart rate reserve. There were 8 subjects who trained at a simulated altitude of 2,500 m, the other 8 trained at sea level. A year later, a cross-over study took place. Baseline measurements were made on a cycle ergometer at sea level, which included an incremental test until exhaustion and a Wingate Anaerobic Test. Altogether, 12 subjects completed the cross-over study. At 9 days after training in hypoxia, significant increases were seen in maximal power output ($\dot{W}(\max)$) (5.2%), anaerobic mean power (4.1%), and anaerobic peak power (3.8%). A non-significant increase in maximal oxygen uptake ($\dot{V}O(2\max)$) of 1.9% was observed. At 9 days after training at sea level, no significant changes were seen in $\dot{W}(\max)$ (2.1%), $\dot{V}O(2\max)$ (2.0%), anaerobic mean power (0.2%) and anaerobic peak power (0.2%). When comparing the results of the two training regimes, the anaerobic mean power was the only variable that showed a significantly larger increase as a result of training at altitude. And, although the differences in percentage change between the two training protocols were not significant, they were substantial for as well as for anaerobic peak power. The results of this study indicate that intermittent hypobaric training can improve the anaerobic energy supplying system, and also, to a lesser extent, the aerobic system. It can be concluded that the overall results of the cross-over study showed predominantly improvements in the anaerobic metabolism at variance with the previous study of our own group, where the relative $\dot{V}O(2\max)$ and $\dot{W}(\max)$ increased by 7%.

Zusammenfassung und Relevanz

Ähnlich wie in der Studie zuvor unterzogen sich auch hier zwei Gruppen von Ausdauersportlern (Triathleten) einem IHT-Programm. Über einen Zeitraum von zehn Tagen trainierte Gruppe 1 täglich 2 Std. in einer simulierten Höhe von 2.500 Metern ü.N.N. Gruppe 2 trainierte währenddessen auf Meereshöhe. Nach Leistungstests am Ende der Trainingsperiode fand ein Jahr später eine Kreuzstudie mit den Probanden statt.

Ergebniss der Studie waren ein signifikanter Anstieg der Maximalkraft (in W, +5,2%), der mittleren anaeroben Leistung (+4,1%) und der anaeroben Spitzenleistung (+3,8%) bei der Hypoxie- Trainingsgruppe. Bei der Trainingsgruppe in Normoxie waren Verbesserungen in diesen Parametern nicht signifikant. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das intermittierende Hypoxietraining die anaerobe Energiebereitstellung sowie - in geringerem Maß - auch das aerobe System verbessert.