

# Muskelarbeit in der Höhe – Akklimatisierung und Adaptation bei Hochlandbewohnern auf verschiedenen Erdteilen

*Physical Exercise at Altitude – Acclimation and Adaptation Effects in Highlanders on Different Continents*

ACCEPTED: April 2019

PUBLISHED ONLINE: May 2019

DOI: 10.5960/dzsm.2019.379

Böning D. Physical exercise at altitude – acclimation and adaptation effects in highlanders on different continents. Dtsch Z Sportmed. 2019; 70: 135-140.

1. CHARITÉ – UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN, Institut für Physiologie, Berlin, Germany

## Design der Arbeit

Im Vergleich zu akutem Sauerstoffmangel (Akklimatisierung) erfolgen anatomisch-physiologische Veränderungen bei Hochlandbewohnern in Südamerika, Asien und Ostafrika sowohl durch Hypoxie in der Wachstumsphase wie auch durch genetische Adaptation. Sie werden für die einzelnen Stufen des O<sub>2</sub>-Transportweges analysiert.

## Eingeschlossene Literatur

Originalartikel sowie Übersichtsarbeiten und Monographien zum Thema wurden ausgewertet. Zu den einzelnen Punkten erfolgten Suchen in Pubmed und Google Scholar.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ventilation verbessert sich bei Höhenbewohnern durch Lungenvergrößerung während des Wachstums. In Tibet erweitert Stickstoffmonoxid (NO) Bronchien und Gefäße und verbessert dadurch die Atemfunktion. Die Diffusionskapazität nimmt wegen der Lungenvergrößerung zu, in Südamerika trägt ein erhöhter Hämatokritwert dazu bei. Eine Zunahme der Hämoglobinkonzentration [Hb] durch Anstieg der Hämoglobinmasse findet man regelmäßig nur bei Andenbewohnern, in Tibet erst ab 4000m, in Äthiopien bei einem Stamm überhaupt nicht. Es ist ungeklärt, ob hierbei die Hämoglobinmasse nicht ansteigt oder ob das Plasmavolumen erhöht ist. Die Verstärkung der Sauerstoffaffinität des Hämoglobins bei Höhentieren, die die O<sub>2</sub>-Aufnahme erleichtert, findet sich auch bei asiatischen und afrikanischen Hochlandbewohnern. Dagegen wird sie bei Kurzeitaufenthalt und bei Südamerikanern außer in extremer Höhe nicht beobachtet. Herzzeitvolumen

und periphere Durchblutung sind in Südamerika nicht wesentlich verändert, in Tibet und Äthiopien dagegen erhöht (NO-Effekt). Im Muskel ist die Capillarzahl nicht erhöht, aber der Abstand zu den Mitochondrien verkürzt. Der Energiestoffwechsel verschiebt sich zu mehr Kohlenhydratumsatz, der weniger O<sub>2</sub> als Fettabbau braucht. Der Energiebedarf bei Arbeit ist u. a. durch grazilen Körperbau und optimierte Koordination niedrig. Genetische Änderungen sind zahlreich. Bei Tibetern hindern sie die Zunahme der Hb-Konzentration und verstärken die NO-Bildung.

## Was ist neu und relevant?

Drei verschiedenen Modelle der Höhenanpassung: Südamerika: Hyperventilation und Hb Massen-Zunahme; Tibet: verbesserte Lungenfunktion und Durchblutung; Äthiopier: verbesserte O<sub>2</sub>-Beladung des Blutes (möglicherweise Affinitätsänderung wie bei Lamas).

## Methodische Einschränkungen und Störfaktoren

Fehlende Messungen vor allem in Äthiopien

## Fazit für die Praxis

- Fakt 1: Vorteile der Hochlandbewohner durch Akklimatisierung meist nicht einholbar, außergewöhnliche Leistungen von aus dem Flachland stammenden Sportlern in Höhe vielleicht genetisch verursacht.
- Fakt 2: Zunahme des Hb nur Teilaspekt, andere Anpassungen möglich ohne Nebenwirkungen, Leistungen von Kenianern und Äthiopiern wahrscheinlich nicht durch hohe Hb Masse bedingt.

Tabelle 1

Beispiele der Hämoglobinkonzentration und arteriellen Sauerstoffsättigung bei männlichen Hochlandbewohnern. ut=untrainiert; bei den anderen Trainingsstatus nicht bekannt.

REGION	HÖHE [m]	PROBANDEN	[Hb] [g/dl]	SO <sub>2</sub> [%]	QUELLE
Deutschland	30	14 ut	15.3±0.2	98.1±0.2	13
Kolumbien	2600	15 ut	17.4±0.2	93.1±0.2	13
Bolivien	3600	30 ut	17.6±0.3	89.7±0.9	21
Bolivien	3900-4000	283	19.1±0.2	92.0±0.2	6
Tibet	3800-4065	110	15.6±0.2	89.0±0.3	6
Äthiopien	3530	128	15.9±0.1	95.3±0.2	8



Article incorporates the Creative Commons Attribution – Non Commercial License. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



QR-Code scannen und Artikel online lesen.

## KORRESPONDENZADRESSE:

Univ. Prof. a. D. Dieter Böning  
Institut für Physiologie  
Charité – Universitätsmedizin Berlin  
Charitéplatz 1, 10117 Berlin, Germany  
✉: dieter.boening@charite.de