

Böning D

Menschliche Lamas?

Es ist heute schon Schulwissen, dass bei Höhenanpassung die Zahl der Erythrozyten bzw. die Hämoglobinkonzentration steigt. Dies kann bei niedrigem Sauerstoffdruck in der Einatemluft die Sauerstoffbeladung des Blutes verbessern. Kaum jemand weiß, dass diese Befunde nur bei Indios und Weißen zutreffen. Schon in den achtziger Jahren haben verschiedene Autoren (u.a. 3) bei Tibetern und Sherpas im Himalaya nur gering erhöhte Hämoglobinkonzentrationen gefunden. Dies wurde von Cynthia Beall aus Cleveland und ihren Mitarbeitern bei Messungen an Tausenden von Tibetern, die in circa 4000 m Höhe leben, gesichert (1); sie wiesen außerdem nach, dass nicht etwa Eisenmangel oder chronische Infektionen Ursache für diese Befunde sind, und schlossen daraus, dass es verschiedene Formen der erfolgreichen Höhenanpassung gibt.

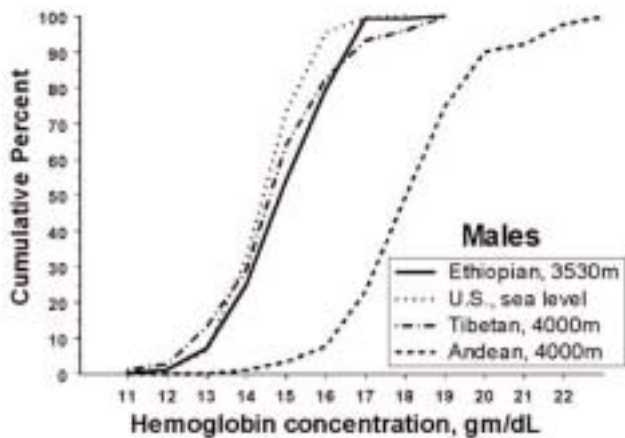


Abbildung 1: Die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Hämoglobinkonzentration von Männern im Tiefland (USA) sowie aus dem Hochland in Äthiopien und Tibet fallen zusammen, während die Werte von Andenbewohnern deutlich abweichen. Aus (2). Copyright 2002 National Academy of Sciences, USA

Kürzlich konnten Beall und Mitarbeiter (2) feststellen, dass auch die Einwohner eines äthiopischen Dorfes (3 500 m ü. NN) Hämoglobinkonzentrationen wie Tieflandbewohner haben (Abb. 1). Hier machten sie noch eine zusätzliche überraschende Entdeckung: während auch höhenangepasste Weiße, Indios und Himalayabewohner als Folge des abgesenkten Sauerstoffdrucks im Gebirge eine deutlich erniedrigte arterielle Sauerstoffsättigung haben, gelingt es den Äthiopiern, fast Werte wie in Seehöhe (ca. 95-98 %) zu erreichen (Abb. 2). Der inspiratorische Sauerstoffdruck in 3500 m beträgt circa 95 mmHg und fällt in den Alveolen und im arteriellen Blut noch weiter ab. Für eine Sättigung von 95 % sind aber normalerweise etwa 90 mmHg nötig. Diese ist nur erklärbar, wenn das Hämoglobin aufgrund höherer Sauerstoffaffinität schon bei niedrigem Sauerstoffdruck voll gesättigt wird, sichtbar an einer Linksverschiebung der O₂-Bin-

dungskurve bzw. einer Abnahme des Halbsättigungsdrucks P₅₀. Man könnte das durch eine massive Hyperventilation mit Absenkung des CO₂-Drucks und Alkalisierung erreichen. Dauerhafte Änderungen der Sauerstoffaffinität gibt es bei fetalem Hämoglobin sowie einigen pathologischen Hämoglobinvarianten. Eine Untersuchung von Hebbel und Mitarbeitern von 1978 (5) bei 2 Jugendlichen mit der Mutante Hb Andrew-Minneapolis, bei der die O₂-Bindungskurve massiv linksverschoben ist (Standard-Halbsättigungsdruck P₅₀ 17 statt 27 mmHg), zeigte, dass die maximale Sauerstoffaufnahme in 3100 m Höhe nicht wie üblich um ca. 20 % abnahm, sondern um mehr als 10 % anstieg. In Meereshöhe war die aerobe Leistungsfähigkeit aber schlechter als bei gesunden Verwandten.

Laut Beall et al. (2) haben die Äthiopier aber normales Hämoglobin A. Es bleiben als Erklärung nur Unterschiede im

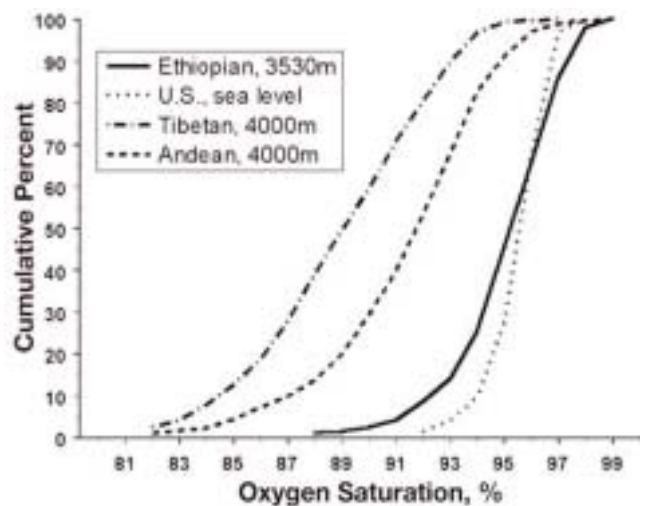


Abbildung 2: Die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der arteriellen Sauerstoffsättigung im Tiefland sowie aus dem Hochland in Äthiopien fallen fast zusammen, während die Werte von Andenbewohnern erheblich niedriger sind. Aus (2). Copyright 2002 National Academy of Sciences, USA

Erythrocytenstoffwechsel: wenn die Konzentration an 2,3-Diphosphoglycerat erniedrigt ist, verschiebt sich die Sauerstoffbindungskurve nach links, was die Anlagerung von O₂ erleichtert. Meines Wissens nach gibt es keine Messungen hierzu bei Ostafrikanern, wohl aber zahlreiche in Europa, Amerika und Asien. Es hat die Wissenschaftler immer wieder gewundert, dass sie bei fast allen Messungen eine paradoxe Hypoxiereaktion beim Menschen fanden: die 2,3-Diphosphoglyceratkonzentration war erhöht und damit die O₂-Bindungskurve rechts verschoben, was die Sauerstoffanlagerung erschwert.

Ganz anders reagieren typische Höhentiere wie Lamas: sie haben linksverschobene Sauerstoffbindungskurven und niedrige Hämoglobinkonzentrationen (6). Dabei können wildlebende Arten eine Laufgeschwindigkeit von 50 km/h in 4000 m Höhe erreichen! Auffällig sind auch kleine Erythrozyten und ein sehr dichtes Capillarnetz, wodurch die Diffusionsabstände in Lungen und verbrauchenden Geweben verringert werden.

Hebbel et al. (5) haben ihre Probanden mit Hb Andrew-Minneapolis als menschliche Lamas bezeichnet. Offensichtlich reagieren auch die untersuchten Äthiopier in vieler Hinsicht wie Lamas. Leider gibt es keine Daten zu ihrer Leistungsfähigkeit weder in der Höhe noch im Tiefland. Ob die besondere Form der Höhenanpassung, die womöglich mit einer längeren Besiedlung der afrikanischen als der asiatischen und amerikanischen Gebirge zusammenhängt, etwas mit den Erfolgen der ostafrikanischen Wunderläufer zu tun hat, ist ebenfalls unbekannt. Erhöhte Hämoglobinkonzentrationen haben sie nicht, ihre Sauerstoffbindungskurven wurden nie untersucht! Offensichtlich ist die Reaktion des Menschen auf Hypoxie bei weitem nicht so einfach wie in populärwissenschaftlichen Darstellungen. Dies zeigen auch neue Befunde aus Kolumbien über eine geringere Zunahme der Hämoglobinmasse bei Frauen als bei Männern (4).

LITERATUR:

1. Beall CM, Brittenham GM, Strohl KP, Blangero J, Williams-Blangero S, Goldstein MC, Decker MJ, Vargas E, Villena M, Soria R, Alarcon AM, Gonzales C: Hemoglobin concentration of high-altitude Tibetans and Bolivian Aymara highlanders. *Am J Phys Anthropol* 106 (1998) 385-400.
2. Beall CM, Decker MJ, Brittenham GM, Kushner J, Gebremedhin A, Strohl KP: An Ethiopian pattern of human adaptation to high-altitude hypoxia. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99 (2002) 17215-17218.
3. Beall CM, Reichman AB: Hemoglobin levels in a Himalayan high altitude population. *Am J Phys Anthropol* 63 (1984) 301-306.
4. Böning D, Cristancho E, Serrato M, Reyes O, Mora M, Coy, Rojas J: Hemoglobin mass and peak oxygen uptake in untrained and trained Female altitude residents. *Int J Sports Med* 25 (2004)1-8. DOI 10.1055/s-2004-820963.
5. Hebbel RP, Eaton JW, Kronenberg RS, Zanjani ED, Moore LG, Berger EM: Human chlamas, adaptation ta altitude in subjects with high hemoglobin oxygen affinity. *J Clin Invest* 62 (1978) 593-600.
6. Jürgens KD: Strategien für die Anpassung der Sauerstofftransportsysteme bei Säugern an das Leben in der Höhe. *Naturwissenschaften* 76 (1989) 410-415.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Dieter Böning
Sportmedizin, Charité - Berlin, Campus Benjamin Franklin
Arnimallee 22
14195 Berlin
E-mail: dieter.boening@charite.de

Leserbrief

zum Beitrag von Kindermann W:
Anaerobe Schwelle. *Dtsch Z Sportmed* 55/6 (2004)
161-162

Seit circa 30 Jahren haben Schwellenkonzepte im Leistungssport, vor allem laktatbasierte Schwellenkonzepte, zunehmende Bedeutung in der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung erlangt. Das wachsende Interesse an einer breiten Anwendung der „Laktatmethode“ veranlasste die DGSP, Fortbildungskurse für „Laktatleistungsdiagnostik“ zu zertifizieren. Von daher war es wünschenswert, dass dem Thema „anaerobe Schwelle“ unter den „Standards der Sportmedizin“

Raum für eine Übersichtsdarstellung gegeben wurde. Einigen Aussagen des Autors muss jedoch widersprochen werden, bzw. die Aussagen müssen ergänzt werden.

Im Absatz „Definition“ wird berichtet, die anaerobe bzw. individuelle anaerobe Schwelle (IAS) repräsentiere das maximale Laktat-Steady-State (maxLass). Weiter wird ausgeführt, dass die anaerobe Schwelle im Mittel bei 4 mmol/l Laktat liegt, bei Ausdauertrainierten meist bei einem niedrigeren Wert. Die letzte Aussage impliziert, dass bei Ausdauertrainierten der Laktatwert beim maxLass niedriger liegt als bei Untrainierten. Dies wird jedoch durch keine wissenschaftliche Studie belegt, die das maxLass direkt, das heißt mit mehreren Dauerbelastungen, bestimmt. Untersuchungen von Heck (4) auf dem Laufband (Erwachsene) und auf dem Fahrradergometer (Erwachsene und Kinder) zeigten keine Abhängigkeit des maxLass-Laktats von der maxLass-Leistung und damit von der Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Laktatwerte lagen im Mittel bei 4,2 mmol/l (Laufband), 4,3 mmol/l (Fahrradergometer Erwachsene) und 4,1 mmol/l (Fahrradergometer Kinder). Beneke (1) berichtet ebenfalls über eine Unabhängigkeit des maxLass-Laktats ($4,9 \pm 1,4$ mmol/l) von der maxLass-Leistung ($3,4 \pm 0,6$ W/kg). Denadai et al. (3) verglichen jüngst das maxLass ausdauertrainierter Radrennfahrer mit Untrainierten und fanden ebenfalls keinen Unterschied (maxLass-Laktat: Radrennfahrer = $5,0 \pm 1,2$ mmol/l; Untrainierte = $4,9 \pm 1,7$ mmol/l. maxLass-Leistung: Radrennfahrer = $282,1 \pm 23,8$ W; Untrainierte = $180,2 \pm 24,5$ W). Zwei Studien aus dem Arbeitskreis von Prof. Dr. Kindermann, die nicht speziell den Einfluss der Ausdauer auf das maxLass-Laktat untersuchten, zeigten maxLass-Laktatwerte von Trainierten, die mit den Werten von Untrainierten praktisch identisch waren. So testeten Stegmann und Kindermann (8) Leistungsruderer und fanden einen mittleren Laktatwert von circa 4,2 mmol/l nach 30 min einer Dauerbelastung mit IAS-Intensität ohne Anstieg des Laktats. Urhausen et al. (9) untersuchten 16 ausdauertrainierte Radrennfahrer, Triathleten und Ruderer. Bei einer Dauerbelastung ebenfalls mit IAS-Intensität lagen die Laktatwerte bei 4,2-4,16 mmol/l. Entsprechend der obigen Aussage Kindermanns hätten die Laktatwerte jedoch deutlich niedriger liegen müssen.

In der „Zusammenfassung“ wird im letzten Satz ausgeführt, dass individuelle anaerobe Schwellen gegenüber fixen Schwellen eine zuverlässigere Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit und Intensitätssteuerung erlauben. Diese Aussage wird in der Regel damit belegt, dass sich bei Dauerbelastungen mit IAS-Intensität ein Laktat-steady-state einstellt, während die Laktatkonzentration bei Belastungsintensitäten entsprechend 4 mmol/l mit der Zeit ansteigt. Dieser Befund hat seine Ursache aber im Testprotokoll des Stufentests. Heck und Rosskopf (5) haben den Einfluss von 4 unterschiedlichen Belastungsanstiegen (30 W/5 min, 25 W/2 min, 50 W/3 min und 50 W/2 min) auf Schwellenwerte untersucht und in Relation zum direkt ermittelten maxLass gesetzt. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse. Alle Schwellenkonzepte zeigen demnach eine Abhängigkeit vom Belastungsanstieg. Stegmann und Kindermann (8) führten einen Stufentest mit 50 W/2 min durch. Aus Abb. 1 ist zu entneh-