

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-

men, dass bei diesem Testprotokoll die 4-mmol/l-Schwelle (aaS-Mader) deutlich über dem maxLass liegt. Hätte man ein anderes Testprotokoll angewandt, z.B. 30 W/5 min, dann wäre das Ergebnis genau umgekehrt ausgefallen. Bei Urhausen et al. (9) kam das Testprotokoll mit 50 W/3 min zu Anwendung. Auch hier ist in Abb.1 erkennbar, dass die aaS-Mader zu hoch liegt. Es ist an dieser Stelle nicht ausreichend Platz, die physiologischen Begründungen für Abb. 1 darzustellen. Den interessierten Leser verweise ich auf die Publikationen (4) und (5).

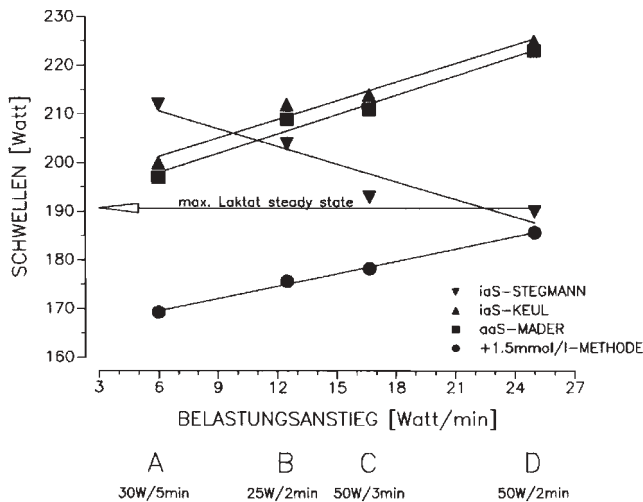


Abbildung 1: Mittelwerte der verschiedenen Schwellen in Abhängigkeit vom Belastungsanstieg sowie zum Vergleich die maxLass-Belastung; iaS-Stegmann = IAS. Aus (5)

Man kann sich nun fragen, woher stammt der Laktatwert von 4 mmol/l der aaS-Mader?

In der ersten Publikation von Mader et al. zur Laktatschwelle (6) lagen nur Befunde von Laufbanduntersuchungen mit einer Leistungssteigerung von 0,4 m/s nach jeweils 5 min vor. Für dieses Testprotokoll entsprach der 4-mmol/l-Laktatwert dem maxLass (4). Eine Reduktion der Stufendauer von 5 auf 3 min hat aber eine Minderung des Schwellenlaktatwerts von 4 auf 3,5 mmol/l zur Folge (4). Der 4-mmol/l-Wert wurde in der Folge auf die Fahrradergometrie übertragen, ohne die Zulässigkeit zu überprüfen. In Abb.1 entspricht der Belastungsanstieg von 30 W/5 min in etwa dem Belastungsanstieg von 0,4 m/s/5 min auf dem Laufband, wenn man von vergleichbaren Anstiegen der Sauerstoffaufnahme für eine 70 kg schwere Person ausgeht. Die aaS-Mader liegt hierbei nur geringfügig über dem maxLass. Eine Korrekturfunktion für verschiedene Testprotokolle bei Fahrradergometrie wurde publiziert (4, 5). Für die Protokolle 25 W/2 min und 50 W/3 min sollte die Schwelle bei einem Laktatwert von 3 mmol/l bestimmt werden, wenn man Wert darauf legt, dass das maxLass im Mittel korrekt bestimmt wird. Solche Korrekturen müssten aber auch bei allen anderen Schwellen vorgenommen werden.

Nun könnte es ja sein, dass die IAS das maxLass valider als andere Schwellen schätzt. Zur Validierung der Übereinstimmung zwischen Schwellenwerten und maxLass-Leistung bei Laufbandergometrie haben Heck und Roskopf (5) orthogonale Regressionen und Korrelationen errechnet. Alle

Schwellenverfahren wiesen vergleichbar hohe Korrelationskoeffizienten zwischen Schwellenwerten und maxLass-Leistung auf (aaS-Mader = 0,975; iaS-Keul = 0,981; IAS = 0,981; +1,5-Methode = 0,961). Die Regressionsgeraden zur Überprüfung einer systematischen Abweichung von der Linie gleicher Werte zwischen Schwellenwert und maxLass zeigten die beste Übereinstimmung bei der aaS-Mader ($y = 0,155 + 1,03x$), geringfügige Unterschätzung des maxLass im höheren Leistungsbereich und Überschätzung im unteren Leistungsbereich bei iaS-Keul ($y = 0,337 + 0,906x$) und IAS ($y = 0,47 + 0,897x$) sowie eine systematische Unterbestimmung bei der +1,5-mmol/l-Methode ($y = -0,72 + 1,1x$).

Zwei Probleme, die nur bei der Bestimmung der IAS auftreten (andere Schwellen haben diese Probleme nicht), sollen kurz aufgezeigt werden.

1. Zur Ermittlung von Laktatschwellen ist eine Ausbelastung nicht notwendig und oft auch nicht wünschenswert, da eine Ausbelastung den Trainingsprozess stören könnte. Bei niedrigen Endlaktatwerten konnte jedoch häufiger beobachtet werden, dass alle Nachbelastungslaktatwerte niedriger liegen als der Endbelastungswert. Dann ist aber eine Bestimmung der IAS per definitionem nicht möglich.

2. Entgegen der Aussage in (7) ist die IAS abhängig vom Endbelastungslaktatwert. Wir haben 4 Stufentests (50 W/2 min) mit unterschiedlicher Stufenanzahl durchgeführt und die IAS bestimmt (Publikation in Vorbereitung). Im Mittel ergaben sich folgende Werte: Endbelastungslaktat 11,3; 9,2; 7,1 und 5,8 mmol/l; IAS 205,5; 190,8; 170,8 und 166,6 Watt. Die Werte unterscheiden sich hochsignifikant. Aus den Werten berechnet sich folgende lineare Abhängigkeit der IAS vom Endbelastungslaktat: $IAS (W) = 121,3 + 7,44 \cdot \text{End-Laktat (mmol/l)}$. Dies bedeutet, dass die IAS um ca. 7,4 Watt pro mmol/l geringerem Laktatwert absinkt. Über einen qualitativ ähnlichen Effekt berichtet auch COEN (2). Dieser Effekt kann nur durch Ausbelastung des Probanden vermieden werden.

Auch die häufig geäußerte Meinung, die IAS sei zur Trainingssteuerung besser geeignet als fixe Laktatschwellen, ist durch keine wissenschaftliche Untersuchung belegt. Hier haben die verschiedenen Untersuchungszentren in den vergangenen Jahren mit ihren unterschiedlichen Laktat-Schwellenkonzepten Erfahrungen gesammelt, wie sie anhand ihres jeweils verwendeten Schwellenkonzepts oder aber nur bezogen auf Änderungen der Laktatleistungskurve sinnvolle Belastungsbereiche für das Training ableiten können (s. Abb. 2 in der Publikation von Kindermann).

Abschließende Anmerkungen:

Unter ‚Standards‘ in einem Wissenschaftsbereich verstehe ich Aussagen, die von einer großen Mehrheit der Wissenschaftsgemeinschaft als aktueller Stand des Wissens akzeptiert werden. Davon ist die deutsche Sportmedizin bezogen auf die Laktatschwellen noch weit entfernt. Daher finde ich die doch sehr einseitige Darstellung des eigenen Schwellenkonzepts als Standard nicht angemessen.

Es werden Hollmann und Wasserman als Primärautoren von ventilatorischen Schwellen genannt. Es fehlt jedoch ein Hinweis auf den Primärautor der Laktatschwellen. Ich möchte

dies nachholen. A. Mader kann mit seiner Publikation aus dem Jahre 1976 (6) als Begründer des Laktat-Schwellenkonzepts in der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung angesehen werden.

Literatur:

1. Beneke R: Methodological aspects of maximal lactate steady state – implications for performance testing. Eur J Appl Physiol 89 (2003) 95-99.
2. Coen B: Individuelle anaerobe Schwelle: Methodik und Anwendung in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung leichtathletischer Laufdisziplinen. Strauss, Köln, 1997.
3. Denadai BS, Figuera TR, Favaro ORP, Concalves M: Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. Braz J Med Biol Res 37 (2004) 1-6.
4. Heck H: Laktat in der Leistungsdiagnostik. Hofmann, Schorndorf, 1990.
5. Heck H, Roskopf P: Grundlagen verschiedener Schwellenkonzepte und ihre Bedeutung für die Trainingspraxis, in: Clasing D, Weicker H, Böning D (Hrsg): Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Fischer, Stuttgart, 1994.
6. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Rost R, Schürch P, Hollmann W: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Dtsch Z Sportmed (Sportarzt und Sportmedizin) 27 (1976) 80-84, 109-112.
7. Stegmann H, Kindermann W: Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle bei unterschiedlich Ausdauertrainierten aufgrund des Verhaltens der Laktatkinetik während der Arbeits- und Erholungsphase. Dtsch Z Sportmed 32 (1981) 213-221.
8. Stegmann H, Kindermann W: Comparison of prolonged exercise test at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l lactate. Int J Sports Med 3 (1982) 105-110.
9. Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W: Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. Int J Sports Med 14 (1993) 134-139.

Kontaktadresse:
 Prof. Dr. med. Hermann Heck
 Lehrstuhl für Sportmedizin
 Ruhr-Universität Bochum
 Overbergstr. 19
 44780 Bochum
 E-mail: hermann.heck@rub.de

Antwortkommentar des Autors

auf den Leserbrief von Prof. Dr. Hermann Heck

Es ist unstrittig, dass die anaerobe Schwelle im internationalen Schrifttum (nicht nur in der deutschen Sportmedizin) kontrovers diskutiert wird, was in erster Linie auf die unterschiedlichen methodischen Ansätze zurückzuführen ist. Deshalb ist es notwendig, die einzelnen Schwellenmodelle zu validieren, was für das Schwellenkonzept des eigenen Arbeitskreis geschehen und in mehreren referierten internationalen Zeitschriften auch publiziert worden ist. Möglicherweise entsteht dadurch der Eindruck einer zu einseitigen Darstellung.

Zu drei Aspekten aus dem Leserbrief von Heck soll Stellung bezogen werden:

1. Wissenschaftliche Befunde (z.B. 4) zeigen, dass die anaerobe Schwelle, wenn sie das maximale Laktat-steady-state repräsentiert, bei unterschiedlichen Blutlaktatkonzentrationen liegt.

Entgegen der Behauptung von Heck wurden aus den Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) keineswegs Aussagen über die Höhe der Laktat Spiegel für Ausdauerbelastungen, durchgeführt im maximalen Laktat-steady-state, abgeleitet. Im Gegenteil, Studien aus dem eigenen Arbeitskreis zeigen, dass die Laktatwerte im maximalen Laktat-steady-state auch bei ähnlicher Trainiertheit erheblich differieren und zum Teil deutlich unter bis deutlich über 4 mmol/l liegen können (3, 4).

Von wesentlicher praxisrelevanter Bedeutung ist aber die interindividuell unterschiedliche Laktatkonzentration der anaeroben Schwelle, bestimmt bei stufenförmig ansteigender Belastung, auch bei identischen Testprotokollen. Dem muss bei der Trainingssteuerung auf der Basis der Laktatdiagnostik Rechnung getragen werden, um ungewollte bzw. zum entsprechenden Zeitpunkt nicht geplante Trainingsintensitäten zu vermeiden. Sempel formuliert: Bei einer stufenweise ansteigenden Belastung reflektiert in den meisten Fällen eine Blutlaktatkonzentration von 4 mmol/l bei einem Sprinter eine andere metabolische Situation als bei einem Marathonläufer.

2. Heck problematisiert eine Abhängigkeit der IAS von der Ausbelastung. Aufgrund eigener Untersuchungen wird die IAS oberhalb einer maximalen Laktatkonzentration von 5 bis 6 mmol/l nicht beeinflusst (1). Im Übrigen, die Behauptung, eine Ausbelastung könne den Trainingsprozess stören, ist spekulativ und wissenschaftlich nicht belegt. Es ist auch kaum nachvollziehbar, weshalb eine Laktatkonzentration von beispielsweise deutlich über 6 mmol/l, einmal innerhalb mehrerer Monate erreicht, das Training negativ beeinflussen soll. An dieser Stelle könnte eine grundsätzliche Diskussion über notwendige Trainingsintensitäten geführt werden.

3. Heck kritisiert, dass wichtige Publikationen im Beitrag über die anaerobe Schwelle (2) nicht zitiert worden sind. Mit Ausnahme der richtungweisenden Monographie von Kindermann aus dem Jahr 1963 wurden ausschließlich Arbeiten aus referierten internationalen Zeitschriften zitiert, was bei dieser Thematik notwendig erschien. Auch die Sportmedizin kann sich gewissen Standards nicht verschließen, wenn weltweit evidenzbasierte Medizin gefordert wird.

Literatur:

1. Coen B, Urhausen A, Kindermann W: Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. Int J Sports Med 22 (2001) 8-16.
2. Kindermann W: Anaerobe Schwelle. Dtsch Z Sportmed 55 (2004) 161-162.
3. Stegmann H, Kindermann W: Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l lactate. Int J Sports Med 3 (1982) 105-110.
4. Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W: Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. Int J Sports Med 14 (1993) 134-139.

Kontaktadresse:
 Univ.-Prof. Dr. med. Wilfried Kindermann
 Institut für Sport- und Präventivmedizin
 der Universität des Saarlandes Saarbrücken
 Postfach 151 150
 66041 Saarbrücken