

Angela Batschelet, Christine Zimmermann, Katja Schmid, Urs Boutellier, Claudia Knöpfli-Lenzin
Institut für Bewegungs- und Sportwissenschaften, ETH Zürich, Physiologisches Institut, Universität Zürich

Reproduzierbarkeit des maximalen Laktat-steady-states

Zusammenfassung

Wir überprüften die Reproduzierbarkeit der Leistung, der Herzfrequenz, der Blutlaktatkonzentration, des Sauerstoffverbrauchs, der Ventilation und des subjektiven Belastungsempfindens beim maximalen Laktat-steady-state (maxLass) auf dem Fahrradergometer. Teilgenommen haben 12 männliche Probanden im Alter von 20 bis 40 Jahren, die mindestens 2 h Ausdauer pro Woche, u.a. auch auf dem Fahrrad, ausübten. Nach einem anfänglichen Laktatsenketest wurde maxLass jedes Probanden zweimal mit Hilfe von Schwellentests ermittelt. Zwischen den Tests lagen mindestens 3 und maximal 14 Tage. Bei 6 von 12 Probanden war die maxLass Leistung zweimal gleich, bei weiteren 5 Probanden wich die Leistung um 5 W, bei einer um 10 W ab. Herzfrequenz, Blutlaktatkonzentration, Sauerstoffverbrauch, Ventilation und das subjektive Belastungsempfinden waren bei der 1. und 2. maxLass Bestimmung identisch. Der Variationskoeffizient der maxLass Leistung betrug 0.77%, derjenige für die Herzfrequenz 1.74%. Diese Ergebnisse zeigen eine gute Reproduzierbarkeit der maxLass Bestimmung.

Schlüsselwörter:
anaerobe Schwelle, Schwellentest

Abstract

Reproducibility of power output, heart rate, blood lactate concentration, oxygen consumption, ventilation, and rating of perceived exertion at maximal lactate steady state (maxLass) was investigated on a bicycle ergometer. 12 male athletes at the age of 20 to 40 years with a weekly endurance activity of at least 2 h, partially in cycling, participated in this study. After a lactate minimum test, maxLass was determined twice with constant-load tests. The time between two tests was at least 3 days and 14 days on maximum. MaxLass power output for 6 of 12 athletes was the same at the second determination. 5 athletes showed a difference of 5 W and one of 10 W between the first and the second maxLass determination. Heart rate, blood lactate concentration, oxygen consumption, ventilation and rating of perceived exertion were the same at the first and second maxLass estimation. The coefficient of variation for the maxLass power output was 0.77 %; for heart rate it amounted to 1.74 %. These results show a high reproducibility of the maxLass determination.

Key words:
anaerobic threshold, constant-load test

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 52 (4), 154–156, 2004

Einleitung

Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden zur Ermittlung der anaeroben Schwelle (AS) immer wieder neue Testverfahren entwickelt. Verwendete Messparameter sind die Ventilation (Wassermann and McIlroy, 1964), die Blutlaktatkonzentration (z.B. Stegmann et al., 1981; Braumann et al., 1991) oder die Herzfrequenz (Conconi et al., 1982). Die Fülle von Testverfahren, die auf dem Gebiet der Leistungsdiagnostik angewendet werden, sind ein Hinweis dafür, dass ein einfach durchführbarer und aussagekräftiger Test zur Bestimmung der AS nicht existiert. Dies ist aber nicht erstaunlich, denn eine «Schwelle» im eigentlichen Sinne gibt es nicht. Wir denken, dass sich das maximale Laktat-steady-state (maxLass) zur Bestimmung der sogenannten AS am besten eignet.

MaxLass wurde von Heck et al. (1985) als maximales Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und -elimination definiert. Dabei müssen folgende Bedingungen erfüllt sein (vgl. auch unten): Die Blutlaktatkonzentration ist in den letzten 20 min einer 30-min Belastung konstant (≤ 1 mmol/l) und steigt bei einer minimal höheren Leistung an (> 1 mmol/l). Dieses Verfahren erfüllt das Testkriterium «aussagekräftig», ist aber, weil es mehrere, z.T. erschöpfende Tests an verschiedenen Tagen erfordert, für die tägliche Leistungsdiagnostik zu aufwändig. Andererseits ist maxLass wissenschaftlich gesehen der Goldstandard zur Bestimmung der AS bzw. zusammen mit der Ausdauerkapazität der aeroben Leistungsfähigkeit (Boutellier und Spengler, 1999). Deshalb möchte man gerne wissen, wie reproduzierbar die maxLass Bestimmung ist.

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Reproduzierbarkeit der Leistung, der Herzfrequenz, der Blutlaktatkonzentration, des Sauerstoffverbrauchs, der Ventilation und des subjektiven Belastungsempfindens beim maxLass zu eruieren.

Methoden

Probanden: In dieser Studie haben 12 männliche Nichtraucher teilgenommen. Sie trainierten mindestens 2 h Ausdauer pro Woche, u.a. auch Fahrradfahren. Ausschlusskriterien waren Medikamenteneinnahme oder Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems. Die Probanden waren 33 ± 5 Jahre alt, 180 ± 5 cm gross, wogen durchschnittlich 76 ± 6 kg und erreichten einen relativen maximalen Sauerstoffverbrauch von 63 ± 6 ml/min/kg. Alle Teilnehmer wurden vorgängig über Aufwand und Gefahren der Studie informiert und unterschrieben vor Testbeginn eine Einverständniserklärung. Die Studie wurde von der Ethikkommission der ETH Zürich bewilligt.

Material: Die Tests wurden auf einem drehzahlunabhängigen Fahrradergometer (Ergoline 900S, Ergonomietestsysteme, Bitz, Deutschland) durchgeführt. Die Anzahl der Pedalumdrehungen konnte von den Versuchspersonen beim ersten Test (≥ 70 Umdrehungen/min) frei gewählt werden, musste dann aber während allen weiteren Tests konstant gehalten werden. Die Sattelhöhe und alle anderen Einstellungen des Velos konnten ebenfalls von den Versuchspersonen beim ersten Test frei gewählt werden und wurden bei den folgenden Tests jeweils im Voraus entsprechend eingestellt.

Die Messung der Herzfrequenz erfolgte mit dem Herzfrequenzmessgerät Polar Vantage NV (Polar Electro, Kempele, Finnland). Zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration wurden 20 µl Blut mittels Kapillare in ein mit Systemlösung vorgefülltes Probengefäß abgemessen und anschliessend mit dem Laktatanalysator BIOSEN 5040 (EFK Industrie-Elektronik, Barleben, Deutschland) analysiert. Der Sauerstoffverbrauch und die Ventilation wurden im offenen System Atemzug-für-Atemzug mit dem Oxycon gamma (Jäger, Höchberg, Deutschland) gemessen. Am Ende jeder Stufe des Laktatsenktestes bzw. alle 3 min bei den Schwellentests wurde die Belastung anhand der modifizierten und ins Deutsche übersetzten Borg-Skala (Wilson and Jones, 1991) vom Probanden geschätzt. Dabei wurde dem Probanden folgende Frage gestellt: «Wie gross ist die Belastung?». Damit der Proband die Skala richtig einteilen konnte, wurde ihm jeweils der Hinweis gegeben, dass «0» keiner und «10» einer maximalen Belastung entspricht.

Testbedingungen: Die Tests wurden praktisch zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Die Tretfrequenz und die Veloeinstellungen wurden konstant gehalten. Zwischen den Tests lagen mindestens 3 und maximal 14 Tage. Die Probanden erklärten sich dazu bereit, ein Trainingsprotokoll zu führen und ihren Trainingsumfang in der Testphase konstant zu halten. Weiter durften sie in den 48 h vor einem Test keine intensiven Trainingseinheiten absolvieren und 2 h vor einem Test kein Koffein zu sich nehmen. Für die letzte Hauptmahlzeit vor jedem Test erhielten die Probanden die Anweisung, sich kohlenhydratreich zu ernähren. Die Tests wurden im Fall von Krankheit, Unwohlsein oder mangelndem Schlaf verschoben. Den Probanden wurde vor Testbeginn jeweils 15 min liegend der Ruhepuls gemessen. In den folgenden Tests wich dieser bei keinem der Probanden mehr als 10% ab, was ein Grund zu einer Testverschiebung gewesen wäre.

Laktatsenktest: Zuerst wurde ein Laktatsenktest zur Abschätzung der AS durchgeführt, da die so bestimmte Leistung gut mit derjenigen von maxLass übereinstimmt (Achermann und Pagani, 1998; Schuler, 2003). Der Laktatsenktest (Braumann et al., 1991) besteht aus 2 aufeinanderfolgenden Stufentests, die bis zur Erschöpfung gefahren werden müssen, und einer 8-min Pause dazwischen, während derer die Probanden 1 min ausfahren und 7 min ruhig auf dem Fahrrad sitzen bleiben (Abb. 1). Beim 2. Stufentest wird auf jeder Stufe Blut zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration entnommen und nach dem subjektiven Belastungsempfinden gefragt. Durch die Punkte in einem Blutlaktatkonzentration-Leistungsdiagramm wird eine Parabel dritten Grades gelegt. Das Minimum dieser Parabel im Blutlaktatkonzentration-Leistungsdiagramm entspricht der Leistung an der AS. Die Atemgasmessung erfolgte mit Ausnahme der Pause fortlaufend.

Schwellentest: Beim 1. Schwellentest wurde die Leistung der AS des Laktatsenktestes übernommen und nach einem 8-min Einfahren (je 4 min bei 60% bzw. 80% der nachfolgenden Leistung) während 32 min konstant gehalten (Abb. 2). Nach dem Einfahren und danach alle 3 min wurde dem Probanden Blut zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration entnommen und nach dem subjektiven Belastungsempfinden gefragt. Die Atemgasmessung erfolgte fortlaufend. Wenn die Blutlaktatkonzentration ab dem Basiswert

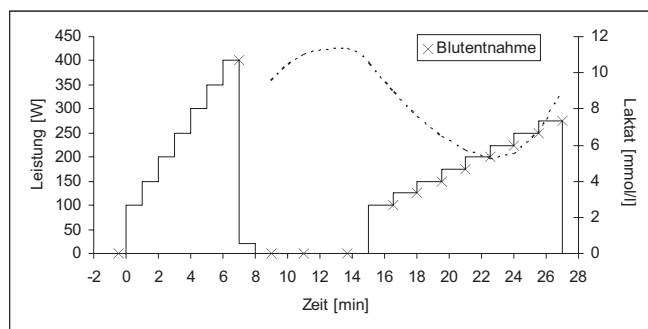


Abbildung 1: Leistungs-Zeit-Diagramm (durchgezogene Linie) und Blutlaktatkonzentrations-Leistungsdiagramm (gestrichelte Linie) des Laktatsenktestes nach Achermann und Pagani (1998).

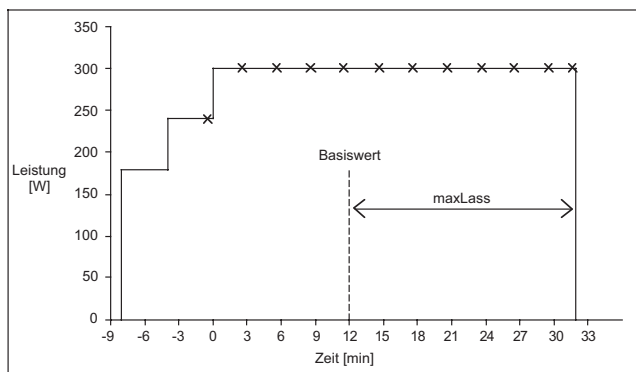


Abbildung 2: Leistungs-Zeit-Diagramm des Schwellentests. maxLass = maximales Laktat-steady-state, Basiswert = 1. Blutlaktatkonzentration zur Bestimmung von maxLass (vgl. Abb. 3), X = Blutentnahme und Frage nach dem subjektiven Belastungsempfinden.

(12. min) in den letzten 20 min des Tests konstant blieb (≤ 1 mmol/l), wurde die Leistung beim nächsten Test um 5–20 W erhöht. Wenn die Blutlaktatkonzentration anstieg (> 1 mmol/l), wurde der nächste Test auf einer 5 W tieferen Leistung gefahren. Damit die Kriterien für maxLass erfüllt sind, müssen folgende beiden Bedingungen erfüllt sein (Heck et al., 1985): Die Blutlaktatkonzentration ist in den letzten 20 min einer 30-min Belastung konstant (≤ 1 mmol/l), und bei einer minimal höheren Leistung (in unserer Studie 5 W) steigt sie an (> 1 mmol/l). Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Verlauf einer ansteigenden Blutlaktatkonzentration und eine konstante Blutlaktatkonzentration beim Test mit einer 5 W tieferen Leistung. Die 2. maxLass Bestimmung begann mit der Intensität, die dem 1. maxLass entsprach. Dann wurde wieder mit der notwendigen Anzahl von Tests – wie oben beschrieben – das 2. maxLass gesucht.

Datenauswertung und Statistik: Der maximale Sauerstoffverbrauch wurde beim Laktatsenktest bestimmt, indem der während 30 s gemittelte höchste Wert, der entweder beim 1. oder 2. Belastungsteil erreicht wurde, gesucht wurde. Zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration, der Herzfrequenz und des subjektiven Belastungsempfinden wurde bei der maxLass Bestimmung der Durchschnitt aller 3-min Werte ab der 15. bis zur 32. Minute berechnet. Der Sauerstoffverbrauch und die Ventilation wurden zum gleichen Zeitpunkt, jeweils während 30 s gemittelt, verwendet. Die Mittelwerte aller gemessenen Parameter aus der 1. und 2. maxLass Bestimmung wurden anhand des gepaarten t-Tests auf signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $p < 0.05$) überprüft. Mit dem Variationskoeffizienten wurde die Reproduzierbarkeit quantifiziert. Die berechneten und dargestellten Variationskoeffizienten entsprechen dem Mittelwert aller Variationskoeffizien-

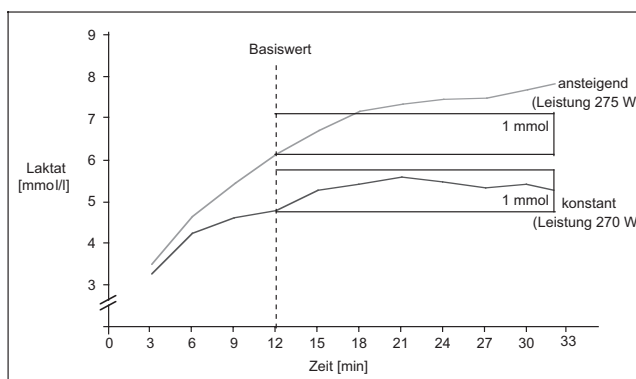


Abbildung 3: Beispiel der Blutlaktatkonzentration während zwei Schwellentests. Die Blutlaktatkonzentration beim Test mit 275 W ist ansteigend, bei der zweiten Verlaufskurve, mit einer um 5 W tieferen Leistung, ist die Blutlaktatkonzentration von der 12. bis 32. Minute konstant, das heisst, sie steigt weniger als 1 mmol/l an. Somit befindet sich das maximale Laktat-steady-state bei 270 W.

	maxLass 1	maxLass 2	Variationskoeffizient (%)
Leistung (W)	278 ± 28	277 ± 27	0.77 ± 0.89
Blutlaktatkonzentration (mmol/l)	5.2 ± 1.4	5.1 ± 1.5	10.13 ± 7.55
Herzfrequenz (min ⁻¹)	168 ± 13	166 ± 9	1.74 ± 1.77
Sauerstoffverbrauch (ml/min)	4090 ± 360	4048 ± 353	2.68 ± 2.28
Ventilation (l/min)	105 ± 13	104 ± 13	4.15 ± 3.73
Subjektives Belastungsempfinden	6.8 ± 1.5	6.6 ± 1.2	7.10 ± 5.75

Tabelle 1: Mittelwerte ± Standardabweichungen beim 1. und 2. maxLass (= maximales Laktat-steady-state) sowie die Variationskoeffizienten. N = 12.

ten jedes einzelnen Probanden. Alle statistischen Auswertungen wurden mit dem Computerprogramm Stat View 5.0.1 (Abacus Concepts, Berkeley, CA, USA) gemacht.

Resultate

Für die 1. und 2. maxLass Bestimmung absolvierten die Probanden durchschnittlich 5.1 ± 2.8 bzw. 2.3 ± 0.7 Schwellentests. Es fanden sich keine Unterschiede zwischen dem 1. und 2. maxLass bezüglich Leistung, Herzfrequenz, Blutlaktatkonzentration, Sauerstoffverbrauch, Ventilation und subjektivem Belastungsempfinden (Tab. 1). Die entsprechenden Variationskoeffizienten sind, wie Tabelle 1 zeigt, minimal.

Diskussion

Die beiden maxLass Bestimmungen waren in jeder Hinsicht praktisch identisch. Die Leistung war bei 6 von 12 Probanden gleich, bei den anderen betrug die Abweichung 5 W bzw. einmal 10 W, was einer prozentualen Änderung von 1,7–3,8% entspricht. Diese Resultate dokumentieren die hohe Reproduzierbarkeit der Leistung bei der maxLass Bestimmung.

Jeukendrup et al. (1996) untersuchten die Reproduzierbarkeit von 3 verschiedenen Testverfahren, wobei jedes Testverfahren 6 Mal wiederholt wurde. Dabei wurden zwei Testprotokolle mit Variationskoeffizienten um 3.5% als gut reproduzierbar interpretiert, ein drittes Testprotokoll mit 26.6% als ungenügend. In der vorliegenden Studie, bei der das Verfahren 2 Mal durchgeführt wurde, lag der durchschnittliche Variationskoeffizient für die Leistung bei maxLass bei 0.77 ± 0.89% (Tab. 1), was als gute Reproduzierbarkeit bezeichnet werden kann. Der Variationskoeffizient der Herzfrequenz war mit 1.74 ± 1.77 % ebenfalls klein und kann somit gut als Trainingsvorgabe für intensive Trainingseinheiten im Bereich der AS benutzt werden. Die Variationen der Ventilation und des Sauerstoffverbrauchs, die leicht grösser sind, können durchaus auch als gut reproduzierbar bewertet werden. Sie liegen im Bereich von Carter und Jeukendrup (2002), die die Reproduzierbarkeit verschiedener Spirometriegeräte untersuchten und Variationskoeffizienten für die Ventilation und den Sauerstoffverbrauch von 3,3–6,6% fanden. Die Ventilation kann deshalb zusätzlich als sensible Grösse zur Erkennung allfälliger Trainingsveränderungen dienen. Die Blutlaktatkonzentration unterliegt bei diesem Testmodell grösseren Schwankungen. Mit einer standardisierten Ernährung in den letzten 24 h vor einem Test könnte diese Variation wahrscheinlich vermindert werden.

Schlussfolgerung: Die Reproduzierbarkeit der Leistung, der Herzfrequenz, der Blutlaktatkonzentration, des Sauerstoffver-

brauchs, der Ventilation und des subjektiven Belastungsempfindens bei einer sorgfältigen maxLass Bestimmung ist hoch. Damit erfüllt dieser Test die Anforderungen, die man von einem Goldstandard erwarten darf. Allerdings ist der Aufwand mit durchschnittlich 5 Tests zur erstmaligen maxLass Bestimmung gross. Eine exakte Leistungsanalyse, gute Grundlagen für Trainingsempfehlungen und die Möglichkeit, kleine Trainingsverbesserungen bzw. unerwünschte Veränderungen in Richtung Übertraining festzustellen, entschädigen für den grossen Aufwand. Die auswertungsunabhängige maxLass Bestimmung garantiert zudem Objektivität.

Korrespondenzadresse:

Claudia Knöpfli-Lenzin, Sportphysiologie, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich. Telefon 01 635 50 06.
E-Mail: knoepfli@physiol.unizh.ch.

Literaturverzeichnis

- Achermann, P., Pagani M. (1998): Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der anaeroben Schwelle. Diplomarbeit zur Erlangung des Turn- und Sportlehrerdiploms, ETH Zürich.
- Boutellier U., Spengler C.M. (1999): $\dot{V}O_2$ max als Mass für die Ausdauerleistungsfähigkeit? Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraum. 47: 118–122.
- Braumann K.M., Tegtbur U., Busse M.W., Maassen N. (1991): Die «Laktatsenke» – eine Methode zur Ermittlung der individuellen Dauerleistungsgrenze. Dtsch. Ztschr. Sportmed. 42: 240–246.
- Carter J., Jeukendrup A. (2002): Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. Eur. J. Appl. Physiol. 86: 435–441.
- Conconi F., Ferrari M., Ziglio P.G., Droghetti P., Codeca L. (1982): Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J. Appl. Physiol. 52: 869–873.
- Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W. (1985): Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. Int. J. Sports Med. 6: 117–130.
- Jeukendrup A., Saris W.H.M., Brouns F., Kester A.D.M. (1996): A new validated endurance performance test. Med. Sci. Sports Exerc. 28: 266–270.
- Schuler B. (2003): Einfluss verschiedener Vorbelastungsprotokolle auf die Laktatsenke. Diplomarbeit zur Erlangung des Diploms als Dipl. Natw. ETH, ETH Zürich.
- Stegmann H., Kindermann W., Schnabel A. (1981): Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. Int. J. Sports Med. 2: 160–165.
- Wassermann K., McIlroy M.B. (1964): Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. Am. J. Cardiol. 14: 844–852.
- Wilson R.C., Jones P.W. (1991): Long-term reproducibility of Borg scale estimates of breathlessness during exercises. Clin. Sci. 80: 309–312.