

Hauser T, Bartsch D, Schulz H

Reliabilität der Leistung und Laktatkonzentration im maximalen Laktat-steady-state bei Radergometrie

Reliability of Power and Lactate-Concentration of Maximal Lactate Steady-State during Constant-Load Tests in Cycling

Professur für Sportmedizin/-biologie, Technische Universität Chemnitz

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: 30-minütige Dauerbelastungen gelten als Gold-Standard-Methode zur Bestimmung des maximalen Laktat-steady-states (maxLass). Ziel der vorliegenden Studie ist die Bestimmung der Tag-zu-Tag Variation der Leistung sowie Laktatkonzentration im maxLass bei fahrradergometrischen Dauerbelastungen. **Methoden:** 9 männliche Probanden (25 ± 4 Jahre, 181 ± 7 cm, 77 ± 8 kg) unterzogen sich mehreren Dauerbelastungen mit konstanten Leistungen auf einem Radergometer. Während der Dauertests wurden Kapillarblutproben in der 4., 8., 10., 14., 18., 22., 26. und 30. Minuten zur Bestimmung der Laktatkonzentration entnommen. Das maxLass ist definiert, als die höchste Leistung, bei der die Laktatkonzentration innerhalb der letzten 20 Minuten nicht mehr als um $0,05$ mmol/l/min steigt. In Abhängigkeit der ermittelten Blutlaktatkonzentration wurde die Leistung im nachfolgenden Dauertest um 10 Watt erhöht oder reduziert. Das maxLass wurde viermal bestimmt. **Ergebnisse:** Die mittlere Leistung im maxLass (PmaxLass) betrug 207 ± 29 Watt, dies entsprach einer Leistung 70% der VO_2 max. Die Laktatkonzentration im maxLass (LamaxLass) wurde mit $6,2 \pm 1,62$ mmol/l gemessen. Für PmaxLass konnte der Intra-Class-Koeffizient mit $0,92$ ($p \leq 0,001$) und LamaxLass mit $0,66$ ($p \leq 0,001$) berechnet werden. Der Variationskoeffizient (VK) für PmaxLass betrug 3,8%. Für LamaxLass lag der VK bei 15,1%. **Diskussion:** Die Dauertestmethode ist für die Bestimmung der Leistung im maxLass reliabel. Die Tag-zu-Tag-Variation der Leistung ist vergleichbar mit Ergebnissen im Stufentest. Die Laktatkonzentration zeigt gegenüber der Leistung eine wesentlich höhere Variabilität. Somit sollte die Variabilität der Laktatkonzentration bei der Interpretation von Ergebnissen aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter: maxLass, Tag-zu-Tag-Variabilität, Ausdauerleistungsdiagnostik, Gold-Standard.

SUMMARY

30-min constant load tests are known as the gold-standard for measuring the maximum-lactate-steady-state (maxLass). There is a lack of studies investigating the reliability of this method. The aim of this investigation was the determination of reliability of power (PmaxLass) and lactate concentration (LamaxLass) at maxLass during a 30-min constant load cycle ergometry test. **METHOD:** 9 male subjects (25 ± 4 years, 181 ± 7 cm, 77 ± 8 kg) underwent several 30-min-constant load tests. During this time, blood-samples were taken from the earlobe after 4, 8, 10, 14, 18, 22, 26 and 30 minutes for detecting the LamaxLass. A maxLass was defined as the highest workload that could be maintained without an increase in lactate concentration of more than $0,05$ mmol/l/min. The individual's maxLass was determined 4 times. **RESULTS:** Mean of PmaxLass was 207 Watt ± 29 Watt and mean of LamaxLass $6,2$ mmol/l $\pm 1,62$ mmol/l. The coefficient of variability could be calculated for PmaxLass with 3,8% and 15% for LamaxLass. For the determination of reliability the Intra-Class-Coefficient (ICC) was calculated for PmaxLass with $r=0,92$ ($p \leq 0,001$) and $r=0,66$, ($p < 0,001$) for LamaxLass. **DISCUSSION:** PmaxLass in constant load tests is highly reliable and therefore comparable with results of incremental tests. The high variability of LamaxLass shows that a determination of endurance-performance based on lactate concentration should be interpreted carefully.

Key Words: MaxLass, day-to-day-variability, endurance diagnostics, gold-standard.

EINLEITUNG

Die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist seit vielen Jahren ein etablierter Bestandteil sportmedizinischer Leistungsdiagnostik. Durch stufenweise ansteigende Belastungen und Auswertung der ermittelten Laktatleistungskurve wird die anaerobe Schwelle bestimmt und somit das maxLass approximiert (8). Das maxLass wird definiert als die maximale Belastungsintensität, bei der gerade noch ein Gleichgewicht (steady-state) zwischen Laktatbildung und -elimination vorherrscht (2,8). Es gilt als Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit und bestimmt die maximale Be-

lastungsintensität, bei der die Energiebereitstellung gerade noch primär aerob erfolgt (8). Jede höhere Belastung führt zur Akkumulation von Laktat im Muskel und somit zu einem Abfall des pH-Wertes. Dadurch wird eine weitere Belastung auf diesem Intensitätsniveau erschwert. Die anaerobe Schwelle wird als Kriterium zur Bestimmung von Trainingsempfehlungen verwendet. Jedoch ist zu beachten, dass Änderungen der Leistung an der anaeroben Schwelle innerhalb der biologischen Variabilität liegen können und somit nicht auf Trainingseffekte zurückzuführen sind. Die biologische Variabilität der Parameter muss somit bekannt sein, um bedeutsame Trainingseffekte erkennen und objektiv interpretieren zu

können. Viele Untersuchungen konnten die Reliabilität verschiedener Schwellenkonzepte bestätigen (6, 15, 16). Doch nur wenige Studien befassten sich bisher mit der Bestimmung der Tag-zu-Tag-Variabilität der Leistung und Laktatkonzentration im Stufentest. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei Radergometrie die Tag-zu-Tag-Variabilität der Leistung bei 4 mmol/l bei 4,15% liegt (12). Ähnliche Ergebnisse konnten bei Lauf-Feldstufentests mit einem $VK_{4\text{mmol/l}}$ von 3,3% (9) sowie bei Laufbandstufentests mit einem $VK_{4\text{mmol/l}}$ von 2,85% ermittelt werden (11). Für die individuelle anaerobe Schwelle (IAT) geben die Autoren den repeatability coefficient (RC) als Maß der biologischen Variation für die Leistung mit 3,3% und für die Laktatkonzentration mit 34% an (6). Die Variation der Leistung und Laktatkonzentration für stufenweise ansteigende Belastungen ist somit bekannt. Als Gold-Standard-Methode zur Bestimmung des maxLass gelten 30-minütige Dauerbelastungen (8). Die Reproduzierbarkeit des maxLass konnte bisher nur durch eine Untersuchung mittels Test-Retest-Verfahren bestimmt werden (1). Die Studie ermittelte für die Leistung einen VK von 0,77% und für die Laktatkonzentration einen VK von 10%.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Bestimmung der Reliabilität sowie der individuellen Tag-zu-Tag-Variabilität der Leistung und Laktatkonzentration im maxLass.

MATERIAL UND METHODEN

Probanden

An der Studie nahmen neun gesunde, männliche Probanden, davon 6 Radsportler, zwei Handballer und ein Volleyballer (25 ± 4 Jahre, 181 ± 7 cm, 77 ± 8 kg, $VO_{2\text{max}}: 52,5 \pm 5,4$ ml/min/kg) teil.

Untersuchungsgang

Die Untersuchungen fanden auf einem Lode Radergometer (Lode Excalibur Sport, Lode, Groningen, Niederlande) statt. Zunächst führten alle Testpersonen einen Rampentest zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme mittels des Spirometers Oxycon Pro der Firma Jäger (Höchberg) durch. Nach einer 10-minütigen Erwärmung bei einer Leistung des 1,5 fachen des Körpergewichts folgte eine zwei minütige Phase von 50 Watt. Anschließend wurde die Leistung aller 30 Sekunden um 25 Watt bis zur subjektiven Erschöpfung oder dem Erreichen eines Levelling-offs gesteigert. Die in den letzten 30 Testsekunden gemittelten Messwerte entsprachen dabei der maximalen Sauerstoffaufnahme. Im Anschluss absolvierten die Probanden einen 30-minütigen Dauertest entsprechend einer Leistung bei einer VO_2 von 80% der $VO_{2\text{max}}$. Der Dauertest begann nach einer Erwärmungszeit von 3 Minuten bei einer Leistung von 60% der zu fahrenden Testleistung. Die Trittfrequenz lag zwischen 80 und 90 Umdrehungen pro Minute.

Zur Bestimmung der Laktatkonzentration wurden $20\mu\text{L}$ Kapillarblutproben in eine end-to-end Kapillare während Ruhe sowie in der vierten, achten, zehnten Minute und anschließend vier-minütlich bis zur 30. Belastungsminute aus dem mit Finalgon forte® hyperämisierten Ohr läppchen entnommen. Die Kapillarblutproben wurden unmittelbar nach Abnahme mit einer Glukose/Laktat-Hämolyselösung vermengt. Anschließend wurde die Laktatkonzentration bei einer Raumtemperatur von 20 bis 24 °C sofort nach dem enzymatisch-amprometrischen Prinzip durch das Gerät BIOSEN C-Line (EKF-diagnostic, Barleben, Deutschland) bestimmt. Eine Kalibration des Gerätes fand automatisch aller 60 Mi-

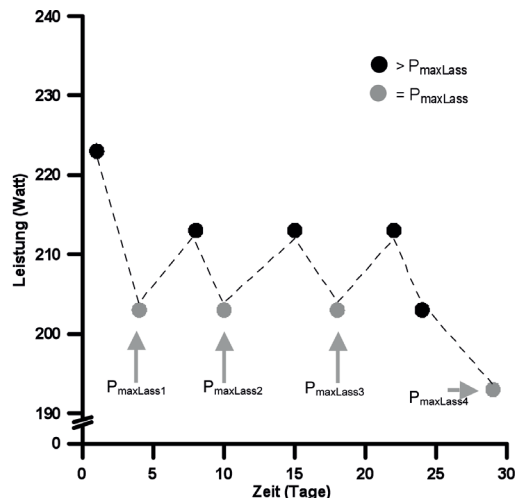


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Leistung für alle Dauertests in Bezug zu den Testtagen. In Klammern die durch Regressionsanalyse der 6 Laktatkonzentrationen (in mmol/l) in Bezug zur Abnahmezeit ermittelte Steigung der Laktatkonzentration von 10. bis 30. Belastungsminute für einen Probanden. Leistung im maximalen Laktat-steady-state = grau, Leistung über dem maximalen Laktat-steady-state = schwarz.

nuten statt. Die Messpräzision wird durch den Hersteller mit einem $VK \leq 1,6\%$ sowie $\leq 3\%$ über 10 Proben bei Laktatkonzentrationen von jeweils 12 mmol/l beschrieben.

Die Belastung wurde in Abhängigkeit der gemessenen Laktatkonzentrationen im nächsten Dauertest um 10 Watt erhöht bzw. erniedrigt. Das maxLass entspricht dabei der höchsten Belastungsintensität, bei der die Laktatkonzentration in den letzten 20 Minuten der Dauerbelastung um weniger als $0,05$ mmol/l/min ansteigt (8). Die Steigung der Laktatkonzentration innerhalb eines Dauertests wurde mittels Regressionsanalyse der sechs gemessenen Laktatkonzentrationen in der 10., 14., 18., 22., 26. und 30. Belastungsminute in Bezug zur Abnahmezeit ermittelt. Um ein maxLass anzunehmen zu können, musste jeder Untersuchungsteilnehmer mindestens zwei Dauertests absolvieren. Zwischen zwei Dauertests lag eine Regenerationsphase von 2 bis 4 Tagen. Die Untersuchung galt als beendet, wenn das maxLass für jeden Probanden viermal bestimmt werden konnte. Die Gesamttestphase lag für jeden Probanden bei 5 Wochen.

Zur Ermittlung möglicher Trainingseffekte wurden die vier gemessenen Leistungswerte im maxLass intraindividuell in Abhängigkeit von der Zeit regressionsanalytisch untersucht. Bei signifikantem Regressionskoeffizienten wurden von einem Trainingseffekt ausgegangen und die Leistungswerte im maxLass korrigiert.

Statistik

Zur Beurteilung der Werte wurden das arithmetische Mittel, für die Bestimmung der Variabilität der Variationskoeffizient (VK (%)) sowie die Standardabweichung (\pm SD) berechnet. Die Reliabilität wurde mit dem Intra-Class-Coeffizient (ICC) bestimmt. Zusammenhänge zwischen Variabilitätskriterien und der Leistung im maxLass sowie der maximalen Sauerstoffaufnahme wurden mittels Korrelation berechnet. Die Ermittlung von Trainingseffekten wurde mittels linearer Regression und Korrelation untersucht. Die Irrtumswahrscheinlichkeit p wurde anhand folgender Signifikanzschranken ermittelt: $p > 0,05$: nicht signifikant (*), $p \leq 0,05$: signifikant (**), $p \leq 0,001$: hoch signifikant (***)

Tabell 1: Individueller Mittelwert (MW), mittlere individuelle Standardabweichung (\pm SD), mittlerer individueller Variationskoeffizient (VK) der Leistung ($P_{\max\text{Lass}}$) und Laktatkonzentration ($La_{\max\text{Lass}}$) aller 4 $_{\max\text{Lass}}$ Gesamtmittelwerte (MW_{Gesamt}) und Gesamtstandardabweichung (SD_{Gesamt}) für die Leistung ($P_{\max\text{Lass}}$) und Laktatkonzentration ($La_{\max\text{Lass}}$) aller Probanden ($n=9$).

	$P_{\max\text{Lass}}$ (Watt)		$La_{\max\text{Lass}}$ (mmol/l)			
	MW \pm SD	VK (%)	MW \pm SD	VK (%)	MW \pm SD	VK (%)
Pb 1	155	$\pm 5,0$	3,2	7,9	$\pm 1,10$	13,9
Pb 2	199	$\pm 8,2$	4,1	6,3	$\pm 0,51$	8,2
Pb 3	207	$\pm 10,0$	4,8	6,9	$\pm 0,79$	11,4
Pb 4	245	$\pm 9,6$	3,9	6,3	$\pm 0,66$	10,4
Pb 5	231	$\pm 15,0$	6,5	4,6	$\pm 0,60$	13,1
Pb 6	203	$\pm 8,2$	4,0	8,6	$\pm 1,73$	20,2
Pb 7	181	$\pm 5,8$	3,2	5,3	$\pm 0,98$	18,4
Pb 8	244	$\pm 5,0$	2,1	5,6	$\pm 0,92$	16,4
Pb 9	201	$\pm 5,0$	2,5	4,3	$\pm 1,01$	23,8
MWGe-samt	207		3,8	6,2		15,1
SDGesamt	± 29		$\pm 1,3$	$\pm 1,6$		$\pm 5,1$

ERGEBNISSE

Abb. 1 zeigt beispielhaft alle Dauertests mit entsprechender Leistung und Steigung der Laktatkonzentration in Bezug zu den Testtagen für einen Probanden. Das maxLass konnte für alle neun Testpersonen viermal bestimmt werden. Im Mittel wurden $10,1 \pm 1,6$ mit einem Range von 8 bis 13 Dauertests durchgeführt, um das maxLass viermal bestimmen zu können. Zuzüglich des $VO_{2\max}$ -Tests ergab sich somit pro Proband ein Gesamttestzeitraum von 5 Wochen. Es konnte bei keinem Probanden ein signifikanter Anstieg der Regressionsgeraden der vier gemessenen Leistungen im maxLass ermittelt werden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass Trainingseffekte nicht vorliegen, so dass alle Werte in dieser Arbeit den tatsächlich gemessenen Leistungswerten entsprechen. Die mittlere Leistung im maxLass ($P_{\max\text{Lass}}$) lag bei 207 ± 29 Watt (Tab. 1). Sie entsprach der Leistung bei einer VO_2 von $70,6 \pm 6,8\%$ der $VO_{2\max}$. Das Minimum wurde bei 152 Watt, das Maximum bei 257 Watt gemessen. Die mittlere biologische Variabilität von $P_{\max\text{Lass}}$ betrug 3,8%. Es konnte festgestellt werden, dass die Variabilität von $P_{\max\text{Lass}}$ unabhängig von $P_{\max\text{Lass}}$ ($r=0,18$, $p>0,05$) (Abb. 2) sowie der maximalen Sauerstoffaufnahme ist ($r=0,29$; $p>0,05$). Die mittlere $La_{\max\text{Lass}}$ betrug $6,2 \pm 1,62$ mmol/l. Die Laktatkonzentrationen lagen im Bereich von 2,9 mmol/l bis 10,6 mmol/l. Weiterhin konnte ein mittlerer VK der $La_{\max\text{Lass}}$ von 15,1% berechnet werden. Die $La_{\max\text{Lass}}$ ($r=-0,35$, $p \geq 0,05$) sowie die Variabilität der $La_{\max\text{Lass}}$ ($r=-0,16$, $p \geq 0,05$) stehen in keinem Zusammenhang zur $P_{\max\text{Lass}}$. Die $La_{\max\text{Lass}}$ ($r=-0,25$, $p>0,05$) sowie die Variabilität der $La_{\max\text{Lass}}$ ($r=-0,33$, $p>0,05$) sind unabhängig von der maximalen Sauerstoffaufnahme. Der ICC betrug für $P_{\max\text{Lass}}$ 0,92 ($p<0,001$) und für $La_{\max\text{Lass}}$ 0,66 ($p<0,001$).

DISKUSSION

Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der Reproduzierbarkeit sowie der individuellen Tag-zu-Tag-Variabilität der Leistung

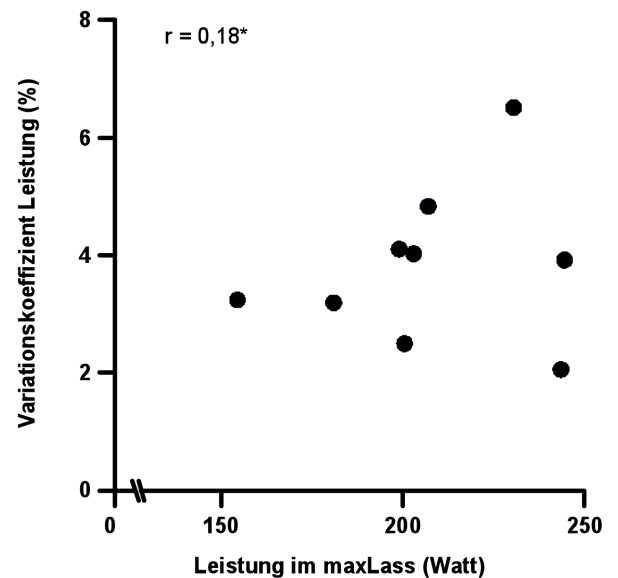


Abbildung 2: Korrelation zwischen Variationskoeffizient der Leistung und der Leistung im maxLass ($n=9$, $r=0,18^*$).

und Laktatkonzentration im maxLass durch 30-minütige Dauerbelastungen.

In der vorliegenden Untersuchung konnte ein VK der Leistung von 3,8% ermittelt werden, der etwas höher lag, als der VK der Leistung von 0,77% von Batschelet et al. (1), die eine vergleichbar mit der in dieser Arbeit verwendeten Methodik angewandt haben. Batschelet et al. (1) bestimmten die Reliabilität und Variabilität der Leistung und Laktatkonzentration im maxLass für 12 ausdauertrainierte männliche Probanden mittels Test-Retest-Methode. Innerhalb 32-minütiger konstanter Dauerbelastungen galt die Steigung der Laktatkonzentration von 0,05 mmol/l/min zwischen der 12. und 32. Minute als Kriterium zur Ermittlung des maxLass. Die geringen Variationskoeffizienten der Leistung beider Studien deuten auf eine geringe Variabilität der Leistung im maxLass hin. Die in dieser Untersuchung ermittelte hohe Reliabilität und geringe Variabilität der Leistung entspricht weiterhin den Resultaten im Stufentest an der individuellen anaeroben Schwelle sowie bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l (6,9, 11, 12, 15). Für stufenförmige Belastungen ist die Variabilität der Leistung unabhängig von der Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen an der Leistung an der anaeroben Schwelle (9, 11, 12). Dies konnte in der vorliegenden Untersuchung für Dauerbelastungen ebenso nachgewiesen werden.

Die Laktatkonzentration zeigt gegenüber der Leistung eine geringere Reproduzierbarkeit sowie eine hohe Variabilität im maxLass. Batschelet et al. (1) ermittelten einen VK der Laktatkonzentration von 10%. Die hohe Variabilität der Laktatkonzentration der vorliegenden Untersuchung entspricht ebenso den Befunden aus Stufentestverfahren (6, 9, 11, 12). Die Höhe der Laktatkonzentration widerspricht in der vorliegenden Studie den bisherigen Befunden anderer Studien, welche mittlere Laktatkonzentrationen im maxLass von 4,0 mmol/l bis 5,4 mmol/l publizierten (1, 2, 3, 4, 8).

Es ist zu beachten, dass die Laktatkonzentration abhängig von der Trittfrequenz sein kann. Dieser Aspekt wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Für stufenförmige Belastungen ist bekannt, dass die Trittfrequenz einen Einfluss auf den Energiestoffwechsel

hat (5, 17). Mit zunehmender Trittfrequenz bei gleichen Leistungen erhöht sich die Laktatkonzentration (13). In Studien, die Laktatkonzentrationen um 4 mmol/l im maxLass aufwiesen, fuhren die Probanden mit einer Trittfrequenz von 60 U/min (2). Lagen die Trittfrequenzen zwischen 70 und 90 U/min, konnte eine Laktatkonzentration bei 4,9 mmol/l ermittelt werden (4). Bei Trittfrequenzen zwischen 90 und 105 U/min befand sich die Laktatkonzentration im Mittel bei 5,4 mmol/l (3). Für Dauertests zur Bestimmung des maxLass konnte bisher keine Abhängigkeit der Laktatkonzentration von der Trittfrequenz gefunden werden (7).

Eine weitere Erklärung für die in dieser Studie erhöhte mittlere Laktatkonzentration im maxLass kann mittels maximaler Sauerstoffaufnahme und maximaler Glykolyserate, als die bedeutendsten Determinanten der Leistung sowie der Laktatkonzentration im maxLass, gegeben werden (8, 14). Nach den theoretischen Annahmen erhöht sich Leistung im maxLass mit zunehmender maximaler Sauerstoffaufnahme sowie abnehmender maximaler Glykolyserate (8, 14). Die gesteigerte Leistung im maxLass kann eine größere Glykolyserate und somit höhere Laktatkonzentrationen zur Folge haben (14). Experimentell konnte bisher jedoch kein Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration im maxLass und der Leistung im maxLass festgestellt werden (4, 10).

Weiterhin bleibt festzuhalten, dass der Leistungsunterschied zwischen den Dauertests aus ökonomischen Gründen zehn Watt, entsprechend der Angaben von Heck (8), betrug. Weitere Studien arbeiteten mit einer Leistungssteigerung um 3% bis 10% (2, 3, 4) bzw. 5 bis 20 Watt (1). In der vorliegenden Untersuchung konnte das maxLass auf neun Watt genau bestimmt werden. Innerhalb dieses Intervalls von neun Watt kann es mit zunehmender Leistung zu höheren Laktatkonzentrationen kommen. Ob das maxLass in der vorliegenden Studie genau getroffen oder um maximal neun Watt unterschätzt wurde, kann nicht geklärt werden. Somit sollte beachtet werden, dass bei einer möglichen Unterschätzung des maxLass, aufgrund der methodischen Leistungsdifferenz von 10 Watt zwischen zwei Dauertests, die ermittelte Laktatkonzentration ebenso unterschätzt werden kann.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Leistung im maxLass ist durch 30-minütige Dauerbelastungen für die untersuchte Probandengruppe reliabel messbar. Im Gegensatz zur Leistung charakterisiert die Laktatkonzentration im maxLass eine höhere Variabilität, was bei der Interpretation von leistungsdiagnostischen Ergebnissen berücksichtigt werden sollte. Aufgrund der hohen Variabilität der Laktatkonzentrationen im maxLass, sollten diese nicht auf Laktatkonzentrationen im Stufentest übertragen werden, um daraus die Leistung entsprechend eines Schwellenkonzepts zu ermitteln. Hierbei ist der Vergleich der Laktatkonzentrationen und Leistungen im maxLass mit den entsprechenden Schwellenkonzepten zu erarbeiten. Weiterhin sollten die Reliabilität und Tag-zu-Tag-Variabilität für untrainierte sowie hochausdauertrainierte Probanden sowie der Einfluss der Trittfrequenz auf die Laktatkonzentration im maxLass Schwerpunkt nachfolgender Studien sein.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. **BATSCHOLET A, ZIMMERMANN C, SCHMID K, BOUTELLIER U, KNÖPFLI-LENZIN C:** Reproduzierbarkeit des maximalen Laktat-steady-states. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumatol* 52 (2004) 154-156.
2. **BENEKE R:** Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol* 89 (2003) 95-99.
3. **BENEKE R, DUVILLARD SP:** Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 241-246.
4. **BENEKE R, HUETLER M, LEITHÄUSER RM:** Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 1135-1139.
5. **COAST JR, WELCH HG:** Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 53 (1985) 339-342.
6. **COEN B, URHAUSEN A, KINDERMANN W:** Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. *Int J Sports Med* 22 (2001) 8-16.
7. **DENADAI BS, RUAS VD, FIGUEIRA TR:** Maximal lactate steady state concentration independent of pedal cadence in active individuals. *Eur J Appl Physiol* 96 (2006) 477-480.
8. **HECK H:** Laktat in der Leistungsdiagnostik. Hofmann, Schorndorf, 1990.
9. **HECK H, HALLMANN O, SCHULZ H:** Variabilität der Laktat-Leistungskurve im Lauf-Feldstufentest, in: Bartmus U, Jendrusch G, Henke T, Platen P (Hrsg): In Memoriam Horst de Marées anlässlich seines 70. Geburtstages. Beiträge aus Sportmedizin, Trainings- und Bewegungswissenschaft. Sportverl. Strauß, Köln, 2006, 87-96.
10. **HECK H, MADER A, HESS G, MÜCKE S, MÜLLER R, HOLLMANN W:** Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 6 (1985) 117-130.
11. **HECK H, VREBAC S, SCHULZ H:** Variabilität der Laktat-Leistungskurve beim Laufbandtest, in: Hollmann W, Rost R (Hrsg): Brennpunkte der Sportwissenschaft - Ausgewählte Kapitel der Sportmedizin. Academia-Verl., Sankt Augustin, 2009, 167-174.
12. **KÖNIG U, ROSSKOPF P, HECK H:** Die Variabilität des Laktats bei ansteigender Fahrradergometerarbeit, in: Bennett P, Jeschke D (Hrsg): Sport und Medizin - Pro und Contra, 32. Deutscher Sportärztekongress. Zuckschwerdt-Verl., München, 1991, 721-724.
13. **LÖLLGEN H, GRAHAM T, SJOGAARD G:** Muscle metabolites, force, and perceived exertion bicycling at varying pedal rates. *Med Sci Sports Exerc* 12 (1980) 345-351.
14. **MADER A, HECK H:** A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". *Int J Sports Med* 7 (1986) 45-65.
15. **MCLELLAN TM, JACOBS I:** Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 67 (1993) 125-131.
16. **WELTMAN A, SNEAD D, STEIN P, SEIP R, SCHURRER R, RUTT R, WELTMAN J:** Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO₂max. *Int J Sports Med* 11 (1990) 26-32.
17. **WOOLFORD SM, WITHERS RT, CRAIG NP, BOURDON PC, STANEF T, MCKENZIE I:** Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds of high-performance junior endurance cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80 (1999) 285-291.

Korrespondenzadresse:

Thomas Hauser M.A.

Thüringer Weg 11

09126 Chemnitz

E-Mail: thomas.hauser@hsw.tu-chemnitz.de