

^{1,2}Faude O, ^{1,2}Meyer T

Methodische Aspekte der Laktatbestimmung

Methodological Aspects of Lactate Determination

¹Institut für Sport- und Präventivmedizin, Universität des Saarlandes, Saarbrücken

²Institut für Sportmedizin, Universität Paderborn

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration hat in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eine besondere Bedeutung erlangt. Physiologische Messgrößen unterliegen verschiedenen Fehlerquellen (biologische, gerätetechnische und messmethodische), die entweder eine systematische oder zufällige Variabilität bewirken können. Der vorliegende Artikel soll einen Überblick über Einflussfaktoren auf die Laktatbestimmung liefern, so dass eine realistische Beurteilung von Messwerten in der leistungsdiagnostischen Praxis und in wissenschaftlichen Studien erfolgen kann. Systematische Unterschiede werden z.B. durch die Verteilung im Blutkreislauf hervorgerufen, wobei arterielle Laktatkonzentrationen größer sind als venöse. Kapilläre Werte liegen dazwischen. Ebenso ist die Laktatkonzentration im Blutplasma größer als in den Erythrozyten, so dass auch das Analysemedium (Plasma > Hämolystat > Vollblut) einen systematischen Unterschied bedingt. Bei kapillären Blutentnahmen zeigen sich für Entnahmen an der Fingerbeere größere Werte als für Entnahmen am Ohrfläppchen. Bei der Wahl unterschiedlicher Testgeräte kommt es teilweise zu sehr deutlichen, allerdings in ihrer Richtung kaum vorhersehbaren Unterschieden. In der sportmedizinischen Praxis sowie in wissenschaftlichen Untersuchungen sollte verschiedenen qualitativen und methodischen Aspekten besondere Beachtung geschenkt werden, um eine verlässliche Bewertung von Laktatkonzentrationen zu ermöglichen. Hohe Qualitätsstandards im gerätetechnischen und messmethodischen Bereich sowie eine einheitliche Methodik – insbesondere bei längsschnittlichen Analysen – sollten gewährleistet sein. Aufgrund einer hohen biologischen sowie der beschriebenen methodisch bedingten Variabilität bei der Laktatbestimmung sollte die Bewertung von absoluten Laktatkonzentrationen in der leistungsdiagnostischen Praxis nicht unkritisch gesehen werden.

Schlüsselwörter: Leistungsdiagnostik, Trainingssteuerung, Labormethoden

EINLEITUNG

Die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration als Indikator für die metabolische Beanspruchung des Organismus während körperlicher Belastungen hat in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eine lange Tradition (18). Seit die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration mittels trockenchemischer oder enzymatischer Methoden aus dem Kapillarblut möglich ist (Ende der 1960er Jahre), hat die Laktatdiagnostik weltweit eine besondere Bedeutung erlangt, was sich beispielsweise in der enormen Anzahl international publizierter Laktatschwellenmodelle widerspiegelt (10).

Physiologische Messgrößen unterliegen verschie-

SUMMARY

The determination of blood lactate concentrations during exercise has become an important tool in endurance diagnosis and training control. Physiological measures are susceptible to several error components (biological, technical and methodological variability). Such factors cause either systematic bias or random error. The present article will provide an overview of such influencing factors. This may contribute to a realistic interpretation of lactate values in sports practice as well as in scientific studies. The lactate distribution in circulation leads to systematic differences. For instance, arterial values are reported to be higher than venous concentrations with capillary values lying in between. Plasma concentrations have also been found higher compared to those in erythrocytes and, thus, the analysed blood medium (plasma > hemolysed > non-hemolysed whole blood) causes systematic bias. In addition, systematically higher values are reported for capillary blood samples from the finger tip compared to the earlobe. The use of different lactate analyzers may also result in considerable, but less predictable, variability. The described confounding factors indicate that several methodological aspects should be taken into account to allow for reliable interpretation of lactate values in science and practice. High quality standards regarding analyzers and methods as well as standardized methodological procedures – in particular for longitudinal analyses – should be guaranteed. Due to a high biological variability, together with the described methodological variability of lactate measurements, the interpretation of absolute lactate values in sports practice should be done with considerable care.

Key words: performance diagnosis, training control, laboratory methods

denen Fehlerkomponenten. Neben der biologischen Variabilität beeinflussen auch gerätetechnische und messmethodische Aspekte das Ergebnis einer Bestimmung. Diese Fehlerkomponenten können entweder eine systematische („systematic bias“) oder zufällige („random error“) Variabilität bewirken (1,2). Das Wissen um diese Einflüsse auf Laktatbestimmungen ist von wesentlicher Bedeutung, wenn eine realistische Beurteilung von Messwerten erfolgen soll.

Abbildung 1 zeigt den Weg des bei intensiver körperlicher Arbeit produzierten Laktats vom Muskel bis zur Konzentrationsbestimmung im Messgerät sowie mögliche Einflussfaktoren auf die tatsächlich gemessene Blutlaktatkonzentration. Anhand dieses Weges will

der vorliegende Artikel einen Überblick über methodische Einflussfaktoren auf die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration liefern.

PRODUKTION UND VERTEILUNG VON LAKTAT IM ORGANISMUS

Bei intensiver körperlicher Belastung wird die benötigte Energie im Muskel vornehmlich aus dem Abbau von Kohlenhydraten gewonnen. Das dabei entstehende Pyruvat kann entweder in den oxidativen Stoffwechsel überführt oder vermehrt in Laktat umgewandelt werden. Die Laktatproduktion hängt stark von der metabolischen Umsatzrate ab. Laktat ist ein Stoffwechselzwischenprodukt, das als energiereiches Substrat wieder im Energiestoffwechsel genutzt werden kann (15).

Verteilung im Blutkreislauf

Nach dem Transport vom Muskel ins Blut verteilt sich das Laktat im gesamten Blutkreislauf. Im rechten Herzen mischt sich das venöse Blut zu einem für die aktuelle Belastungssituation im Gesamtorganismus repräsentativen Wert (29). Es wird angenommen, dass das arterielle Blut ebenfalls repräsentative Werte für die Gesamtsituation des Organismus liefert (21,26). Für die sportmedizinische Praxis ist eine gemischt-venöse oder arterielle Blutentnahme zur Laktatbestimmung wegen der damit verbundenen Unannehmlichkeiten und Gefahren für den Patienten nicht relevant.

Mehrere Studien haben sich mit der Frage befasst, in welchem Ausmaß arterielle und venöse Laktatkonzentrationen übereinstimmen. Relativ einheitlich wurden im cubital-venösen Blut (während Fahrradergometrien) niedrigere Werte gemessen (21,26), wobei die arteriell-venöse Differenz mit ansteigender Belastungsintensität zunehmend größer wurde (bis auf Differenzen >4 mmol.l⁻¹ nach Ausbelastung). Die venöse Laktatkonzentration kann je nach Entnahmestelle verhältnismäßig variabel sein, was dadurch erklärt werden kann, dass Laktat aus dem venösen Blut u. a. in der Leber und inaktiver bzw. wenig bewegter Muskulatur aufgenommen und dort weiter verstoffwechselt werden kann. Bei cubital-venösen Proben betrifft dies vornehmlich die der Entnahmestelle vorgeschaltete Finger- und Unterarmmuskulatur. Etwas höhere Werte können erzielt werden, wenn durch Erwärmung des Arms eine „Arterialisierung“ des venösen Bluts (durch Vasodilatation in der Haut und die relative Minderdurchblutung der Laktat-aufnehmenden Muskulatur) erreicht wird (26).

Venöse Blutentnahmen erlauben die Analyse relativ großer Blutvolumina. Somit können zusätzlich zur Laktatkonzentration weitere Messgrößen bestimmt werden. In der Praxis, insbesondere in sportmedizinischen Felduntersuchungen haben sich heutzutage kapilläre Blutentnahmen durchgesetzt. Kapilläre Werte liegen in der Regel etwas höher als venöse Laktatkonzentrationen (14,28,34). Eine weitere Angleichung an arterielle Verhältnisse kann durch durchblutungsfördernde Maßnahmen (Hyperämisierung durch Salben am Ohrläppchen, Erwärmung der Fingerbeere im Wasserbad) erreicht werden (29).

Verteilung auf die Blutkompartimente

Nach dem Laktattransport vom Muskel ins Blutplasma finden weitere Verteilungsvorgänge statt (nicht arbeitende Muskulatur, Leber, Herz, rote Blutzellen). Somit ist die Laktatverteilung im Blut selbst nicht homogen. Systematisch höhere Werte im Plasma im

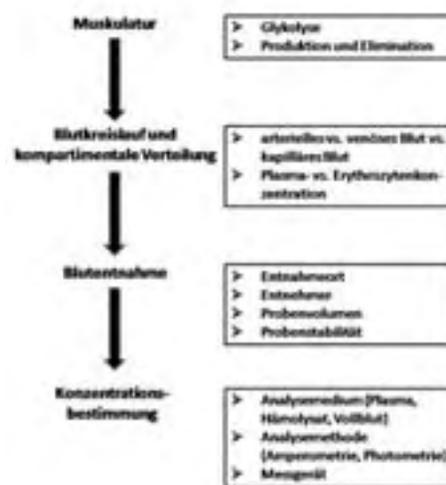


Abbildung 1: Weg des Laktats vom Muskel bis zur Analyse im Testgerät sowie mögliche Faktoren, die die gemessene Laktatkonzentration beeinflussen können.

Vergleich zu Erythrozytenkonzentrationen wurden in mehreren Studien berichtet (Ery: Plasma-Verhältnis ca. 0,6 bis 0,4; (14, 16, 17, 31)). Verschiedene Autoren führen dieses relativ konstante Verhältnis auf ein Gleichgewicht der Ionenverteilung zwischen intra- und extraerythrozytärem Raum (Donnan-Gleichgewicht) zurück (16, 31). Zudem ist der Lösungsraum aufgrund des geringeren Wasseranteils durch die hohe Hämoglobinkonzentration in den Erythrozyten gegenüber dem Plasma verkleinert.

Nach der Blutentnahme laufen weitere Verteilungsprozesse ab. Die Halbwertszeit für den Laktateintritt in die Erythrozyten wird mit ca. 2 min berichtet, ein voller Konzentrationsausgleich ist nach ungefähr 10 min gegeben (6). Zudem findet eine weitere in-vitro Laktatproduktion in den Erythrozyten statt. So finden sich teilweise erhebliche Unterschiede zwischen Plasma- und Vollblutkonzentrationen – mit einer großen Streuung (13, 17, 34). Soll Laktat im Plasma bestimmt werden, müssen die Blutproben nach Abnahme sofort gekühlt und möglichst umgehend zentrifugiert werden, um einen fortlaufenden Anstieg durch eine in-vitro-Laktatproduktion in den Erythrozyten zu verhindern. Plasmakonzentrationen liegen teilweise deutlich über (nicht-hämolytierten) Vollblutmessungen, da bei letzteren nur das Laktat im Plasma erfasst, aber auf das Vollblutvolumen bezogen wird. Durch Beimischung einer Hämolyse-lösung kann die Differenz zwischen Intra- und Extrazellulärraum beseitigt und die Vollblutkonzentration ermittelt werden (5, 29, 32). Daher liefern hämolysierte Vollblutproben etwas höhere Werte als nicht-hämolytierte (13, 17, 32, 34). Um eine weitere in-vitro-Laktatproduktion zu hemmen, ist der Zusatz von anti-glykolytischen Substanzen (z.B. Fluoride) zu den Hämolyse-lösungen heutzutage gängige Praxis.

METHODISCHE ASPEKTE DER PROBENGEWINNUNG UND -AUFBEWAHRUNG

Die kapilläre Blutentnahme

Kapilläre Blutentnahmen werden in der leistungsdiagnostischen Praxis überwiegend am Ohrläppchen oder an der Fingerbeere vorgenommen (11,29), obwohl bei Ruderern auch schon die Entnahme am Zeh angedacht wurde (12). Verschiedene Studien zeigen

sowohl in Ruhe als auch bei submaximaler und maximaler Belastung am Finger systematisch höhere Laktatkonzentrationen als am Ohrläppchen ($+0,6$ bis $+1,8$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (11), $+0,3$ bis $+0,5$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (9) bzw. $+0,4$ bis $+1,1$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (12)), wobei die Unterschiede möglicherweise von Belastungsart und -intensität abhängen (11,12). Als Gründe für diese Differenzen können Unterschiede im lokalen Blutfluss (Vasokonstriktion oder -dilatation (12), hydrostatischer Druck und thermoregulatorische Prozesse (11)) oder Differenzen im Venenblutanteil aus der arbeitenden Muskulatur (29) vermutet werden. Dabei ist von Bedeutung, dass Ohrkapillarblut etwas mehr Hämoglobin ($+0,2$ $\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$) und somit einen höheren Erythrozytenanteil als venöses Blut aufweist (19).

Der Einfluss des Probennehmers auf die Variabilität der Messung ist kaum untersucht. Davison et al. (8) bestimmten die Variationskoeffizienten über 20 Ruhemessungen bei drei verschiedenen Untersuchern zwischen 1,3% und 3%. Allerdings finden sich keine Angaben zum Erfahrungsgrad der Untersucher. Eine unveröffentlichte Studie aus dem Institut für Sport- und Präventivmedizin in Saarbrücken analysierte Unterschiede zwischen zwei erfahrenen Probennehmern. Trotz hoher relativer Übereinstimmung ($r=0,998$) wurde ein systematischer mittlerer Unterschied von 3% entsprechend $0,2$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ beobachtet (persönliche Kommunikation Benno Weiler). In zukünftigen Studien wären Angaben zur absoluten Übereinstimmung (z.B. Bland-Altman-Methode) zwischen verschiedenen Entnehmern – insbesondere bei unterschiedlichem Erfahrungsgrad – wünschenswert (1).

Die nicht fachgerechte Durchführung der Blutentnahme kann einen relevanten Beitrag zur Variabilität der Messung liefern. Das Probenvolumen hat durch die heutzutage gängigen end-to-end Kapillaren vermutlich weniger Einfluss (29). Allerdings kann durch Vermischung mit Schweiß (wenn die Entnahmestelle nicht gründlich gereinigt wird, was insbesondere bei hohen Belastungsintensitäten vorkommen kann) die Laktatkonzentration beeinflusst werden. Die Konzentration im Schweiß kann deutlich höher liegen als im Plasma. Die Differenzen können sehr unterschiedlich sein (2 bis 15mal höher im Schweiß) und von Alter, Geschlecht, Leistungsfähigkeit und Belastungsintensität abhängen (20,25). Um die Gefahr der Anschwemmung von Blut anderer Konzentration zu verringern, sollte die Entnahmeprozedur schnell erfolgen.

Probenstabilität

Bei den meisten portablen Geräten sollte die Blutprobe relativ schnell nach der Entnahme analysiert werden. Bei Tests mit wenigen Personen und ausreichenden zeitlichen Abständen zwischen den Blutentnahmen ist dies durchaus möglich (z.B. Trainingsmittelkontrollen bei Individualsportlern). Wenn allerdings große Gruppen in kurzer Zeit getestet werden (z.B. Feldtests bei Fußballmannschaften), müssen die Blutproben über einen längeren Zeitraum stabil gehalten werden. Daher ist es nötig, eine weitere in-vitro-Laktatproduktion schnell zu stoppen (siehe Abschnitt „Verteilung auf die Blutkompartimente“).

Bishop et al. (4) untersuchten die Stabilität unterschiedlicher Probenmedia (Vollblut und Plasma), die mittels Zitronensäure und Kaliumzitrat konserviert wurden. Hämolytierte Blutproben blieben über eine Woche im Kühlschrank (bei 5°C ab dem zweiten Tag) relativ stabil (max. Abweichungen vom Ausgangswert $0,2$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ im Ruhebereich und $0,5$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ bei Ausbelastung). Ähnliche Ergebnisse beschreiben McCaughan et al. (23) für mit Kalium-EDTA und Natriumfluorid konservierte und gekühlte Vollblutproben. Bei

Raumtemperatur sinken die Werte ab dem zweiten Tag deutlich. Davison et al. (8) untersuchten die zeitliche Stabilität von hämolytiertem und konserviertem Kapillarblut bei Raumtemperatur ($\sim 20^\circ\text{C}$) über einen Zeitraum von 7 bis 20 Stunden. Es wurden keine relevanten Veränderungen beobachtet, so dass die Aufbewahrung von Proben bei Raumtemperatur bis zu 20 Stunden, wie es bei Feldtests in manchen Fällen nötig ist, unproblematisch scheint.

GERÄTECHNISCHE UND MESSMETHODISCHE ASPEKTE

Analysemethoden

Zur Laktatbestimmung stehen heutzutage im Wesentlichen zwei Analysemethoden zur Verfügung. Bei der (spektro-)photometrischen Methode wird Laktat mittels enzymatischer Reaktionen in einen Farbstoffindikator umgesetzt, dessen Lichtabsorption gemessen wird (30). Diese ist proportional zur eingesetzten Laktatmenge. Eine solche Bestimmungsmethode ist relativ einfach, erfordert einen geringen Material- und Stromverbrauch und wird in vielen portablen Messgeräten eingesetzt (29). Weiter verbreitet – insbesondere in Laborgeräten – ist die enzymatisch-amperometrische Analysemethode (synonym: elektrochemische oder polarographische Methode). Laktat wird mittels des Enzyms Laktatoxidase zu Pyruvat und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) umgewandelt. H_2O_2 wird an einer ionenselektiven Elektrode oxidiert. Der dabei entstehende Strom ist direkt proportional zur eingesetzten Laktatmenge. Für die meisten gängigen Analysegeräte wurde in mehreren Studien ein Abgleich mit einer Labormethode, die regelmäßigen externen Qualitätskontrollen unterliegt, durchgeführt (3,7,27). Entsprechende Anforderungen für Laborgeräte sind von der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP) für ein zertifiziertes sportmedizinisches Diagnosezentrum vorgeschrieben (regelmäßige Teilnahme an Ringversuchen).

Testgeräte

In etlichen Studien wurden verschiedene Laktatmessgeräte – insbesondere portable Messgeräte, die für den Einsatz im Feld entwickelt wurden – verglichen (3,7,8,22,24,27,33). Diese wurden entweder untereinander verglichen oder mit Laborgeräten, die z.T. als Referenzmethode gewählt wurden. Insgesamt wurden sehr heterogene Resultate beobachtet. Relativ übereinstimmend werden für die meisten Geräte hohe Korrelationskoeffizienten ($r > 0,95$) über den relevanten Intensitätsbereich (Ruhe bis Ausbelastung) berichtet (3,7,8,22,27,33). Korrelationen geben Auskunft über die relative Übereinstimmung zwischen zwei Methoden und sind von der Breite des analysierten Wertebereichs abhängig (1). Die absolute Übereinstimmung zwischen den Geräten ist oft nicht befriedigend. Mittlere Differenzen von 50% (24) und 95%-Vertrauensbereiche von ± 2 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (3,27,33) werden teilweise berichtet, wobei die Differenzen oft mit zunehmender Laktatkonzentration größer werden. Selbst verschiedene Ausführungen eines Gerätetyps können deutlich unterschiedliche Ergebnisse liefern (24).

Für die meisten Geräte werden relativ einheitlich niedrige Variationskoeffizienten (VK) unter 4% bei wiederholten Messungen angegeben (13,30). In niedrigen Intensitätsbereichen, die bei der Steuerung des extensiven Ausdauertrainings von Bedeutung sind (< 2 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), wird die Präzision der Messung mit VK von 3 bis 4% angegeben, während die VK bei höheren Laktatkonzentrationen zwischen 1 und 2% liegen. Allerdings können in Einzelfällen die VK

deutlich höher liegen. Es empfiehlt sich daher für jedes Labor, die spezifischen Kennzahlen für die eigenen Geräte zu ermitteln (29). Für die Praxis der Trainingsbetreuung ist besonders wichtig, dass Umgebungs- bzw. klimatische Bedingungen (Höhentraining, Kälte, Hitze, Luftfeuchtigkeit) einen relevanten Einfluss auf die verwendeten Methoden und Materialien (Teststreifen, Verdünnungslösungen, Blutproben, Enzymreaktionen) und somit auf die Messergebnisse haben können (22,24).

Um die z.T. deutlichen Unterschiede zwischen den Geräten zu erklären, muss vornehmlich über messmethodische Faktoren spekuliert werden. Dies betrifft beispielsweise das eingesetzte Analysemedium (siehe Abschnitt „Verteilung auf die Blutkompartimente“) oder die genutzte Analysemethode (Photometrie vs. Amperometrie) (5). Unterschiede im eingesetzten Probenvolumen (5 µL bis 75 µL), das bei einzelnen Geräten selbst recht variabel sein kann („Blutstropfen“), können ebenfalls die Variabilität erhöhen.

KONSEQUENZEN FÜR LEISTUNGSDIAGNOSTIK UND TRAININGSSTEUERUNG IN WISSENSCHAFT UND PRAXIS

Die dargestellten Befunde zeigen, dass verschiedene Faktoren die Laktatbestimmung auf sehr unterschiedliche Art beeinflussen können. Die Verteilung im Blutkreislauf und den Blutkompartimenten, sowie das Analysemedium und der Entnahmeort (bei kapillären Entnahmen) führen zu systematischen Unterschieden, auch wenn die Größenordnung des Unterschieds nicht einheitlich berichtet wird. Zufällige Effekte sind vornehmlich durch die Wahl unterschiedlicher Testgeräte und (eingeschränkt) bei venösen Blutentnahmen (in Abhängigkeit vom Entnahmeort) zu erwarten. Zudem berichten Bagger et al. (2) von einer hohen biologischen Variabilität der Laktatkonzentration in Ruhe sowie bei submaximaler Belastung (intraindividuelle Variationskoeffizienten 20 bis 25%).

In der sportmedizinischen Praxis sowie in wissenschaftlichen Untersuchungen sollten verschiedene qualitative und methodische Aspekte besonders beachtet werden, um eine verlässliche Bewertung von Laktatkonzentrationen zu gewährleisten.

1. Besonderer Wert sollte auf hohe Qualitätsstandards im gerätetechnischen und messmethodischen Bereich gelegt werden (z.B. qualifiziertes Personal, externe Qualitätskontrollen).
2. Insbesondere bei längsschnittlichen Analysen sowie vergleichenden Feld- und Labormessreihen sollte eine einheitliche Methodik angewandt werden oder zumindest ein institutsinterner Methodenabgleich erfolgen. Entsprechende Vergleichsdaten bzw. detaillierte Methodenbeschreibungen sollten in wissenschaftlichen Studien selbstverständlich sein.
3. Aufgrund der hohen biologischen sowie methodisch bedingten Variabilität scheint die Bewertung von einzelnen, absoluten Laktatkonzentrationen in der leistungsdiagnostischen Praxis nicht unproblematisch. Mehrere Studien zeigen beispielsweise, dass Laktatschwellen, die relative Veränderungen der Laktatkonzentration berücksichtigen, durch die methodisch bedingte Variabilität weniger beeinflusst werden als fixe Laktatschwellen (7,28,31,32,33,34).

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

LITERATUR

1. ATKINSON G UND NEVILL AM: Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 26 (1998) 217-238.
2. BAGGER M, PETERSEN PH, PEDERSEN PK: Biological variation in variables associated with exercise training. *Int J Sports Med* 24 (2003) 433-440.
3. BISHOP D: Evaluation of the Accusport lactate analyser. *Int J Sports Med* 22 (2001) 525-530.
4. BISHOP PA, MAY M, SMITH JF, KIME J, MAYO J, MURPHY M: Influence of blood handling techniques on lactic acid concentrations. *Int J Sports Med* 13 (1992) 56-59.
5. BISHOP PA, SMITH JF, KIME JC, MAYO JM, TIN YH: Comparison of a manual and an automated enzymatic technique for determining blood lactate concentrations. *Int J Sports Med* 13 (1992) 36-39.
6. BÖNING D, KLARHOLZ C, HIMMELSBACH B, HUTLER M, MAASSEN N: Causes of differences in exercise-induced changes of base excess and blood lactate. *Eur J Appl Physiol* 99 (2007) 163-171.
7. BUCKLEY JD, BOURDON PC, WOOLFORD SM: Effect of measuring blood lactate concentrations using different automated lactate analysers on blood lactate transition thresholds. *J Sci Med Sport* 6 (2003) 408-421.
8. DAVISON RC, COLEMAN D, BALMER J, NUNN M, THEAKSTON S, BURROWS M, BIRD S: Assessment of blood lactate: practical evaluation of the Biosen 5030 lactate analyzer. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 243-247.
9. DRAPER N, BRENT S, HALE B, COLEMAN I: The influence of sampling site and assay method on lactate concentration in response to rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 98 (2006) 363-372.
10. FAUDE O, KINDERMANN W, MEYER T: Lactate threshold concepts - How valid are they? *Sports Med* (2009) in press.
11. FELIU J, VENTURA JL, SEGURA R, RODAS G, RIERA J, ESTRUCH A, ZAMORA A, CAPDEVILA L: Differences between lactate concentration of samples from ear lobe and the finger tip. *J Physiol Biochem* 55 (1999) 333-339.
12. FORSYTH JJ UND FARRALLY MR: A comparison of lactate concentration in plasma collected from the toe, ear, and fingertip after a simulated rowing exercise. *Br J Sports Med* 34 (2000) 35-38.
13. FOXDAL P, BERGQVIST Y, ECKERBOM S, SANDHAGEN B: Improving lactate analysis with the YSI 2300 GL: hemolyzing blood samples makes results comparable with those for deproteinized whole blood. *Clin Chem* 38 (1992) 2110-2114.
14. FOXDAL P, SJODIN B, RUDSTAM H, OSTMAN C, OSTMAN B, HEDENSTIerna GC: Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61 (1990) 218-222.
15. GLADDEN LB: Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 558 (2004) 5-30.
16. HARRIS RT UND DUDLEY GA: Exercise alters the distribution of ammonia and lactate in blood. *J Appl Physiol* 66 (1989) 313-317.
17. HILDEBRAND A, LORMES W, EMMERT J, LIU Y, LEHMANN M, STEINACKER JM: Lactate concentration in plasma and red blood cells during incremental exercise. *Int J Sports Med* 21 (2000) 463-468.
18. HOLLMANN W: 42 years ago - development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. *Sports Med* 31 (2001) 315-320.
19. HUTLER M, BENEKE R, BONING D: Determination of circulating hemoglobin mass and related quantities by using capillary blood. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 1024-1027.
20. JESCHKE D UND LORENZ R: Lactate for assessing physical performance, load capacity and monitoring of training] *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 34 (1999) 234-236.
21. LINDERMAN J, FAHEY TD, LAUTEN G, BROOKER AS, BIRD D, DOLINAR B, MUSSELMAN J, LEWIS S, KIRK L: A comparison of blood gases and acid-base measurements in arterial, arterialized venous, and venous blood during short-term maximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61 (1990) 294-301.

22. MC NAUGHTON LR, THOMPSON D, PHILIPS G, BACKX K, CRICKMORE L: A comparison of the lactate Pro, Accusport, Analox GM7 and Kodak Ektachem lactate analysers in normal, hot and humid conditions. *Int J Sports Med* 23 (2002) 130-135.
23. MCCAUGHAN HM, MCRAE RZ, SMITH HK: The stability of lactate concentration in preserved blood microsamples. *Int J Sports Med* 21 (2000) 37-40.
24. MEDBOJI, MAMEN A, HOLT OLSEN O, EVERTSEN F: Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand J Clin Lab Invest* 60 (2000) 367-380.
25. MEYER F, LAITANO O, BAR-OR O, MCDUGALL D, HEIGENHAUSER GJ: Effect of age and gender on sweat lactate and ammonia concentrations during exercise in the heat. *Braz J Med Biol Res* 40 (2007) 135-143.
26. OYONO-ENGUELLE S, GARTNER M, MARBACH J, HEITZ A, OTT C, FREUND H: Comparison of arterial and venous blood lactate kinetics after short exercise. *Int J Sports Med* 10 (1989) 16-24.
27. PYNE DB, BOSTON T, MARTIN DT, LOGAN A: Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol* 82 (2000) 112-116.
28. ROBERGS RA, CHWALBINSKA MONETA J, MITCHELL JB, PASCOE DD, HOUMARD J, COSTILL DL: Blood lactate threshold differences between arterialized and venous blood. *Int J Sports Med* 11 (1990) 446-451.
29. RÖCKER K UND DICKHUTH HH: Praxis der Laktatmessung. *Dtsch Z Sportmed* 52 (2001) 33-34.
30. SCHWAB W, TRITSCHLER W, KESSLER AC, BABLOK W: Neue enzymatische Lactatbestimmung: Methodische Aspekte und Probengewinnung. *J Clin Chem Clin Biochem* 17 (1979) 65-70.
31. SMITH EW, SKELTON MS, KREMER DE, PASCOE DD, GLADDEN LB: Lactate distribution in the blood during progressive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 29 (1997) 654-660.
32. THIN AG, HAMZAH Z, FITZGERALD MX, MCLOUGHLIN P, FREANEY R: Lactate determination in exercise testing using an electrochemical analyser: with or without blood lysis? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 79 (1999) 155-159.
33. WEIPPERT M, KREUZFELD S, ARNDT D, STOLL R: Vergleich eines mobilen Laktatmessgerätes mit einem Laboranalysegerät - LactateScout vs. Miniphotometer 8. *Dtsch Z Sportmed* 59 (2008) 46-49.
34. WILLIAMS JR, ARMSTRONG N, KIRBY BJ: The influence of the site of sampling and assay medium upon the measurement and interpretation of blood lactate responses to exercise. *J Sports Sci* 10 (1992) 95-107.

Korrespondenzadresse:

Dr. phil. Oliver Faude
Institut für Sport- und Präventivmedizin
Universität des Saarlandes,
Saarbrücken
E-Mail: o.faude@mx.uni-saarland.de