Labor- versus Feldstufentestverfahren: Laktat-Ausdauerdiagnostik und Trainingssteuerung

Laboratory versus outdoor testing: Lactate endurance diagnostics and training management

Föhrenbach R[1], Mücke St[2]
[1] Institut für Sportdiagnostik, Offenbach, Deutschland
[2] Mücke, St.: Institut für medizinische Leistungsoptimierung (IM-LOT) Deutschland

Zusammenfassung

Die Registrierung der Laktatkonzentration bei Belastung gilt seit nunmehr über 40 Jahren als sensibelster Parameter zur Erfassung und Differenzierung der aeroben Kapazität des Muskelstoffwechsels. Das Laktatverhalten, bzw. die Laktat-Laufgeschwindigkeits-Beziehung wird technisch im Labor von der Dämpfung des Laufbandtyps, des Anstiegswinkels und im Feld von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst. Entscheidend wirkt sich jedoch das integrative Laktatverhalten für beide Methoden aus.

Aus einer rund dreimal so langen Stufen-Belastungsdauer in Felduntersuchungen im Vergleich zum Labor resultieren signifikant niedrigere Schwellenwerte (Laufgeschwindigkeit bezogen auf eine Laktatkonzentration von 4 mmol/l bzw. anaerobe Schwelle). Die o.a. methodischen Einflüsse spielen keine wesentliche Rolle, wenn lediglich die Frage beantwortet werden soll, ob sich die Ausdauer eines Sportlers verbessert oder verschlechtert hat, bzw. persistiert.

Wenn jedoch laktat-optimierte Trainings-Dauerlaufgeschwindigkeiten für den Sportler erteilt werden sollen, müsste eine biologische Kalibrierung des Laufbandtyps mit dem vom Sportler dominierend bevorzugten Trainingsuntergrund erfolgen. Ab einer Belastungsintensität, die zu einer deutlichen Laktatbildung führt, ist es sinnvoll, die Stufenbelastungsdauer von 3 auf 8–9 min anzuheben.

Bei normalen klimatischen Bedingungen durchgeführte Ergebnisse aus Felduntersuchungen bieten direkt präzise Anhaltspunkte für die Trainingssteuerung und ökonomische Vorteile, da acht Personen gleichzeitig in 45 Minuten untersucht werden können.

Schlüsselwörter:
Laktatdiagnostik, gerätetechnische Einflüsse, Stufenbelastungsdauer, Trainingssteuerung

Abstract

Recording the endurance lactate concentration has for some 40 years now been considered the most sensitive parameter for identifying and differentiating the aerobic capacity in muscle metabolism. Lactate behavior or the lactate-running-speed ratio is influenced under lab conditions both by the shock absorption of the specific treadmill type, the treadmill angle of inclination, and outdoors by the ground conditions. What is decisive for both indoor and outdoor measurements is the integrative lactate behavior.

For outdoor testing, a staggered stress/endurance duration that was about three times as long as the duration period used for indoor lab tests resulted in significantly lower threshold values (running speed related to a lactate concentration of 4 mmol/l or anaerobic threshold, respectively). The above methodological influences play no substantive role if the sole intention is to answer whether the athlete's endurance has improved, deteriorated or been maintained.

However, if the goal is to identify lactate-optimized training speeds for endurance runs, then the type of treadmill needs to be calibrated biologically to match the surfaces on which the athlete in question predominantly trains. Moreover, increasing the staggered stress period from 3 to 8–9 min as of the intensity that triggers a significant lactate accumulation is also meaningful.

Results achieved with field tests conducted under normal climatic conditions, by contrast, offer direct and precise indications for training adjustments and economic benefits, as up to eight persons can be evaluated at one and the same time in the course of 45 minutes.

Keywords:
lactate-diagnostics, influence of testing pattern, load duration, regulation of training

Einleitung

Alois Mader entwickelte u.a. die Grundlagen zur Theorie der aerob-anaeroben Schwelle anhand des Laktatverhaltens bei Belastung. Er definiert den «Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaerob-laktazid gedeckten muskulären Energiestoffwechselleistung als aerob-anaerobe Schwelle der Arbeitsmuskulatur…» Die Leistung: Watt oder Laufgeschwindigkeit (m/s bzw. km/h), bezogen auf eine Blutlaktatkonzentration von 4 mmol/l eignete sich als valides diagnostisches Beurteilungskriterium einer maximal abgedeckten aeroben Leistung [1].

Auch zur Belastungs-/Trainingssteuerung der Ausdauer (< 4 mmol/l) überflügelte der Parameter Laktat die Registrierung der Sauerstoffaufnahme, u.a. eingedenk der Tatsache, dass ein hoher Anteil aller Trainingsanpassungen in der jeweiligen Sportart hauptsächlich beanspruchten Muskulatur stattfindet, deren Änderungen wesentlich schneller mit diesem sensiblen Parameter nachzuweisen waren [1,2].

Methodische Einflüsse bei Laufbanduntersuchungen

In der Folge stellte sich jedoch heraus, dass die aus Laufbanduntersuchungen erhaltenen Ergebnisse zur Übertragung auf ein Lauftraining unter realistischen Bedingungen aufgrund der gerätebedingten Charakteristik und Methodik nur bedingt verwendbar waren. Daher wurden bereits ab 1978 erste Felduntersuchungen durchgeführt sowie nachfolgend eine sportartspezifische aerobe Feldlaufdiagnostik und -Methodik vorgestellt [3,4].

Es soll zunächst auf die biomechanischen Besonderheiten des Laufbands mit erheblichem Einfluss auf den Energiebedarf hingewiesen werden:

1. Beim Laufbandlaufen entfällt zunächst der aktive Beinabstoss aus dem Sprunggelenk nach vorne-oben. Die Beine werden vielmehr vom Band passiv nach hinten gezogen. Im Kleinhirn muss diese koordinative Änderung des Bewegungsablaufs nachjustiert werden, was nicht allen Sportlern gelingt und oft nur unter Einbezug zusätzlicher nicht zum normalen Bewegungsablauf gehörender Muskeln und mit einer zusätzlichen Laktatproduktion gelingt. Diese stört eine saubere Interpretation des Laktatverhaltens.
2. Da der Windwiderstand entfällt, muss der besonders bei höheren Laufgeschwindigkeiten in der 3. Potenz zunehmende Energiebedarf durch einen Anstieg des Laufbands angeglichen werden [5,6]. Im Kölner Arbeitskreis wurden hierzu umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die den Einfluss unterschiedlicher Laufbandanstiege (0–6%) und verschiedener Laufböden (Gras, Rekortan®, Asche, fester lehmiger Boden) auf die Laktat-Laufgeschwindigkeit zeigen *(Abb. 1)*, [7].
3. Für identische Laufgeschwindigkeitsstufen werden für Laufbänder unterschiedlicher Hersteller mit entsprechend unterschiedlichem Dämpfungsverhalten Unterschiede von bis zu 0,5m/s an der aerob-anaeroben Schwelle gemessen [7]. Daher ist eine biologische Kalibrierung des verwendeten Laufbandtyps mit dem bevorzugten Trainingsuntergrund (Wald-, Kunststoff-, Asphaltboden) notwendig, um laktat-optimierte Geschwindigkeitsangaben für Dauerläufe vornehmen zu können *(Abb. 2)*.
4. Den grössten Einfluss auf das Laktatverhalten hat jedoch die Zeitdauer der Laufstufen und die Dimension der Be-

Introduction

Among other things, Alois Mader developed the fundamentals of the theory of aerobic/anaerobic threshold on the basis of the behavior of lactate during exercise. He defines the "transition area from the purely aerobic to the partially lactate anaerobic muscular energy metabolism as the aerobic/anaerobic threshold of the work muscles…" The performance: Watt and running speed (m/s or km/h), in relation to a blood-lactate concentration of 4 mmol/l was suitable as a valid diagnostic criterion for assessing maximum aerobic performance [1].

With regard to managing exercise and training focusing on developing endurance (< 4 mmol/l) lactate as a parameter outperformed that of registering oxygen uptake, among other things in view of the fact that a large proportion of all adjustments to training relate to the muscles used in the relevant type of sport, changes which could be proven to occur far more accurately with this sensitive parameter [1,2].

Methodical influences in treadmill tests

It has subsequently emerged, however, that on account of the characteristics caused by and the method employed for the treadmills, results from exercise/tests conducted on them can only to a limited extent be applied to running training under realistic conditions. For this reason, from as early as 1978 initial outdoor tests were conducted and, subsequently, outdoor running diagnostics and an outdoor running method for specific types of sport presented [3,4].

Reference must first be made to the biomechanical characteristics of treadmills which have a considerable influence on energy requirements:

1. When running on a treadmill, the leg does not actively move forwards and upwards from the ankle. Rather, the legs are passively drawn backwards by the treadmill. The cerebellum has to adjust to this coordinative change in movement, which not all athletes succeed in doing; often they only do so by using additional muscles that are not customarily associated with normal movement and entail the production of additional lactate. This is a hindrance to an unequivocal interpretation of lactate production.
2. As the treadmill offers no other resistance, the increase to the third power in energy requirement, particularly at high running speeds, has to be adapted through a rise in the inclination of the tread mill [5,6]. In this context the Cologne working group conducted extensive studies which reveal the influence of different treadmill inclines (0–6%) and different running surfaces (grass, Rekortan®, cinder, solid loamy ground) on lactate output at different running speeds *(fig. 1)*, [7].
3. For identical running speed levels, differences of up 0.5 m/s in the aerobic/anaerobic threshold were measured using treadmills by different manufacturers with correspondingly different cushioning [7]. For this reason, biological calibration of the type of treadmill used with the preferred training surface (woodland trails, artificial surface, asphalt) is necessary in order to be able to provide lactate-optimized data for endurance runs *(fig. 2)*.
4. The duration of the running levels and the extent to which the effort levels are staggered have the greatest influence on lactate behavior. **Lactate is an integrated entity**; in other words, from the point in time when lactate begins to

lastungsabstufung. **Laktat ist eine integrative Grösse**; d.h., dass es ab dem Zeitpunkt, bei dem Laktat gebildet wird, in Abhängigkeit von der Arbeitsintensität und der Belastungsdauer zu einer mehr oder weniger starken Laktatakkumulation (Zunahme der Glykolyse bzw. Laktatbildungsrate) kommt. Der Einfluss einer 3,5, 5,5, und 7,5 min-dauernden Stufenbelastung auf das Laktatverhalten bei 9 Probanden wurde 1985 von Heck et al. [7] untersucht. In Abb. 3 ist deutlich erkennbar, dass die Unterschiede an der aerob-anaeroben Schwelle zwischen 3,5 und 5,5 sowie 5,5- und 7,5-minütiger Belastungsdauer jeweils 0,16 m/s betragen. Somit beträgt die Gesamtdifferenz zwischen der 3,5 und 7,5 min-Stufendauer **0,32 m/s** – also fast einer ganzen Belastungsstufe.

Anfang der 80er-Jahre wurde versucht, in den sportmedizinischen Instituten eine Standardisierung leistungsdiagnostischer Untersuchungen auf dem Laufband, u.a. zugunsten einer besseren Vergleichbarkeit einzuführen (Heck et al. [8]).

form there is, to a greater or lesser extent, strong accumulation of lactate (increase in glucose and the lactate formation rate) depending on the intensity of effort and the duration of the stress. In 1985, Heck et al. studied the influence of 3.5, 5.5, and 7.5-minute work load on the lactate behavior of nine test persons [7]. It can be clearly seen from fig. 3 that the differences in the aerobic/anaerobic threshold between 3.5 and 5.5, as well as between 5.5 and 7.5-minute work load is 0.16 m/s in each instance. This makes the total difference between 3.5 and 7.5-minute stress **0.32 m/s** – i.e., almost an entire stress level.

In the early 1980s attempts were made to standardize studies of performance diagnostics on treadmills at sports medical institutes, among other things to improve comparability (Heck et al. [8]). Since then, almost all institutes of sports medicine and private sports institutes have for economic reasons adopted a 3-minute work load period and increase the period by increments of 0.5 m/s or 2 km/h (= 0.55 m/s). The test results then systematically in all such studies propose an

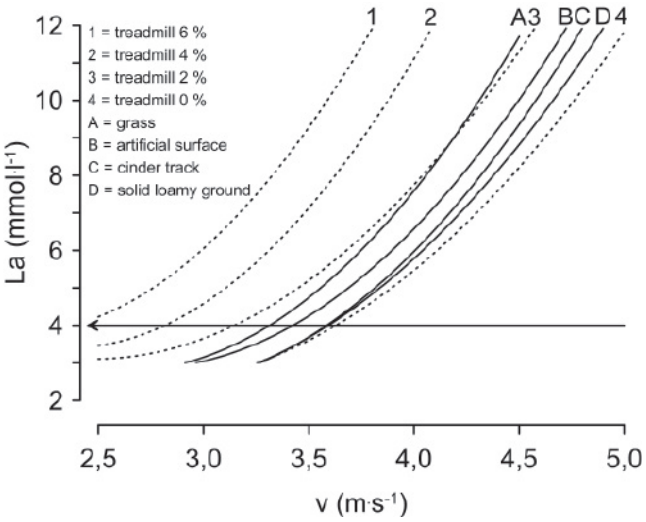

Fig. 1: Square regression curves of lactate in dependance on running speed on the treadmill at an angle of inclination of 0%, 2%, 4%, and 6%, and on four different running surfaces

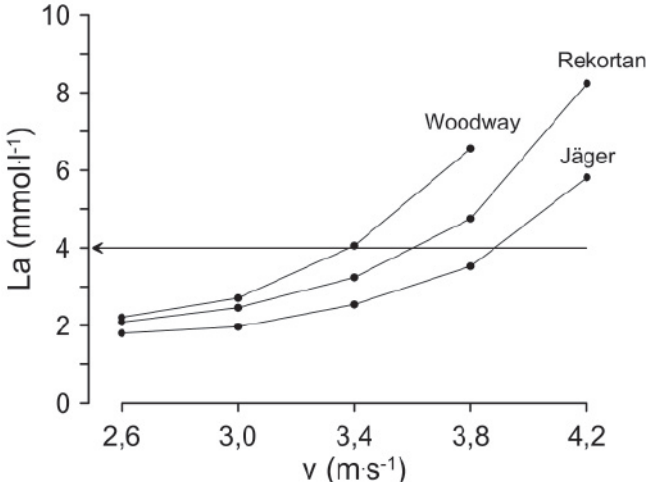

Fig. 2: Means (n=6) of lactate in running work loads of two different treadmills (Woodway, Jäger) and on an artificially Surface track (Rekortan)

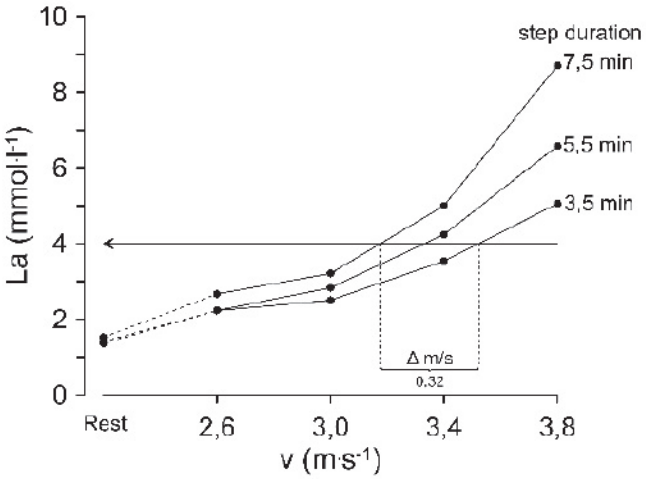

Fig. 3: Mean and standard deviation values of lactate in running work loads for load durations of 3.5, 5.5, and 7.5 min (n = 9)

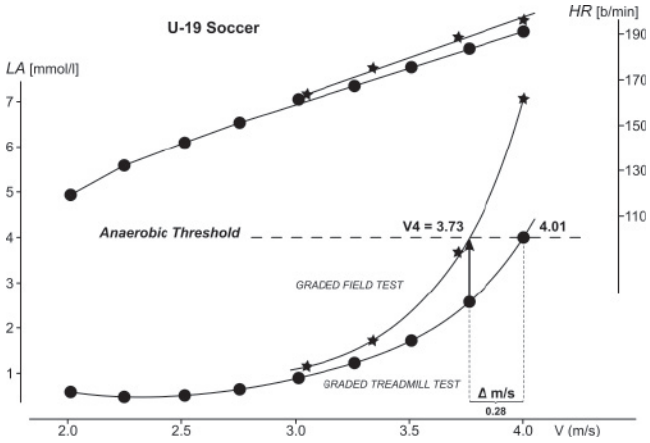

Fig. 4: Comparative lab/outdoor work load test (circle/star symbols) by a U19 football player; heart rate changes: above, lactate concentration changes: below. The running speed difference (Δ m/s) at the aerobic/anaerobic threshold is 0.28 m/s

Seither orientieren sich nahezu alle sportmedizinischen Institute und auch private Untersuchungsstätten aus ökonomischen Gründen an der Belastungs-Stufendauer von 3 min und der Abstufung von 0,5 m/s bzw. 2 km/h (= 0,55 m/s). Das Testresultat gaukelt dann systematisch in allen Untersuchungen eine zu gute Ausdauerleistung vor, wie an einem Einzelbeispiel eines U19-Fussballers in einer vergleichenden Untersuchung aufgezeigt werden soll *(Abb. 4)*.

Der Spieler wurde zunächst im Feldstufentest in 4 Stufen (3,03, 3,33, 3,7 und 4,0 m/s) mit einer Stufendauer von 8–9 min belastet (Abstufung: 0,3 m/s; Gesamtdauer: 32 min). Die aerob-anaerobe Schwelle betrug **3,73 m/s**. Vier Tage später erfolgte im Rahmen einer sportmedizinischen Untersuchung der Laufbandtest mit neun 3-minütigen Stufen von 2,0 bis 4,0 m/s (Abstufung: 0,25 m/s). Die Schwelle wurde um **0,28 m/s höher** bei **4,01 m/s** berechnet.

Ebenso, wie in der Abb. 3 dargestellt, führte die Felduntersuchung mit einer dreimal so langen Belastungsdauer ab einer Laufgeschwindigkeit von >3,4 m/s zu einem deutlich anderen Ergebnis.

Diskussion

Falls in leistungsdiagnostischen Untersuchungen lediglich die Frage beantwortet werden soll, ob sich die Ausdauer eines Sportlers verbessert oder verschlechtert hat, bzw. gleich geblieben ist, spielt die Methodik keine Rolle.

Werden hingegen laktatbezogene Trainingshinweise erwartet, sollten die o.a. methodischen Einflüsse beachtet werden und die Gesamtdauer einer Leistungsdiagnostik einer kleinen Dauerlaufeinheit von 35–45 min entsprechen.

Üblicherweise vermittelt der Diagnostiker konkrete Trainingsvorschläge für ein Grundlagenausdauertraining (GA1), z.B. Dauerlaufgeschwindigkeiten entsprechend einer Laktatkonzentration von 2 mmol/l für den Trainer bzw. Spieler. Während dies durchaus aus der Felduntersuchung möglich ist, führt eine aus der Laboruntersuchung abgeleitete 2 mmol/l-Empfehlung zu anaeroben Energieverhältnissen ≥ 4 mmol/l (vgl. vertikaler Pfeil in Abb. 4).

Eine solche intensive anaerobe Trainingsbelastung im Dauerlauf kann jedoch eine Stagnation der aeroben Leistungsfähigkeit nach sich ziehen [9,10], besonders in Verbindung mit anderen intensiven Trainingseinheiten im Fussballtraining.

Laboruntersuchungen bieten in der Regel standardisierte und gut reproduzierbare technische und klimatische Bedingungen, die gute Vergleiche der Testresultate erlauben. Auch aus Laufbanduntersuchungen können unter der Voraussetzung einer langen Stufenbelastung von 7–9 min ab einer Intensität, bei der eine Laktatakkumulation eintritt bzw. Kenntnis und Korrektur der erhaltenen Daten aus Ergebnissen einer 3-minütigen Stufendauer, Trainingshinweise gegeben werden.

Laufspezifischere Feldstufentests bieten bei normalen klimatischen Bedingungen seit 40 Jahren direkt präzise und realistische Ergebnisse zur aeroben Trainingssteuerung, sodass wir in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Deutschen Fussball-Bundes (Sammer M, A. Schlumberger, J. Wieber) [11] diese Methodik, wie sie auch im Hockey, Handball und in den Individual-Ausdauersportarten weltweit durchgeführt wird, favorisieren [3,12,13] u.a.
Zusätzlich liegen erhebliche ökonomische Vorteile vor, da in Abhängigkeit von der Methodik bzw. Untersucherzahl in 45 min leicht 8–12 Personen getestet werden können.

endurance level that was too high, as can be seen from the single example of a U19 football player in a comparative study *(fig. 4)*.

The player was initially put through an outdoor work load test involving four work load levels (3.03, 3.33, 3.7 and 4 m/s) with a work load duration of 8–9 min (staggered increase: 0.3 m/s; total duration: 34:08 min). The aerobic/anaerobic threshold was identified as being **3.73 m/s**. Four days later, as part of a sport medical examination a treadmill test was conducted with nine 3-minute work load periods extending from 2.0 to 4.0 m/s (staggered increase: 0.25 m/s). The aerobic/anaerobic threshold was calculated as being **4.01 m/s** or **0.28 m/s higher**.

As presented in fig. 3 the outdoor work load test with a total work load period three times as long leads as of a running speed of > 3.4 m/s to a significantly different result.

Discussion

Should the performance diagnostic test simply be intended to answer whether an athlete's endurance has improved, deteriorated or remained unchanged, then the method used is of no consequence.

However, if by contrast the intention is to obtain lactate-based information for training management then the above-mentioned methodological influences should be borne in mind and the total duration of the exercise work load test used for diagnostic purposes correspond to the duration of a minor endurance run of 35–45 min.

Typically, the diagnostic information thus obtained provides the basis for the coach to provide the athlete/player with objective training suggestions for base endurance training (BET1), e.g., endurance run speeds in line with a lactate concentration of 2 mmol/l. While this is definitely possible on the basis of an outdoor work load test, if the 2 mmol/l level is derived from a lab test, it actually results in anaerobic energy utilization of ≥ 4mmol/l (see the vertical arrow in fig. 4).

An anaerobic training work load of such an intensity as an endurance run can potentially lead to stagnation of the aerobic performance capacity [9,10], especially in connection with other intensive training sessions as part of football training.

Lab tests as a rule provide standardized and easily replicated technical and climatic conditions that deliver test results that can be easily compared. Moreover, treadmill tests can, assuming that the work load period is sufficiently long, namely 7–9 min., and as of an intensity in which lactate accumulates in the muscles, provide information on which training proposals can be given and or information on how the data from the results of a 3-minute work load period needs to be corrected.

Assuming normal climatic conditions, running-specific outdoor work load tests have for 40 years now provided direct, precise and realistic results on which to base aerobic training management, and we therefore favor this method, in keeping with the German Football Association DFB recommendations (Sammer, M. A. Schlumberger, J. Wieber) [11]; indeed, the method is used in hockey, handball and the various individual endurance sports disciplines the world over [3,12,13], etc.

Moreover, there are considerable economic advantages, as depending on the methodology and/or number of test participants in the space of 45 min 8–12 persons can easily be tested.

Korrespondenzadresse

Dr. sportwiss. Reiner Föhrenbach
Arbeitsschwerpunkt:
Ausdauerdiagnostik,
Trainingssteuerung
Institut für Sportdiagnostik
Sprendlinger Landstraße 181c,
63069 Offenbach
info@sportdiagnostik.de
www.sportdiagnostik.de

Literaturverzeichnis

1. Mader, A., H. Liesen, H. Heck, H. Philippi, R. Rost, P. Schürch, W. Hollmann: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt u. Sportmedizin 27:80,112,1976.*
2. Buhl, H., K.-P. Löffler, R. Häcker: Stoffwechselverhalten im aerob-anaeroben Übergangsbereich (AANÜB) im Mehrjahresaufbau von Nachwuchssportlerinnen im Mittelstreckenlauf unter dem Aspekt der anaeroben Leistungsfähigkeit *In: Die trainingsphysiologische und klinische Bedeutung der anaeroben Kapazität. Hrsg. N. Bachl, P. Baumgartl, G. Huber, j. Keul. ATK-Kongress, St. Johann, 1985.*
3. Föhrenbach, R. A. Mader, W. Hollmann*:* Umfang und Intensität im Dauerlauftraining von Mittelstreckenläuferinnen des DLV und Massnahmen zur individuellen Trainings- und Wettkampfoptimierung, *Leistungssport 6, 467 (1981).*
4. Föhrenbach, R.: Leistungsdiagnostik, Trainingsanalyse und -steuerung bei Läuferinnen und Läufern verschiedener Laufdisziplinen. Hartung-Gorre, Konstanz 1986 (Dissertation).
5. Margaria, R.,P. Ceretelli, P. Aghemo, G. Sassi: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol, 18:367-370 (1963)*
6. Pugh, L.G.C.E.: Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *J. Physiol. 207:823-835 (1970).*
7. Heck, H., A. Mader, G. Hess, S. Mücke, R. Müller, W. Hollmann: Justification of the 4-mmol/l Lactate Threshold. *Int. J. Sports. Med. 6 (1985) 117-130, Georg Thieme Verlag Stuttgart N.Y.*
8. Heck, H.,A. Mader, H. Liesen, W. Hollmann: Vorschlag zur Standardisierung leistungsdiagnostischer Untersuchungen auf dem Laufband. *D. Ztschr. Sportmed. 33, Heft 9 (1982) 304-307).*
9. Kunze, Norbert: Verhalten der Ausdauerleistungsfähigkeit während der Trainingsperioden eines Jahreszyklus bei Nachwuchsmittelstrecklerinnen, *Dipl.-Arbeit, DSHS Köln 1981.*
10. Heck, H.; M. Noack, N. Kunze; , B. Büngener, W. Hollmann: Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Trainingsintensität bei Nachwuchsmittelstrecklerinnen. *In: Die trainingsphysiologische und klinische Bedeutung der anaeroben Kapazität. Hrsg. N. Bachl, P. Baumgartl, G. Huber, J. Keul. ATK-Kongress, St. Johann, 1985*
11. Sammer, M., A. Schlumberger, J. Wieber: Basis-Testbatterie zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Fußball, *Deutscher Fußballbund, 2010*
12. Föhrenbach, R., J. Buschmann, A. Mader, W. Hollmann: Speed and Endurance in soccer: A Comparison of professional and amateur players. *Science & Football, p. 24-30 (1993).*
13. *Föhrenbach R., U. Frick, M. Göbel, P. Nagel, R. Stutz, D. Schmidtbleicher, D. Böhmer:* Dauerlauf – versus Intervalltraining bei Fußballspielern. (Der Einfluss eines metabolisch gesteuerten Dauerlauf bzw. Schnelligkeitsausdauertrainings auf die aerobe Kapazität von Fußballspielern.) Dtsch. Z. Sportmed. 4 (1991).