



K. Röcker,
O. Schotte, A. Niess,
H.C. Heitkamp, H.-H. Dickhuth

Laufbandtestdaten und Wettkampfprognosen für den Langstreckenlauf

Treadmill testing and the prediction of race results in distance running

Medizinische Klinik und Poliklinik, Abteilung Sportmedizin,
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Zusammenfassung

Die sogenannte „Individuelle Anaerobe Schwelle“ nach *Dickhuth et al.* („IAS“) entspricht einer Leistung bei einem vorgegebenem Netto-Anstieg der Laktatkonzentration bei Belastung. Die Bestimmung der „IAS“ wird im Laufsport zur Einstellung der Trainingsintensität auf einen Stoffwechselzielbereich eingesetzt. Häufig wird jedoch auch versucht, mit Hilfe der „IAS“ eine mögliche Ausdauerwettkampfleistung zu prognostizieren. Die vorliegende Übersicht soll einerseits eine statistische Übersicht über eine Zahl von $n=5722$ „IAS“-Bestimmungen bieten (3883 Männer, 1839 Frauen). Im zweiten Teil soll mit einer Untergruppe von Wettkampfsportlern (339 Männer, 87 Frauen, Alter $32,5 \pm 10,14$ Jahre, Trainingsalter $7,1 \pm 5,53$ Jahre, Training $77,9 \pm 35,63$ Kilometer/Woche) der Gebrauch der „IAS“ für Wettkampfprognosen zusammen mit einem Satz unabhängiger Parameter evaluiert werden. Alle Probanden wurden in einem Mehrstufentest auf dem Laufband (Anfangslaufgeschwindigkeit $4, 6$ oder $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, Inkrement $2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, Stufendauer 3 min) bis zur Ausbelastung untersucht. Die „IAS“ wurde als Laufgeschwindigkeit bei einem Netto-Anstieg der Laktatkonzentration von $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ oberhalb der Laktatkonzentration der „lactate threshold“ angegeben. Aus dem Vergleich zwischen „IAS“ und durchschnittlicher Wettkampflaufgeschwindigkeit ergaben sich bereits signifikante Korrelationen ($r = 0,88$ bis $0,93$), die nach schrittweiser Regression und Einbeziehung weiterer Parameter wie Trainingsalter, Trainingsumfang, maximaler Laktatkonzentration etc. jeweils noch deutlich verbessert werden

konnten ($r=0,949$ bis $0,968$). Der parallele Verlauf der jeweiligen Regressionsgeraden zu den Identitätsgeraden läßt neben dem aeroben energieliefernden System die Unabhängigkeit mindestens eines zweiten leistungsbestimmenden Faktors erkennen.

Schlüsselwörter: Individuelle anaerobe Schwelle, Trainingssteuerung.

Summary

The so-called „individual anaerobic threshold“ (IAT) as defined by *Dickhuth et al.* corresponds to performance at a predefined net increase in lactate concentration. The „IAT“ is used for assigning training intensity to the desired metabolic range. In addition, however, attempts are made in preparation for competition to use the „IAT“ to predict endurance competition performance or to control training effectiveness. This paper first shows a statistical view to $n = 5722$ „IAT“-measurements (3883 men, 1839 women). On the other hand competitive runners were selected from the larger group in order to test the prediction probability of the „IAT“ for various running distances (339 men, 87 women, age 32.5 ± 10.14 years, training age 7.1 ± 5.53 years, training 77.9 ± 35.63 km/week). All tested persons performed an incremental treadmill test (starting speed $4, 6$ or $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, increments $2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, increment duration 3 min) to exhaustion. The „IAT“ was defined as the running speed at a net increase in lactate concentration $1.5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ above the lactate concentration at the lactate threshold LT. Significant correlations

($r=0.88$ to 0.93) with the mean competition speed were found for the competition distances and could be increased using stepwise multiple regression with an additional parameter set. A parallel curve of the lines of identity with the lines of regression indicates the independence of at least a second independent performance-determining factor beside the aerobic work capacity.

Keywords: individual anaerobic threshold, performance prediction.

Einleitung

Der Begriff anaerobe Schwelle“ wurde von *Wasserman et al.* (36) zur Messung der aeroben Kapazität von Patienten eingeführt. Eine Leistung oberhalb dieser „anaeroben Schwelle“ ist nach dieser Definition durch die Entwicklung einer zunehmenden metabolische Azidose gekennzeichnet („a performance at which a sustained metabolic acidemia results“ (36)). Der wesentliche Vorteil der Bestimmungsmethode der „Anaeroben Schwelle“ war seinerzeit, daß im Unterschied zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme Patienten zur Feststellung ihrer aeroben Leistungsfähigkeit nicht bis zur völligen körperlichen Erschöpfung belastet werden mußten. Im Widerspruch zur Tatsache, daß aus physiologischer Sicht zwischen den Parametern des Gasstoffwechsels und der Blutlaktatkonzentration eigentlich keine direkte Übereinstimmung besteht, wurde im Verlaufe der 70er Jahre versucht, das Wasserman'sche Schwellenkonzept auf den Anstieg der Laktatkonzentration zu übertragen (2, 4, 12, 15, 18). Mittlerwei-



le hat sich die Leistungsdiagnostik durch Laktatmessung vor allem in der Betreuung von Sportlern hierzulande gegen die ergospirometrische Diagnostik weitestgehend durchgesetzt (5, 15, 26, 35). Die Anwendung der Laktatdiagnostik hat hierbei inzwischen selbst in der Beratung von Freizeitsportlern und Patienten weite Verbreitung erlangt, sodaß allein für diesen weiten Bereich die Darstellung eines größeren Ergebniskollektivs zu Vergleichszwecken sinnvoll erscheint.

Das wesentliche methodische Problem der Laktatmessung zum Zwecke der Leistungsbeurteilung ist, daß die Laktatkonzentration nur diskontinuierlich bestimmt werden kann. Zur Beurteilung der Verlaufskinetik der Laktatkonzentration bei Belastung ist daher der Einsatz graphisch interpolierender Verfahren unabdingbar. Vielerorts fanden hierzu polynomische Interpolationsverfahren Anwendung (2, 13, 23, 24), die jedoch aufgrund ihrer immanent stetigen Steigung nicht dem biphasischen Charakter der Laktatkurve (20) gerecht werden. In der vorliegenden Arbeit kommt ein sogenanntes ausgleichendes SPCINE-Interpolationsverfahren zur Darstellung, um dieses Problem zu minimieren.

Zudem ist die biologische Bedeutung des Verlaufs der Laktatentstehung bei Belastung bis heute noch unsicher (4, 13). Vor dem Hintergrund dieser methodischen und theoretischen Unklarheiten wurden in der Vergangenheit unterschiedlichste Verfahren zur Ermittlung einer Laktatschwelle vorgeschlagen (8, 11, 12, 14, 31). Die inzwischen gebräuchlichen Konzepte haben sich zumeist nur über die praktische Anwendungserfahrung bewährt und blieben ihre theoretische Begründung schuldig (8, 9, 12, 31).

Auch in der vorliegenden Arbeit wird eine Methode eingesetzt, die auf einem

teilweise empirischen Ansatz beruht. Nicht zuletzt aufgrund der empirischen Natur dieses Meßwertes soll dessen Aussagefähigkeit in der Zusammenschau mit anderen, leicht erfaßbaren Daten geprüft und dargestellt werden.

Neben der Darstellung der statistischen Verteilung der Meßwerte aus einer Vielzahl von Laufbandtests soll in der vorliegenden Arbeit mit einer größeren Datenmenge eine aktualisierte Bewertung der Meßdaten aus der Laufbandergometrie für die Vorhersage von Wettkampfleistungen erstellt werden. Hierbei soll eines der gängigen Konzepte zur Bestimmung einer „individuellen anaeroben Schwelle“ (IAS) im Zusammenspiel mit zusätzlichen Meßwerten sowie anamnestischen Angaben der Läufer besondere Berücksichtigung finden.

Methoden

Probanden

Für die Gesamtübersicht kamen die Ergebnisdaten von 5722 Sporttreibenden (1839 Frauen, 3883 Männer) zu Auswertung, die im Verlaufe von 4 Jahren im Rahmen sportmedizinischer Untersuchungen einen Laufbandtest absolvierten. Das Gesamtkollektiv wurde eingeteilt in eine Gruppe, die Schnellkraft- und Spielsportarten betrieben (SK; weiblich

n=1119, männlich n=1637), sowie einer Gruppe mit Ausdauersporttreibenden (AD; weiblich n=720, männlich n=2246). Bei einer Teilmenge des o.g. Kollektivs von 426 Probanden (87 Frauen, 339 Männer) wurden die korrespondierenden Wettkampf- und Trainingsdaten erfaßt. Diese ausgewählten Personen waren allesamt stoffwechselgesund und nahmen regelmäßig an Laufwettkämpfen teil. Zwischen dem Laufbandtest und dem Wettkampfdatum lag eine maximale Zeitspanne von zwei Monaten. Die anthropometrischen Daten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Belastungsuntersuchung

Alle Probanden wurden in einem Mehrstufentest auf dem Laufbandergometer (Fa. HP Cosmos, Traunstein oder Jaeger Laufergotest, Würzburg) bis zur subjektiven Erschöpfung belastet. Die Anfangsgeschwindigkeit betrug je nach vorbekannter Leistungsfähigkeit des Sportlers 4, 6 oder 8 km · h⁻¹, die Steigerung betrug jeweils 2 km · h⁻¹ bei einer Stufendauer von 3 Minuten. Die Laufbandsteigung betrug 2%. Bei dieser Steigung besteht für den verwendeten Laufbandtyp eine hohe Übereinstimmung zwischen Laufbandtempo und dem Lauftempo auf der Kunststoffbahn und der Straße (27). Die Temperatur von 20° ± 1° C bei einer rel. Luftfeuchte von 50 ± 5 % wurde im Belastungsraum durch eine Vollklimatisierung konstant reguliert.

Tabelle 1: Parametersatz für die multiple Regressionsanalyse.

Parameter	Beschreibung
IAS	„Individuelle anaerobe Schwelle“ (km·h ⁻¹)
HF (IAS)	Herzfrequenz an der IAS (Schläge·min ⁻¹)
HF (max)	maximale Herzfrequenz (Schläge·min ⁻¹)
LT	Laufgeschwindigkeit an der lactate threshold (km·h ⁻¹)
v (4mmol/l)	Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol·l ⁻¹ Laktat (km·h ⁻¹)
v (max)	maximale Laufbandgeschwindigkeit (km·h ⁻¹)
La (Ruhe)	Laktat in körperlicher Ruhe (mmol·l ⁻¹)
La (LT)	Laktat an der LT (mmol·l ⁻¹)
La (max)	maximale Laktatkonzentration (mmol·l ⁻¹)
VC	Vitalkapazität (l)
Trainings-km	durchschnittliche wöchentliche Laufstrecke (km·Woche ⁻¹)
Trainingsalter	Jahre seit Trainingsbeginn (Jahre)
Alter	Lebensalter (Jahre)
Körpergewicht	(kg)
Körpergröße	(cm)
Körperfett	Gesamtkörperfett nach Hautfaltenmessung (Lit)

Tabelle 2: Anthropometrische Daten.

	Gesamtkollektiv	Wettkämpfer
	n = 5722	n = 426
Gewicht (kg)	65,1 ± 18,1	66,2 ± 9,0
Größe (cm)	173,1 ± 11,4	175,4 ± 8,3
Alter (Jahre)	26,5 ± 12,2	32,3 ± 10,2
Laufkilometer (km/Woche)	—	78,3 ± 35,9
Trainingsalter (Jahre)	—	7,1 ± 5,5

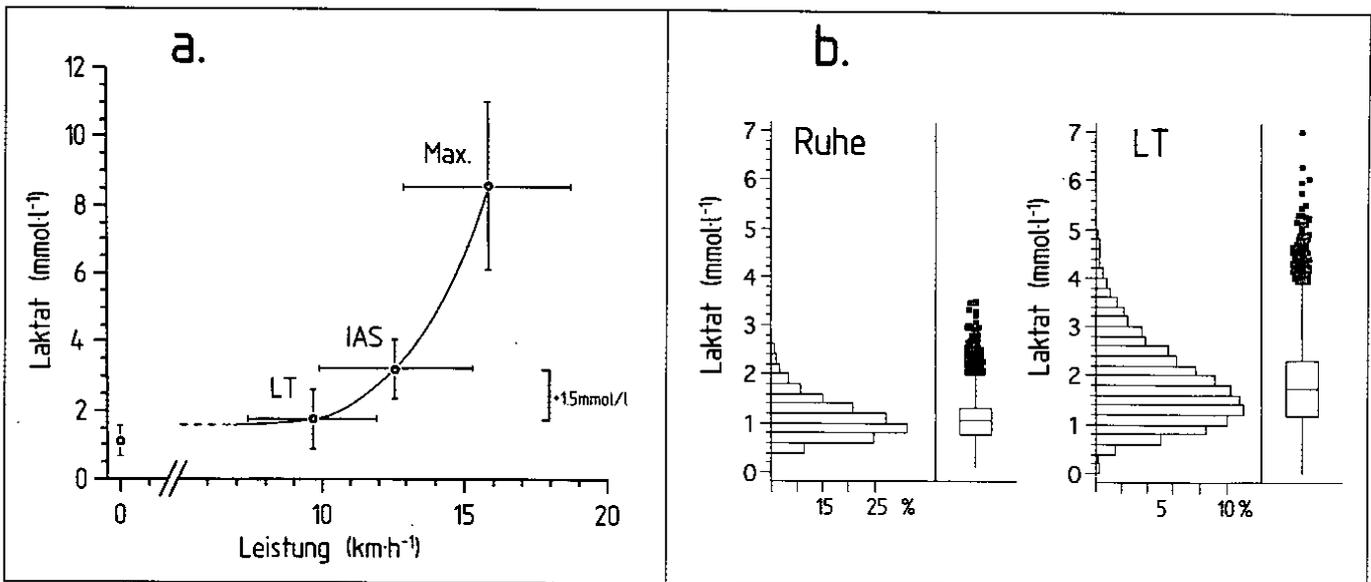


Abbildung 1a: Mittelwerte der Ergebnisdaten aus dem Laufbandmehrstufentest (n=5722). LT lactate threshold, IAS „Individuelle anaerobe Schwelle“ nach dem Prinzip $LT + 1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Dargestellt sind jeweils Mittelwerte und Standardabweichung der Laufgeschwindigkeit und der Laktatkonzentration.

Abbildung 1b: Verteilung der Laktatkonzentration im Gesamtkollektiv in Ruhe (La(Ruhe)) und an der LT (La(LT)).

Aus dem hyperämisierten Ohrläppchen wurde in Ruhe, nach Ende jeder Belastungsstufe, sowie 1 min, 3 min und 5 min nach Belastungsende Kapillarblut zur Messung der Laktatkonzentration entnommen. Die Analyse erfolgte im hämolysierten Vollblut mit einer halbautomatischen, enzymchemischen Methode (Eppendorff ESAT, D). Die Herzfrequenz wurde in Ruhe und zum Ende der jeweiligen Belastungsstufe mit Oberflächen-EKG ausgewertet.

„Individuelle Anaerobe Schwelle“, Dauerleistungsgrenze

Die sogenannte „Individuelle anaerobe Schwelle“ (IAS) wurde auf der Grundlage des Konzeptes nach *Dickhuth et al.* (8,9) berechnet. Zur untersucherunabhängigen Berechnung der „IAS“ diente eine eigene PC-Routine (Borland C++), die den Kurvenverlauf zwischen den einzelnen Laktatmeßwerten per SPLINE-Prozedur (30) fehlerausgleichend interpretiert. Aus dem interpolierten Kurvenverlauf wurde die lactate threshold (LT) über das Minimum des Quotienten Laktat/Leistung als Beginn des Anstiegs der Laktatkonzentration ermittelt (Abb. 1a). Die „IAS“ wird beim o.g. Prinzip als Laufgeschwindigkeit bei einer Laktatkonzentration von $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ über der Laktatkonzentration an der LT definiert.

Aus dem geglätteten Verlauf der Laktatkonzentration wurde zusätzlich auch die Laufgeschwindigkeit bei $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Laktat $v(4 \text{ mmol/l})$ sowie die Laktatkonzentration an der LT $La(LT)$ bestimmt. Aus der ebenfalls geglätteten Herzfrequenzkurve wurde die Herzfrequenz an der „IAS“ $HF(IAS)$ und die Herzfrequenz an der LT $HF(LT)$ berechnet.

Statistik

Die Datenerfassung und Selektion erfolgte über ein relationales Datenbanksystem auf PC-Basis (ORACLE™ über SQL). Die statistischen Berechnungen wurden mit JMP (SAS Institute, Cary, USA) und Kaleida-Graph (Abelbeck, USA) auf einem PC (Apple Macintosh, USA) durchgeführt. Alle Werte sind in Mittelwert und Standardabweichung angegeben. Unterschiede zwischen Mittelwerten wurden per ANOVA und Student's t-Test geprüft. Als statistisch signifikant wurde hierbei ein $p < 0,001$ angesehen. Zur Darstellung des einfachen Vorhersagewertes wurde das Verfahren der linearen Regression, bei Häufigkeitsverteilungen Percentilen-Plots verwendet. Der Einfluß zusätzlicher unabhängiger Variablen auf die Wettkampfleistung wurde über eine „Forward Stepwise Regression“ geprüft (1). Als Eingangswahrscheinlichkeit für dieses Verfahren wurde ein Wert von $p < 0,250$ gewählt.

Parametersatz

Für jede der Wettkampfstrecken wurde in der stepwise Regression derselbe Parametersatz verwendet (Tab. 1). Es ist zu beachten, daß die aufgeführten Parameter in der Modellbildung keine Verwendung finden, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit zu gering ist (d.h. $p > 0,250$).

Ergebnisse

Die Ruhelaktatkonzentration betrug beim Gesamtkollektiv $1,11 \pm 0,42 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und lag an der LT mit $1,83 \pm 0,86 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ statistisch signifikant höher. Bei $La(Ruhe)$ zeigte sich eine zwar statistisch signifikante, jedoch zahlenmäßig eher geringe Differenz zwischen Frauen und Männern (Frauen $1,07 \pm 0,41 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ vs. Männer $1,13 \pm 0,42 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$). Interessanterweise findet sich im Vergleich zwischen der SK und AD-Gruppe keine signifikante Differenz für $La(Ruhe)$, wohl aber hinsichtlich $La(LT)$, wo sich für die Gruppe SK mit $2,12 \pm 0,88 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ein deutlich höherer Wert findet als für die AD-Gruppe ($1,56 \pm 0,73 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$). Allerdings ergibt sich hinsichtlich der $La(max)$ kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen AD und SK. Bemerkenswert ist das Auftreten von Einzel-

WISSENSCHAFT

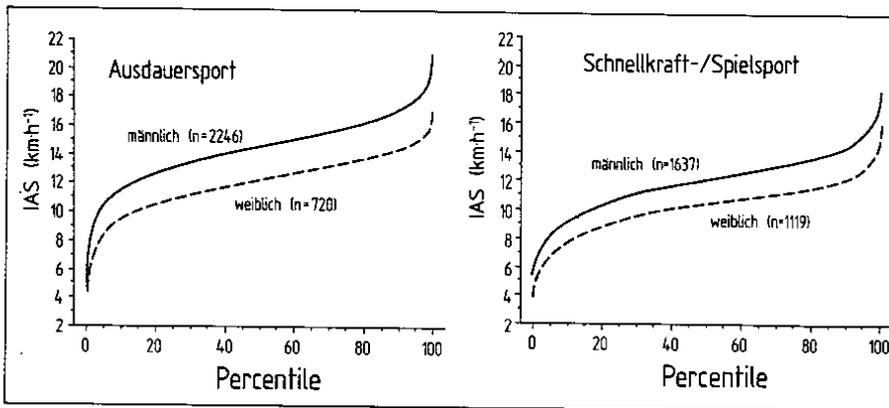


Abbildung 2: Perzentilverteilung der Ergebnisdaten für die „individuelle anaerobe Schwelle“ (IAS) in $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ bei Aufteilung der Probanden in die Gruppen Schnellkraftsport SK und Ausdauersport AD.

werten von bis zu $3,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ für La(Ruhe) und bis zu etwa $6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ für La(LT) bei allen Probanden-Gruppen (Abb. 1b).

Die Zugehörigkeit zu den Ausdauersportarten kommt bei Gruppe AD durch eine signifikant höhere $v(\text{max})$ (AD $17,15 \pm 2,69 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ vs. SK $14,4 \pm 2,49 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), $v(\text{IAS})$ (AD $13,81 \pm 2,46 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ vs. SK $11,3 \pm 2,25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) und niedrigere HF(Ruhe) (AD $63,14 \pm 13,4 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ vs. SK $74,3 \pm 16,3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) und HF(max) (AD $189,4 \pm 15,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ vs. SK $196,3 \pm 16,3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) gegenüber SK zum Ausdruck.

Mit einer maximalen Laktatkonzentration von $8,3 \pm 2,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und einer maximalen Herzfrequenz von $187,1 \pm 15,2$ Schläge / min im Gesamtkollektiv waren die Probanden in aller Regel bis zu ihrer maximalen Erschöpfung ausbelastet. Bei einem maximalen Lauftempo von $18,01 \pm 2,31 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ lag die „IAS“ im Gesamtkollektiv bei einer Leistung von $14,77 \pm 1,95 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ entsprechend $82,0 \pm 10,8\%$ der maximal erreichten Laufge-

schwindigkeit. Die Verteilung der „IAS“ in den geschlechts- und sportartspezifischen Kollektiven ist in Abbildung 2 dargestellt.

Bereits die einfache lineare Regression zwischen der „IAS“ und den jeweiligen Wettkampfleistungen zeigte für die Wettkampfdistanzen jeweils statistisch signifikante Korrelationen ($p < 0,0001$, Tab. 4). Bemerkenswerterweise verliefen die Regressionsgeraden für alle Wettkampfdistanzen parallel zur jeweiligen Identitätsgeraden. Dies entspricht für die Prädiktion einer aufzuaddierenden Konstante zur „IAS“. Die ähnliche Steigung der Geraden entspricht dem multiplikativen Faktor nahe dem Zahlenwert 1 (Tab. 3).

In der einfachen Regression ergab sich für die Laufgeschwindigkeit über die kürzeren gegenüber den langen Wettkampfstrecken eine deutlich schlechtere Korrelation zur „IAS“ bei einer höheren Übereinstimmung zur $v(\text{max})$. Zur LT waren die Korrelationen jeweils nicht signifikant. Mit der fixen Laktatkonzen-

Tabelle 3: Laufzeiten im Wettkampf und Regressionsgeraden zwischen der durchschnittlichen Wettkampf-Laufgeschwindigkeit gegen die Laufgeschwindigkeit an der „IAS“. Mehrfachbelegungen sind möglich.

Wettkampfstrecke	Wöchentl. Laufkilometer ($\text{km} \cdot \text{Woche}^{-1}$)	n	Wettkampfzeit (s)	Regressionsgerade Ø Wettkampftempo vs. „IAS“ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1 500m	$83,7 \pm 28,9$	62	$251,5 \pm 24,8$	$1,75 + 0,96 \cdot \text{IAS}$
5 000m	$89,8 \pm 31,4$	119	$983,7 \pm 113,4$	$0,64 + 1,03 \cdot \text{IAS}$
10 000m	$75,1 \pm 36,9$	238	$2280,3 \pm 343,4$	$0,20 + 1,05 \cdot \text{IAS}$
Halbmarathon	$85,4 \pm 39,6$	96	$4998,8 \pm 812,8$	$-0,75 + 1,23 \cdot \text{IAS}$
Marathon	$83,4 \pm 39,1$	175	$11172,8 \pm 1816,5$	$-0,61 + 1,10 \cdot \text{IAS}$

tration von $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($v(4\text{mmol/l})$) hingegen konnten auf allen Laufdistanzen nur schlechtere Korrelationen gefunden werden als gegen die „IAS“.

Tabelle 5 enthält das Ergebnis der multiplen Regression zwischen dem verwendeten Parametersatz (Tab. 1) und den jeweiligen durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten. Die Tabelle enthält jeweils in absteigender Rangfolge diejenigen Parameter, die hinsichtlich der gewählten Eingangswahrscheinlichkeit von $p < 0,250$ in die Vorhersagemodelle einbezogen werden konnten. Gemäß dieser Rangfolge ist die „IAS“ für die Laufstrecken 10000 m, Halbmarathon und Marathon bei Einbeziehung der anderen Parametern der jeweils bedeutsamste Prädiktor. Im Gegensatz hierzu kommt das Vorhersagemodell für den 1500 m-Lauf völlig ohne die „IAS“ aus, sondern enthält die $v(\text{max})$ als ranghöchsten Prädiktor. Im Vergleich zwischen allen untersuchten Wettkampfdistanzen ergab sich die höchste Vorhersagewahrscheinlichkeit für den Halbmarathonlauf ($r=0,968$). Die tatsächliche Verteilung zwischen dem Ergebnis des Vorhersagemodells und der erzielten Laufgeschwindigkeit ist in Abb. 3 dargestellt.

Diskussion

Aus der vorliegenden Untersuchung geht hervor, daß die „Individuelle Anaerobe Schwelle“ im Vergleich zu den anderen getesteten Parametern der stärkste Prädiktor der spezifischen Leistungsfähigkeit für längere Laufdistanzen ist. In Ergänzung zu früheren Studien anderer Arbeitsgruppen (16, 25, 29, 32, 33) erweist sich, daß unter Einbeziehung der Laufgeschwindigkeit an der „IAS“ eine breite Spanne von verschiedenen Wettkampfdistanzen mit vergleichsweise hoher Genauigkeit vorhergesagt werden könnte.

Je kürzer die Laufstrecke allerdings wird, desto stärker rücken die Maximalmeßwerte als Prädiktoren in der Rangfolge nach oben. Die „IAS“ findet zum Beispiel über die 1500 m-Laufstrecke als Prädiktor keine Berücksichtigung mehr. Dies kann als Hinweis für den hohen Einfluß anaerob-laktazider Energiebereitstellung in der Ausprägung der Wettkampfleistung im Mittelstreckenlauf angesehen werden, wenn man gleichzeitig



Tabelle 4: Unabhängige Korrelationen zwischen Wettkampftempo und Parametern der Leistungsdiagnostik. „IAS“ Individuelle anaerobe Schwelle, LT „lactate threshold“, v (4mmol/l) Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol · l⁻¹ Blutlaktatkonzentration, v (max) Maximale Laufgeschwindigkeit im Mehrstufentest. * = p < 0,0001.

Laufstrecke	IAS	LT	v (4mmol/l)	v (max)
1 500m	0,86*	0,74	0,82	0,91*
5 000m	0,91*	0,73	0,88*	0,93*
10 000m	0,93*	0,79	0,91*	0,87*
Halbmarathon	0,935*	0,76	0,91*	0,88*
Marathon	0,93*	0,81	0,81	0,87*

der Vorgabe folgt, daß durch die „IAS“ primär die aerob-oxidative Leistungsfähigkeit gemessen wird.

Auch wenn die „IAS“ vor allem als Kontrollwert für die Zuordnung von Ausdauertraining zu einem gewünschten metabolischen Bereich Verwendung findet (5, 21), wird in der Praxis häufig auch eine Leistungsprognose mit der „IAS“ versucht (23, 34). Hierbei gilt, daß vor allem für die lange Wettkampfstrecke Marathonlauf eine Orientierung zur Verlässlichkeit der Leistungsvorhersage und Wettkampftempo-Empfehlung im Laufbandtest von hoher Bedeutung ist. Ein „Testwettkampf“ als spezifischste Leistungskontrolle (27, 28) kann beim Marathon nicht praktiziert werden. Selbst Eitelläufer sind aufgrund der hohen strukturellen Belastung nicht in der Lage, mehr als zwei bis drei Marathonstarts pro Jahr zu bestreiten. Für die kürzeren Laufstrecken dürfte jedoch ein Kurzwettkampf oder aber ein Maximaltest vor dem Hintergrund der gezeigten Daten besser verwertbar sein. Allerdings kann eine Maximalbelastung über kürzere Laufdistanzen - wenn eine Vorhersage für die entsprechende Laufstrecke überhaupt notwendig ist - meist gut in die Trainingsmethodik integriert werden.

Tabelle 5: Ergebnis der schrittweisen Regression zwischen einem vorgegebenen Parametersatz (s. Tabelle 1 und Methodikteil) und der Laufgeschwindigkeit auf den unterschiedlichen Wettkampflaufdistanzen. Die Tabelle gibt unter „Schritt“ die absteigende Rangfolge der Modell-Parameter wieder. Die tatsächliche Verteilung zwischen Modell und Realität ist in Abb. 1 dargestellt. Parametersatz siehe Tabelle 1.

Laufstrecke	Rang	Schritt	r	p	Faktor	Std.-Fehler
1500		Achsenabschnitt			3,124	3,322
	1.	v (max)	0,911	< 0,0001	0,618	0,086
	2.	Trainings-km	0,918	0,0918	0,024	0,0057
	3.	Alter	0,931	0,020	-0,023	0,014
	4.	HF (IAS)	0,937	0,0989	0,022	0,010
	5.	Gewicht	0,941	0,1210	0,034	0,024
	6.	La (max)	0,945	0,216	-0,105	0,052
7.	Größe	0,953	0,0887	-0,002	0,022	
5000		Achsenabschnitt			3,404	1,389
	1.	v (max)	0,931	< 0,0001	0,683	0,125
	2.	IAS	0,942	< 0,0007	0,274	0,137
	3.	Körperfett	0,951	0,0011	-0,050	0,020
	4.	HF (max)	0,954	0,0553	-0,006	0,0065
5.	La (max)	0,956	0,0895	-0,079	0,0431	
10000		Achsenabschnitt			3,652	1,095
	1.	IAS	0,930	< 0,0001	0,389	0,138
	2.	v (max)	0,940	< 0,0001	0,522	0,118
	3.	Trainings-km	0,943	0,0025	0,013	0,010
	4.	HF (IAS)	0,944	0,0773	-0,001	0,005
	5.	Gewicht	0,946	0,0496	-0,026	0,010
	6.	VC	0,947	0,1164	0,168	0,113
	7.	Trainingsalter	0,948	0,1888	0,013	0,010
8.	La (max)	0,949	0,2176	-0,051	0,041	
Halbmarathon		Achsenabschnitt			4,002	2,357
	1.	IAS	0,935	< 0,0001	0,627	0,142
	2.	Trainings-km	0,948	0,0013	0,0086	0,0034
	3.	v (max)	0,961	0,0157	0,434	0,12
	4.	HF (max)	0,962	0,0534	-0,020	0,0102
	5.	VC	0,964	0,0824	-0,476	0,118
	6.	Körperfett	0,966	0,1369	-0,051	0,022
7.	Trainingsalter	0,968	0,0987	0,043	0,0245	
Marathon		Achsenabschnitt			3,40	1,41
	1.	IAS	0,93	< 0,0001	0,546	0,102
	2.	Trainings-km	0,941	< 0,0001	0,013	0,002
	3.	HF (max)	0,948	0,017	-0,0155	0,006
	4.	Gewicht	0,951	0,0223	-0,0253	0,010
	5.	VC	0,954	0,009	0,164	0,102
6.	v (max)	0,955	0,1423	0,293	0,084	

Wie bei allen anderen Konzepten ist die physiologisch-theoretische Grundlage der vorliegenden Bestimmungsmethode der „IAS“ lückenhaft. Insbesondere erscheint aus diesem Grund der Begriff Schwelle im Grunde nicht gerechtfertigt. Allerdings geht die Berechnungsbasis der „IAS“ durch die Integration des physiologischen Basisparameters „lactate threshold“ (LT) zumindest teilweise auf ein physiologisch nachvollziehbares Konzept zurück. Durch Berücksichtigung der Laktatkonzentration an der LT wird bei diesem Verfahren die dargestellte deutliche Variation in der Ruhelaktatkonzentration ausgeglichen. Durch dieses Vorgehen entsteht eine höhere Unabhängigkeit der Meßergebnisse gegen die absolute Laktatkonzentration bei einer stärkeren Gewichtung der Kinetik der Laktatentstehung bei Belastung (27,28).

Der gezeigte schlechte prädiktive Wert von v(4mmol/l) steht im Widerspruch zu Empfehlungen anderer Arbeitsgruppen, in der Leistungsdiagnostik mit festen Laktatkonzentrationsvorgaben zu arbeiten (24). Bereits in körperlicher Ruhe

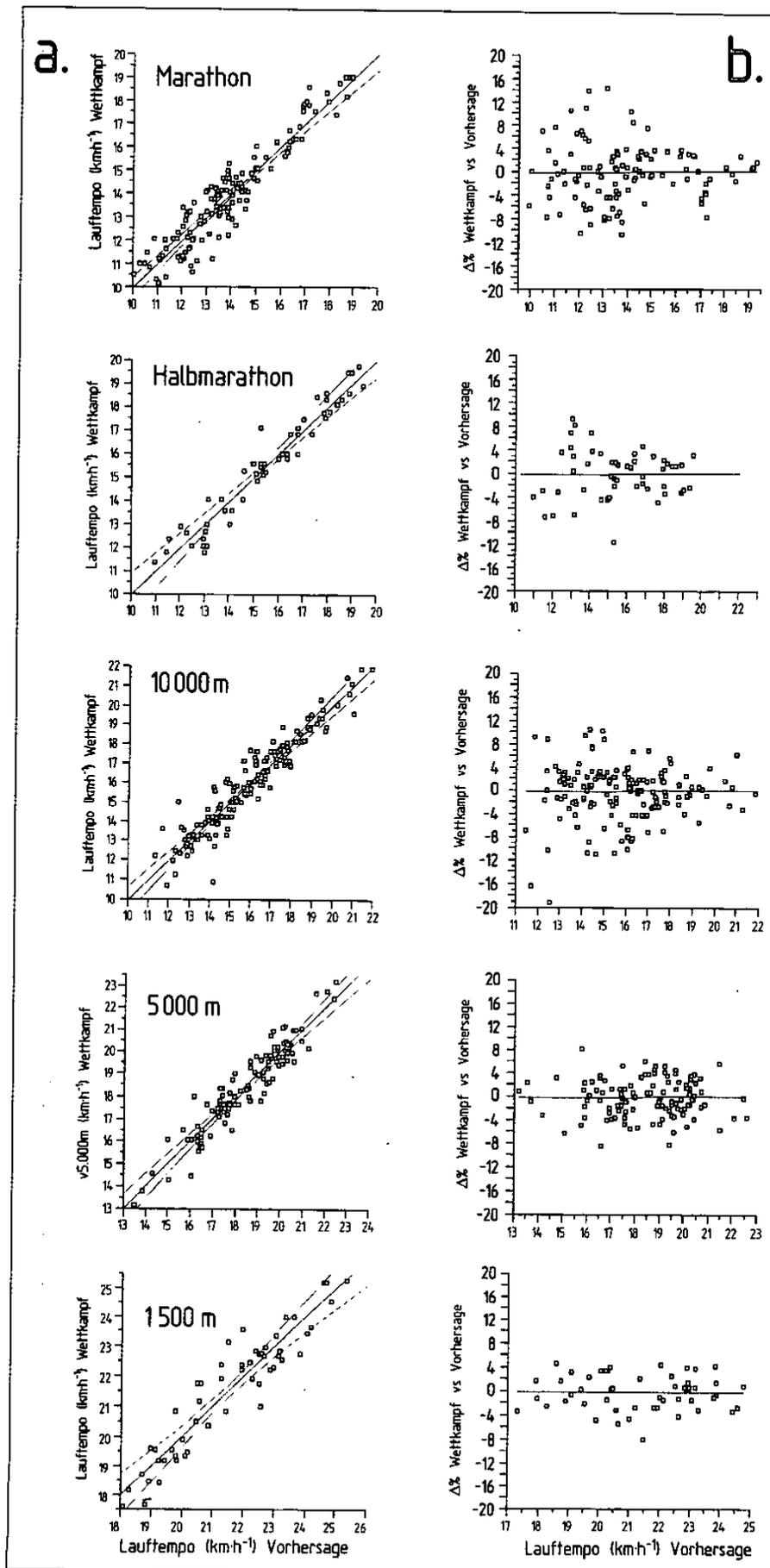


Abbildung 3 a: Lineare Regression der Modellrechnungen für die Prognose-Laufgeschwindigkeit vs. die tatsächlich erzielte durchschnittliche Wettkampfgeschwindigkeit für die jeweilige Lauflänge. Grundlage für die Berechnungen sind die in Tabelle 4 dargestellten Modelle.

Abbildung 3b: Prozentuale Abweichung zwischen der tatsächlichen Wettkampflaufgeschwindigkeit und der prognostizierten Laufgeschwindigkeit.

werden - auch bei den ausdauertrainierten Wettkampfsportlern - im Einzelfall Werte zwischen 0,4 und 3,5 mmol \times l⁻¹ gemessen. Diese natürliche Variationsbreite kann durch Ernährung (3), Vorbastung, Muskelfaserverteilung oder Verteilungsphänomene (4) bedingt sein. Der Umstand einer solch hohen grundsätzlichen Variabilität läßt ein leistungsdiagnostisches Verfahren, das die *Laktatkinetik* im Gegensatz zu Absolutwerten zur Grundlage hat, notwendig erscheinen (7). Das hier verwendete Verfahren der Addition einer Laktatkonstante zur Laktatkonzentration an der Lactathreshold entspricht dem Netto-Anstieg der Laktatkonzentration, gleichwohl das Ausmaß von 1,5 mmol \cdot l⁻¹ wiederum eine rein empirische, aus der Erfahrung abgeleitete Größe ist. Die Definition dieser Größe geht auf die Übereinstimmung mit der Marathonlaufgeschwindigkeit zurück (8, 9). Eine Modifikation des Belastungsprotokolls oder der Belastungsart würde nach diesem Prinzip auch die Anpassung der Konstante erforderlich machen.

Unsere Untersuchungen zeigen im Vergleich zur $v(\max)$ eine höhere Korrelation zwischen der Laufgeschwindigkeit an der „IAS“ und der jeweiligen Leistung vor allem in den längeren Laufstrecken. Dies bestätigt, daß mit der „IAS“ am ehesten die sogenannte „aerob-oxidative Arbeitskapazität“ erfaßt wird, die als wesentliche Größe für die Leistungsausprägung in den Ausdauersportarten gilt (7). Es zeigt sich zudem, daß die Regressionsgeraden bei allen untersuchten Laufstrecken zur jeweiligen Identitätsgeraden einen nahezu parallelen Verlauf aufweisen (Tab. 3). Diese Beobachtung bestätigt, daß neben der aerob-oxidativen Energiebereitstellung jeweils noch mindestens ein weiterer dominanter, von dem Ergebnis der „IAS“ weitgehend unabhängiger leistungsbestimmender Faktor



existiert (34, 37). Auf den kürzeren Laufstrecken ist dieser zweite Faktor am ehesten mit der sogenannten „anaerob-laktaziden Arbeitskapazität“ identisch (10). Erst ab einer bestimmten Belastungsdauer limitiert die Substratverfügbarkeit die Leistungsfähigkeit zusätzlich (6). Der abnehmende Einfluß der Maximalparameter $v(\max)$ und $La(\max)$ in der multiplen Regression bei zunehmender Wettkampfstreckenlänge unterstützt diese Überlegungen. Beide Maximalparameter dürften im Wesentlichen eher durch die anaerobe Arbeitskapazität determiniert sein.

Je länger die Wettkampflaufstrecke wird, desto eher wird die Substratverfügbarkeit und Glykogenspeichermenge als leistungsbestimmender Faktor angesehen (6). Der durchschnittliche Belastungsumfang eines Sportlers gilt hierbei neben der genetischen Voraussetzung als bestimmende Größe. So konnten auch *Sjödín et al.* in einer multiplen Regressionsanalyse den Trainingsumfang neben einer individuellen anaeroben Schwelle als wesentlichen zusätzlichen Parameter zur Bestimmung der Marathonleistung zeigen (29). Aus unseren Daten ergibt sich für den Parameter Trainings-km für die langen Laufstrecken Halb-Marathon und Marathon ein wesentlich höherer Einfluß als beim 1500 m- oder 5000 m-Lauf. Auf der anderen Seite findet sich die beste Vorhersagequalität mit $r = 0,968$ beim Halb-Marathonlauf. Eine mögliche Begründung für diesen Umstand dürfte darin liegen, daß eine Leistung im Halbmarathon zu einem geringeren Maße substratlimitiert sein dürfte, als beim doppelt so langen Marathon-Wettkampf. Andererseits ist der leistungslimitierende Einfluß der anaerob-laktaziden Energiebereitstellung aufgrund der Belastungsdauer bereits minimal.

Die Vorhersagequalität im Marathonlauf nimmt mit der Leistungsfähigkeit der Probanden zu, was an einer geringeren Streuung der Daten im höheren Leistungsbereich erkennbar wird. Hier dürfte einerseits der durchschnittlich höhere Trainingsumfang der guten Läufer mit entsprechend gut ausgeprägter Substratverfügbarkeit eine Rolle spielen. Andererseits wirkt sich ein langsames Lauftempo bei der langen Wettkampfstrecke in einer Verlängerung der Wettkampfdauer mit entsprechender Belastung und Erschöpfung des Halteapparates aus, der ebenfalls als unbestimmter leistungsli-

mitierender Faktor anzusehen ist. Meßmethodische Gründe dürften bei der besseren Vorhersagegenauigkeit ebenso eine Rolle gespielt haben, da man annehmen darf, daß die Reliabilität der Messungen bei besseren Läufern höher ausfällt (22).

Die Leistung der längeren Wettkampfstrecken war aus unseren Testdaten mit 3-Minuten-Stufen tendenziell besser vorhersagbar als für kürzere Distanzen. Dies widerspricht der Ansicht, für die Leistungsdiagnostik seien analog zu einer langen Wettkampfdauer auch lange einzelne Belastungsstufen im Mehrstufentest notwendig. Die Marathonleistung wird jedoch vor allem durch den Faktor aerob-oxidative Kapazität vorgegeben (17), der durch die „IAS“ offensichtlich gut erfaßt werden kann. Aus dieser Beobachtung kann abgeleitet werden, daß ein Test zur Bestimmung der spezifischen Leistungsfähigkeit bei Langzeitausdauer Sportlern keineswegs notwendigerweise auch lange Stufendauern beinhalten muß. Ein grundsätzlicher Vorteil der Anwendung kürzerer Stufen liegt zudem in einer höheren Meßdatenauflösung, einem geringeren Interpolationsfehler und einer somit höheren Reliabilität des Testverfahrens (19).

Die Qualität der Vorhersage von Wettkampfleistungen aus den Daten der Laufbanddiagnostik ist überraschend gut und in ihrer Genauigkeit abschätzbar. Dennoch sollte die Bedeutung einer Leistungsprognose insbesondere auf den kürzeren Laufstrecken nicht überschätzt werden - hier ist die Durchführung kurzer Testwettkämpfe praktikabler. Erst auf den sehr langen Laufdistanzen wird die Anwendung eines Tests zur Tempovorgabe sinnvoll. Unabhängig davon kann die Steuerung des Ausdauertrainings und die Trainingsplanung für alle Laufstrecken durch die Laufbanddiagnostik unterstützt werden.

Literatur

- 1) *Altman D. G.*: Practical statistics for medical research. T.J.Press, Cornwall, 1991.
- 2) *Anderson G. S., E. C. Rhodes*: A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med* 8 (1989), 43-55.
- 3) *Bergström J., L. Hermansen, E. Hultman, B. Saltin*: Diet, muscle glykogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 71 (1967), 140-150.
- 4) *Brooks G.*: Anaerobic threshold: review of the concept and directions to the future. *Med Sci Sports Exerc* 17 (1985), 22-31.
- 5) *Coen B., L. Schwarz, A. Urhausen, W. Kindermann*: Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 12 (1991), 519-524.
- 6) *Coggan A. R., B. D. Williams*: Metabolic adaptations to endurance training - substrate metabolism during exercise. *Exercise Metabolism* (1995), 177-210.
- 7) *Coyle E. F.*: Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev* 23 (1995), 25-63.
- 8) *Dickhuth H. H., M. Huonker, T. Münzel, H. Drexler, A. Berg, J. Keul*: Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In: N Bachl, TE Graham, H Löllgen, Hrg.: *Advances in Ergometry* (Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991) pp. 173-179.
- 9) *Dickhuth H. H., K. Röcker, F. Mayer, A. Nieß, T. Horstmann, H. C. Heitkamp, P. Dolezel*: Bedeutung der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung bei Ausdauer- und Sportsportarten. *Dtsch Z Sportmed* 1 (1996), 183-189.
- 10) *Green S.*: A definition and systems view of anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol* 69 (1994), 168-173.
- 11) *Hagberg J.*: Physical implications of the lactate threshold. *Int J Sports Med (Suppl)* 5 (1984), 106-109.
- 12) *Heck H., A. Mader, G. Hess, S. Mücke, R. Müller, W. Hollman*: Justification of the 4mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 6 (1985), 117-130.
- 13) *Hughson L., K. Weisiger, G. Swanson*: Blood lactate concentration increases as a function in progressive exercise. *J Appl Physiol* 62 (1987), 1975-1981.
- 14) *Keul J., G. Simon, A. Berg, H. H. Dickhuth, I. Goertler, R. Kübel*: Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. *Dtsch Z Sportmed* 7 (1979), 212-217.
- 15) *Kindermann W., G. Simon, J. Keul*: The significance of the aerobic-anaerobic transition for determination of workload intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 42 (1979), 25-34.
- 16) *Lehmann M., A. Berg, R. Kapp, T. Westinghage, J. Keul*: Correlations between laboratory testing and distance running performance in marathoners of similar performance ability. *Int J Sports Med* 4 (1983), 226-230.
- 17) *Mader A.*: Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *J Sports Med Physical Fitness* 31 (1991), 1-19.
- 18) *Mader A., H. Liesen, H. Heck, H. Phillipi, R. Rost, P. Schürch, W. Hollmann*: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmed* 27 (1976), 80-88, 109-112.



19) McLellan T. M., I. Jacobs: Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. Eur J Appl Physiol 67 (1993), 125-31.

20) Myers J., D. Walsh, N. Buchanan, P. Mcauley, E. Bowes, V. Froelicher: Increase in Blood Lactate During Ramp Exercise Comparison of Continuous and Threshold Models. Med Sci Sport Exercise 26 (1994), 1413-1419.

21) Niess A., K. Röcker, J. M. Steinacker: Training, aerobic lactic threshold and competition results in elite distance runners during a period of two years. Med Sci Sports Exerc 24 (1992), 123.

22) Niess A., L. Yin, K. Röcker, F. Mayer, H. C. Heitkamp, H. H. Dickhuth: The relation between the individual anaerobic threshold (IAT) and the respiratory compensation point (RCP) in treadmill- and bicycle ergometry. Int J Sportsmed 17 (1996), S24.

23) Orok C. J., R. L. Hughson, H. J. Green, J. A. Thomson: Blood lactate responses in incremental exercise as predictors of constant load performance. Eur J Appl Physiol 59 (1989), 262-267.

24) Pickenhain L., G. Neumann, F. Scharschmidt: Sportmedizin - Grundfragen, Methoden, Ziele. Huber, Bern, Göttingen, Seattle, Toronto, 1993.

25) Rhodes E., D. McKenzie: Predicting marathon times from anaerobic threshold measurements. Physician and Sportsmed 12 (1984), 95-99.

26) Robinson D. M., S. M. Robinson, P. A. Hume, W. G. Hopkins: Training intensity of elite male distance runners. Med Sci Sports Exerc 23 (1991), 1078-82.

27) Röcker K., H. H. Dickhuth: Einige Aspekte zur Festlegung der Dauerleistungsgrenze. In: DW Clasing, H; Böning, D, Hrsg.: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik (Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York, 1994)pp. 27-35.

28) Röcker K., H. H. Dickhuth, F. Mayer, A. Nieß: Laufen - Sportmedizinisches Profil einer Sportart. Dt Z Sportmed 7/8 (1994), 297-306.

29) Sjödin B., I. Jacobs: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. Int J Sports Med 2 (1981), 23-26.

30) Späth H., J. Meier: Eindimensionale Spline-Interpolations-Algorithmen (R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1990).

31) Stegmann H., W. Kindermann, A. Schnabel: Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. Int J Sports Med 2 (1981), 160-164.

32) Takeshima N., K. Tanaka: Prediction of endurance running performance for middle-aged and older runners. Br J Sports Med 29 (1995), 20-3.

33) Tanaka K., Y. Matsuura: Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. J Appl Physiol 57 (1984), 640-643.

34) Tanaka K., N. Takeshima, T. Kato, S. Niihata, K. Ueda: Critical determinants of endurance performance in middle-aged and elderly endurance runners with heterogeneous training habits. Eur J Appl Physiol 59 (1990), 443-449.

35) Urhausen A., B. Coen, B. Weiler, W. Kindermann: Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. Int J Sports Med 14 (1993), 134-139.

36) Wasserman K., M. McIlroy: Detection of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. Am J Cardiol 14 (1964), 844-852.

37) Yoshida T., M. Udo, K. Iwai, T. Yamaguchi: Physiological characteristics related to endurance running performance in female distance runners. J Sports Sci 11 (1993), 57-62.

Anschrift für die Autoren:

Dr. Kai Röcker
 Med. Klinik und Poliklinik
 Abt. Sportmedizin
 Universität Tübingen
 D-72074 Tübingen
 e-Mail kai.roecker@uni-tuebingen.de

Behandlung bei Infekten und Allergien... Empfindlichkeit gegen einen der Bestandteile und bei Bindegewebs-, muskuloskelettsystemischen, allergischen, Autoimmunerkrankungen oder HIV-Infektionen. In Einzelfällen können Überempfindlichkeitsreaktionen auftreten. Bei Überempfindlichkeit gegen einen der Bestandteile sind die Einnahme von Resistan® Immunschutz zu unterbrechen. Bei Nebenwirkungen (z.B. Juckreiz, selten Gesichtsschwellung, Atemnot, Schwindel) und bei Verschlechterung der Symptome oder bei Unwohlsein sollte das Arzneimittel abgesetzt werden. Bei Unwohlsein oder Nebenwirkungen sollte das Arzneimittel abgesetzt werden. Bei Unwohlsein oder Nebenwirkungen sollte das Arzneimittel abgesetzt werden.

Ein
starke Frau
braucht ein
starkes
Immunsystem
Uta Pippig

Resistan®
Immunschutz

Pflanzliche Lösung zur Steigerung der körpereigenen Abwehrkräfte 100%

Uta Pippig
Weltbeste Marathonläuferin

5 Jahre Garantie

Das neue Multitalent

MEDIMOLL® EMS/TENS

Elektro-Myo-Stimulation zur Auslösung von Muskelkontraktionen (EMS) und zur Schmerzbehandlung (TENS).

Kompetente Beratung:
Hotline
(07121)269393

- Technik die begeistert
- Preisgünstig
- Kontrollierbare Therapiezeiten
- Hohe Patientensicherheit
- Leicht zu bedienen
- Deutsches Qualitätsprodukt
- 5 Jahre Garantie

neu!

Technische Änderungen vorbehalten

Brudermüller

Brudermüller GmbH
 Elektromedizin
 Postfach 1353
 D-72703 Reutlingen
 Tel. (07121)2693-0
 Fax (07121)2693-26

Handelsvertreter gesucht!