

ÖSTERREICHISCHES JOURNAL FÜR SPORTMEDIZIN

1
79

L. PROKOP:

Zur Physiologie des Schwimmens

W. REITERER, N. BACHL, H. CZITOWER und L. PROKOP:

Verlaufsbeobachtung über die Dauerleistungsfähigkeit von Skilangläufern mittels rechnerunterstützter Ergospirometrie

V. VEITL:

Die Bestimmung des individuellen Energiebedarfs des Leistungssportlers

E. A. ENGER, S. HAGBERG, L. PETERSON, J. NATHORST
WESTFELT:

Schlittschuhverletzungen bei Kindern und Jugendlichen

R. SCHEDL und H. SPÄNGLER:

Die sportbedingte Achillessehnenruptur

A. AIGNER:

Anabolika im Sport

**Statement des Internationalen Verbandes für Sportmedizin (FIMS) gegen
medizinisches Doping**

Sportmedizinische Referate

Buchbesprechung

Sport und Ernährung

Sportärztliche Untersuchungsstellen



Verlaufsbeobachtung über die Dauerleistungsfähigkeit von Skilangläufern mittels rechnerunterstützter Ergospirometrie*

W. Reiterer, N. Bachl, H. Czitober und L. Prokop

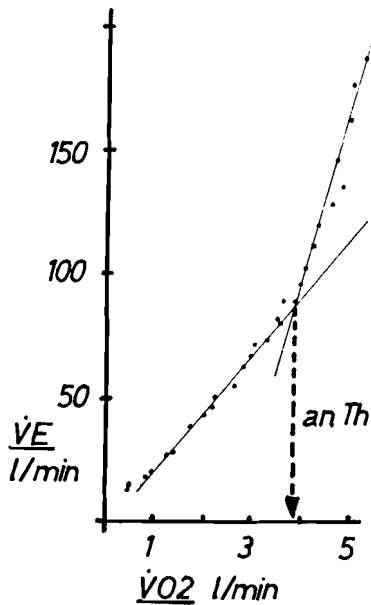
Das Ausdauerleistungsvermögen ist ein entscheidendes Kriterium zur Charakterisierung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Skilangläufern. Trotz höchster Belastungsintensität können bei gut trainierten Sportlern Zeichen der metabolen Azidose fehlen, sofern die Energiegewinnung (ATP) des arbeitenden Muskels durch aeroben Stoffwechsel aufrecht erhalten werden kann. Wird der Bedarf an ATP zusätzlich durch anaerobe Glykolyse zu decken versucht — da infolge der Belastungsintensität aerobe Prozesse allein nicht genügen — so resultiert daraus eine ansteigende Konzentration des Stoffwechselproduktes Milchsäure (Anaerobe Schwelle). Milchsäure wird primär durch das Bicarbonat-System abgepuffert, um die Homöostasie aufrecht zu erhalten. Durch das rasch wirksame Puffersystem wird zusätzlich (zum oxydativen Endprodukt) CO_2 gebildet, um über die Lunge ausgeschieden zu werden, meßbar durch Anstieg des Atemminutenvolumens, der CO_2 -Produktion und des respiratorischen Quotienten (Issekutz 1962, Naimark 1964, Clode 1969, Whipp 1972). Für die Funktionsdiagnostik und praktische Nutzenanwendung kann die anaerobe Schwelle als Kriterium der Dauerleistungsfähigkeit als jene Belastungsintensität, Herzfrequenz oder Sauerstoffaufnahme definiert werden, bei der Zeichen der metabolen Azidose festzustellen sind (Laktat-Konzentration im peripheren Blut $4,0\text{mMol/l}$; Basenüberschuß — BE — —5 bis -6mMol/l). Wassermann (1973) bestimmt mit einer aufwendigen ergospirometrischen Untersuchungstechnik (Atemzug-für-Atemzug-Analyse) die anaerobe Schwelle durch den nicht-linearen Anstieg von Atemminutenvolumen und CO_2 -Ausscheidung. Zur nicht-invasiven Bestimmung dieses

Schwellenwertes verwenden wir ein graphisches Verfahren zur Bewertung des Verhaltens von halbmütig gemessenen Meßwertpaaren von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme in einem linearen Koordinatensystem (Reiterer 1977). Es war das Ziel der Studie, den Meßwert anaerobe Schwelle als Leistungsindikator in der Verlaufskontrolle von Athleten und im Vergleich zu gebräuchlichen ergospirometrischen Meßwerten zu untersuchen.

UNTERSUCHUNGSGUT UND METHODEN:

Zwischen 1976 und 1978 wurde eine Gruppe von jungen Nachwuchs-Skilangläufern ($N = 13$; mittleres Alter 21,6 a; Körpergewicht 71,8kg) im Herzlungenfunktionslabor der Poliklinik mehrmals leistungsphysiologischen Tests unterzogen (s. Tab. 1). Die Fahrradergometrie erfolgte in sitzender Position. Das Testprotokoll beruhte auf das rektangulär-triangular Belastungsverfahren (RT-Test; 2-min-increment test; Increment 50 Watt); zusätzlich wurden die Sportler unter steady-state-Arbeit (200, 250 und 300 Watt) und triangularer Belastungssteigerung untersucht (1-min-increment test; Increment 20 Watt). Ergospirometrische Meßwerte (% O_2 -Differenz zwischen Ein- und Ausatemluft, % CO_2 , Atemzugvolumen, Atemfrequenz, expiratorische Strömung, Herzfrequenz, EKG und andere) wurden im offenen System bestimmt (Ergoneumotest mit EDV, Jäger, BRD). In halbmütigen Intervallen wurden abgeleitete Meßwerte (VO_2 , VCO_2 , VE, RQ, u. a.) über den Drucker ausgegeben und rechnergesteuert aufgezeichnet (Plotterdiagramm). Sämtliche Meßdaten wurden auf einer Magnetplatte gespeichert zur Berechnung von einem Index für die anaerobe Energiebereitstellung (Reiterer 1976), zur Bestimmung der alveolären Ventilation und der anaeroben Schwelle. Das methodische Vorgehen wurde an anderer Stelle ausführlich dargelegt (Reiterer 1976, 1977).

* Auszugsweise vorgetragen am XXI. FIMS Weltkongreß in Brasilia, 1978. Mit Unterstützung des Jubiläumsfonds der Österr. Nationalbank, Projekte Nr. 831 und 1379.



ANAEROBIC THRESHOLD (REITERER 1977)

NON-INVASIVE, NON-STEADY-STATE EXERCISE

Abb. 1: Nicht-invasive Bestimmung der anaeroben Schwelle aus ergospirometrischen Meßwerten ($\dot{V}O_2/\dot{V}E$ -Diagramm)

$\dot{V}O_2$ (\bar{x})	VII/76	XII/76	VI/77	IX/77	VIII/78
l/min	3,5	3,63	3,52	3,58	3,48
ml/kg/min	49,1	51,2	48,8	50,0	49,1

3,25	3,95	$p = 0,01$
46,0	55,0	(300 W = 6 min)
(N = 5)	(N = 6)	

Tabelle 1: Verlaufsbeobachtung über die Ausdauerleistungsgrenze (anaerobe Schwelle) bei Skilangläufern (N = 13). Stratifizierung nach 2 Leistungsgruppen.

durch 6 min und bildeten somit die Gruppe B (hohe anaerobe Schwelle). Bei einer Belastungsintensität von 250 Watt überschritt der Basenüberschußwert die Marke -6 mMol/l (der Differenzwert zum Ruhewert $-0,9 \text{ mMol/l}$ im Mittel — erreichte den Wert 5) als Hinweis für die einsetzende metabolische Azidose ($\dot{V}O_2: 3,65 \pm 0,061/\text{min}$ STPD;

ERGEBNISSE UND DISKUSSION:

Das graphische Verfahren zur nicht-invasiven Bestimmung der anaeroben Schwelle ist in Abb. 1 wiedergegeben. Die Brauchbarkeit dieser respiratorisch-ventilatorischen Methode wurde durch die Vergleichsmessungen mit Bestimmung der anaeroben Schwelle an Hand metabolischer Meßwerte (Laktat, Bachl 1978; BE Reiterer 1977) nachgewiesen.

In Tab. 1 sind die Mittelwerte für die anaerobe Schwelle angegeben. In IX/77 betrug die Dauerleistungsgrenze $3,581/\text{min}$ Sauerstoffaufnahme ($50,0 \pm 5,5 \text{ ml/kg/min}$). Im Vergleich zu anderen Untersuchungsterminen bestand kein signifikanter Unterschied. An Hand der Toleranz einer steady-state Stufe von 300 Watt wurden zwei Untergruppen gebildet, eine (= A; N = 5; an SW $46,0 \pm 1,5 \text{ ml/kg/min}$) mit niedriger und eine (= B; N = 6; an SW $55,0 \pm 1,4 \text{ ml/kg/min}$) mit hoher Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Daten von zwei Athleten konnten nicht eingeordnet werden und blieben somit unberücksichtigt. Die Meßergebnisse aus non-steady-state (RT- und T-Test) und steady-state Belastung wurden im Hinblick auf die beiden Untergruppen ausgewertet.

1) Steady-State-Belastung:

In Tab. 2 sind die ergospirometrischen Meßdaten (\bar{X} , $s\bar{x}$) für die gesamte Gruppe der Skilangläufer wiedergegeben. 6 Athleten tolerierten 300 Watt

vergleiche mit anaerobe Schwelle in IX/77). Die Stratifizierung der Meßwerte nach den Untergruppen (s. Tab. 3) weist bei einer Belastungsintensität von 250 Watt signifikante Unterschiede auf und unterstreicht die Problematik von Mittelwertangaben ergospirometrischer Meßwerte, sofern nicht eine subtile Gruppierung, z. B. an Hand der Dauer-

Work Load	200	250	300	Watt
N	13	13	7	
fh	145,8 4,3	172,5 3,8	181,4 3,5	Beats/min
$\dot{V}E$	66,6 2,2	99,6 5,1	127,4 6,6	l/min
$\dot{V}O_2$	2,83 0,08	3,65 0,06	4,48 0,17	l/min
	40,0 1,3	51,1 1,33	61,9 3,2	l/kg/min
Base Excess	-3,7 0,7	-7,4 1,1	-11,3 0,7	mMol/l
RQ	0,87 0,02	0,94 0,02	0,94 0,03	
O ₂ -Pulse	19,5 0,6	21,2 0,5	25,0 1,22	ml/Beat
MEF	2,99 0,15	4,85 0,21	5,75 0,41	l/sec

Tabella 2: Ergospirometrische Meßwerte unter steady-state Belastung (IX/77). Gesamtgruppe. (fh = Herzfrequenz; VE = Atemminutenvolumen; $\dot{V}O_2$ = Sauerstoffaufnahme; RQ = respiratorischer Quotient; MEF = maximale expiratorische Ausatemströmung; an TH = anaerobe Schwelle)

		A	B	p	DIM
N		5	6		
fh	75 W	100,8	85,5	0,05	Beats/min
	200	158,4	146,9	0,05	
	250	184,8	163,3	<u>0,01</u>	
VE	200	72,9	62,7	0,05	l/min
	250	117,4	87,8	<u>0,01</u>	
VO ₂	200	3,03	2,69	n. sig.	l/min
	250	3,82	3,58	0,05	
BE	200	-5,4	-2,95	n. sig.	mMol/l
	250	-9,7	-5,0	0,05	
O ₂ -p	250	20,7	22,0	n. sig.	ml/Beat
AN TH (VO ₂)		46,0	55,0	<u>0,01</u>	ml/kg/min
		3,25	3,95	<u>0,01</u>	l/min

Tabella 3: Steady-state-Belastung (IX/77). Untergruppen mit niedriger (A) und hoher (B) anaerober Schwelle.

leistungsgrenze erfolgt. Weiters ist an Hand unserer Untersuchungsdaten zu bemerken, daß auffällige Unterschiede zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Sauerstoffaufnahme bestehen: Die Gruppe mit hoher Dauerleistungsfähigkeit (B) weist eine niedrigere Sauerstoffaufnahme auf, die durch eine geringere Atemarbeit (Atemminutenvolumen: A: 117,4l/min; B: 87,71l/min; $p \leq 0,01$) erklärt werden kann. Da Zeichen einer metabolen Azidose noch fehlen (B: BE — 5,0mMol/l), resultiert kein Stimulus zur Hyperventilation (vermehrte CO₂-Ausscheidung durch Pufferung von Laktat). Die

Herzfrequenz ist jeweils (75, 200, 250 Watt) ein einfacher und sicherer Indikator für die leistungsfähigere Gruppe.

2) Non-Steady-State-Belastung (1-min und 2-min-Stufen-Test).

In IX/77 wurden bei den Skilangläufern Leistungstests mit steady-state-Stufen und triangulärer Belastung durchgeführt. Die Meßwerte von 2-min-Stufen-Test (RT-Test), insbesondere hinsichtlich der Berechnung der anaeroben Energie, beziehen sich auf die Test-Periode VI/77 (s. Tab. 4).

	A	B	p	DIM
N	5	6		
Work Load max (TR)	300,0	330,0	n. sig.	Watt
$\dot{V}O_2$ -max (TR)	56,1	65,4	n. sig.	ml/kg/min
	3,96	4,7	0,05	l/min
Anaerobic Power	162,9	182,9	n. sig.	kJ
(RT)	21,3	22,6	n. sig.	%
AN TH ($\dot{V}O_2$)	46,0	55,0	0,01	ml/kg/min
	3,25	3,95	0,01	l/min
	82,1	84,1	n. sig.	% $\dot{V}O_2$ -max

Tabelle 4: Non-Steady-State-Belastung (RT-Test = 2-min.-Increment-Test; TR-Test = 1-min.-Increment-Test). Untergruppen mit niedriger (A) und hoher (B) anaerober Schwelle.

Bezüglich der maximal erreichten Belastungsstufe (W_{lmax}) besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit niedriger (A: 300,0 ± 12,6 Watt) und hoher (B: 330,0 ± 8,6 Watt) Ausdauerleistungsgrenze. Der on-line berechnete Index über die anaerobe Energiebereitstellung (Bewertung der Sauerstoffaufnahme in Relation zur geleisteten Arbeit) ist in Anbetracht der höheren Gesamtleistung größer in Gruppe B (182,9 ± 10,3kJ gegenüber 162,9 ± 0,2kJ; n. sig.), jedoch besteht kein Unterschied bei Belastungsintensitäten unterhalb der anaeroben Schwelle. Die maximale Sauerstoffaufnahme (TR-Test) war signifikant größer in Gruppe B (4,7 ± 0,2l/min gegenüber 3,96 ± 0,2l/min; $p = 0,05$); auf Grund der Varianz wies die relative Sauerstoffaufnahme (A: 56,1 ± 2,8ml/kg/min; B: 65,4 ± 3,5ml/kg/min) bei den kleinen Untersuchungsgruppen keinen Unterschied aus. Gewertet in Prozenten der maximalen O₂-Aufnahme fand sich ein gering höherer Meßwert für die anaerobe Schwelle in Gruppe B (84,1% gegenüber 82,1%). Dieser hohe Anteil der Dauerleistungs-

grenze in Bezug auf die maximale Sauerstoffaufnahme kann zur Erklärung beitragen, warum über den Beobachtungszeitraum von 2 Jahren der Gruppenmittelwert für die anaerobe Schwelle unverändert blieb. Zum anderen sind wesentliche Veränderungen der Dauerleistungsgrenze für das Gesamtkollektiv nicht mehr zu erwarten, wenn auch bei einzelnen Probanden deutliche Verbesserungen gesehen wurden (Trainingsgestaltung, Motivation; Talent).

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Bestimmung der anaeroben Schwelle führt zur Quantifizierung der Dauerleistungsfähigkeit durch jene Belastungsintensität, respektive Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme, in deren Bereich Zeichen der metabolen Azidose (Laktatazidose) faßbar werden. Als nicht-invasive Methode hat sich die graphische Analyse ergospirometrischer Meßwertpaare von Sauerstoffaufnahme und Atemminutenvolumen unter ansteigender Belastungsintensität (rektangulär-trianguläre Fahrradergometrie) bewährt, wobei im Vergleich mit blutigen und zeit-

aufwendigen Verfahren (steady-state-Stufen; Laktatbestimmung, Blutanalyse) identische Ergebnisse zu erzielen sind.

Diese respiratorisch-ventilatorische Bestimmung der anaeroben Schwelle wurde zur Leistungskontrolle bei jungen Skilangläufern eingesetzt, wobei Athleten mit niedriger und hoher Dauerleistungsgrenze gefunden wurden. Von geringer differenzierender Treffsicherheit erwies sich die maximale Sauerstoffaufnahme, unbrauchbar zeigte sich die maximal tolerierte Belastungsstufe. Als einfacher Meßwert trägt die Herzfrequenz auf niedrigen und hohen Belastungsstufen zur Unterscheidung bei. Ein hoher Prozentsatz der anaeroben Schwelle (% $\text{VO}_2\text{-max}$) läßt eine entscheidende Steigerung der Dauerleistungsfähigkeit nicht mehr erwarten, wodurch sich Selektionskriterien für die Talent-suche ergeben.

LITERATUR:

Issekutz, B. Jr. and K. Rodahl: Respiratory quotient during exercise. *J. Appl. Physiol.* 17: 47 (1962).

Naimark A., K. Wasserman and M. B. McIlroy: Continous measurement of ventilatory exchange ratio during excise. *J. Appl. Physiol.* 19: 644 (1964).

Clode M. and E. J. M. Campell: The relationship between gas exchange and changes in blood lactate concentrations during excercise. *Clin. Sci.* 37: 263 (1969).

Whipp B. J. and K. Wasserman: Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work. *J. Appl. Physiol* 33: 351 (1972).

Wasserman K., B. J. Whipp, S. N. Koyal and W. L. Beaver: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 36: 236 (1973).

Reiterer W.: Evaluation of physical performance by rectangular-triangular bicycle ergometry and computer-assisted ergospirometry. *Basic. Res. Cardiol.* 71: 482 (1976).

Reiterer W., N. Bachl: Kriterien der körperlichen Leistungsfähigkeit. Limitierende Faktoren und diagnostische Kriterien des Ausdauerleistungsvermögens. *Wien. med. Wschr.* 127, Suppl. 42 (1977).

Reiterer W.: Relevanz ergospirometrischer Befunde aus kardiologischer und pulmonologischer Sicht. Tagungsbericht der Arbeitsgemeinschaft für klinische Atemphysiologie, Graz 1977. City Schnelldruck, Würzburg. S. 63.

Bachl N., W. Reiterer, L. Prokop, H. Czitober: Bestimmungsmethoden der anaeroben Schwelle. *Österr. Journal für Sportmedizin*, 8 (1978), 3.