

Hofmann, P.<sup>1</sup>; M. Lamprecht<sup>2</sup>; G. Schwabberger<sup>3</sup>; R. Pokan<sup>4</sup>;  
S.P. von Duvillard<sup>5</sup>

## Einfluß unterschiedlicher Diätformen auf die Laktatleistungskurve im Stufentest und das Laktatverhalten bei Dauerbelastung auf dem Fahrradergometer – eine Einzelfallstudie

### Effect of dietary modifications on lactate performance curve in incremental exercise tests and blood lactate concentration during endurance exercise on the cycle ergometer – a single case study

Institut für Sportwissenschaften<sup>1</sup>, Institut für Medizinische Chemie und Pregl Laboratorium<sup>2</sup>, Physiologisches Institut<sup>3</sup>, Universität Graz; Institut für Sportwissenschaften<sup>4</sup>, Universität Wien; Human Performance Laboratory, Department of HPER<sup>5</sup>, University of North Dakota, Grand Forks, North Dakota, USA

#### Zusammenfassung

Ziel der Studie war die Untersuchung des Einflusses von kohlenhydratreicher (KH), fettreicher (F) und normaler (N) Diät auf die Laktatleistungskurve (LaLK) und die Blutlaktatkonzentration (La) bei Dauerbelastungen (DT) am Fahrradergometer. Eine Versuchsperson absolvierte drei verschiedene, jeweils 28 Tage dauernde Ernährungsblöcke, die in veränderter Reihenfolge wiederholt wurden. Am 21., 26. und 28. Tag jedes Blockes wurden die Belastungstests (Stufentest, DT bei 80% des ersten Laktat Turn Points – LTP1, DT am zweiten Laktat Turn Point – LTP2) durchgeführt. Eine einmonatige einseitige Diät beeinflusste die LaLK nachhaltig. Verglichen mit F-reicher oder normaler Diät erhöhte eine KH-reiche Diät das La sowohl in Ruhe als auch auf allen Belastungsstufen. Fixe La-Kennwerte waren durch diätabhängige Verschiebungen der LaLK von der Ernährungsform abhängig. Verglichen mit Normalkost führt eine KH-rei-

che Diät zu niedrigeren, eine F-reiche Diät zu annähernd gleichen submaximalen Leistungswerten bei 2 und 4 mmol/l Blutlaktatkonzentration, unabhängig von der maximalen Leistungsfähigkeit. Die individuellen Umstellpunkte in der LaLK (LTP1, LTP2) waren hingegen von der Diätform unabhängig. Im DT am LTP2 wurde immer ein La-Gleichgewicht gefunden, abhängig von der Diätform jedoch mit unterschiedlich hohen La-Werten zwischen 3 und 5 mmol/l La. Das La-Verhalten war in beiden DT gleichläufig mit den Stufentestergebnissen und reproduzierbar.

Durch die heute im Spitzensport übliche variable Verwendung unterschiedlicher Diätformen ist von der Verwendung fixer La-Kenngrößen abzuraten, und individuelle Bestimmungsverfahren wie z.B. die Laktat Turn Point Methode sind zu empfehlen.

**Schlüsselwörter:** Kohlenhydratdiät, Fett-diät, Laktatschwellen, Dauertests, Fahrradergometer

#### Summary

Aim of the study was to investigate the influence of high carbohydrate (CHO), high fat (F) and normal (N) diet on the lactate performance curve (LaPC) and blood lactate concentration (La) during endurance exercise on a cycle ergometer. One subject performed three different diets each lasting 28 days which were repeated in random order. Exercise tests were performed on 21st (graded exercise test), 26th and 28th day (endurance test at 80% of the first lactate turn point - LTP1; at the second lactate turn point - LTP2) of each dietary block. A strong influence of diet on the LaPC was found. High CHO diet increased La at rest and during exercise compared to high F diet and N diet. Fixed La values were strongly influenced by the diet depending shift of the LaPC. After high CHO diet submaximal performance at 2 and 4 mmol/l was decreased compared to N and F, independent of maximal performance. In contrast, individual turn points of LaPC (LTP1, LTP2) were found independent of diet. A steady state of La was found in the endurance exercise tests at the LTP2, but dependent on the diet La steady state values varied from 3 to 5 mmol/l. The behaviour of La during all endurance exercise tests was similar to the graded exercise test and reproducible.

Usual dietary interventions in modern high performance training do not allow to use fixed blood lactate values for physical performance diagnostics. Individual methods such as the lactate turn point method seem to be more valid and can be recommended.

**Keywords:** high-carbohydrate diet, high-fat diet, lactate threshold, endurance exercise, cycle ergometer

#### Einleitung

Der Einfluß unterschiedlicher Diätformen auf die körperliche Leistungsfähigkeit ist seit längerer Zeit bekannt. Speziell der Einfluß kohlenhydratreicher (KH) Kost wurde bereits in vielfältigen Studien untersucht (7, 14, 20, 21, 22, 24, 28, 29). Die meisten Untersuchungen zeigten eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch eine kurzfristige KH-reiche Diät (20, 22, 24, 28). Ein positiver Ef-

fekt auf die Leistungsfähigkeit im Stufentest wurde nicht gezeigt (10, 21, 29). In letzter Zeit wird hingegen immer wieder über mögliche positive Wirkungen auf die Leistungsfähigkeit durch fettreiche Diätformen diskutiert (12, 25, 27). Andere Studien untersuchten Effekte auf die Leistungsfähigkeit durch eine belastungsbedingte Glykogenverarmung der Arbei-  
 muskulatur (4, 17, 23, 26).

Verschiedene Studien zeigten den Einfluß KH-reicher Ernährung einerseits und von Glykogenverarmung andererseits auf die Laktatleistungskurve (LaLK) (4, 10, 15, 21, 23, 29). Diese Autoren weisen darauf hin, daß vor allem Schwellenkonzepte, die mit fixen Laktatwerten operieren, durch diät- oder belastungsbedingte Veränderungen des Glykogenspeichers der Muskulatur verfälschte Leistungswerte ergeben. Der Einfluß von Glykogenmangel, hervorgerufen durch eine verstärkte Ausschöpfung der Muskulatur und/oder eine verminderte KH Zufuhr, zeigt - bei Verwendung von fixen Laktatkennwerten - eine deutliche Verschiebung der LaLK zu scheinbar höheren Leistungswerten (4, 15, 23, 29). Individuelle Laktatschwellenkonzepte bestätigen diese Verschiebungen nicht, sondern zeigen im Gegenteil eine Verschiebung hin zu niedrigeren Leistungen im glykogenverarmten Zustand (4, 23) oder keine Veränderung durch KH-reiche Diät (10, 29).

Ivy et al. (10) fanden jedoch in derselben Arbeit auch eine Verschiebung der Laktatschwelle hin zu höheren Leistungen durch eine kurzfristige Gabe von fettreicher Kost. KH-reiche Kost ergibt eine deutlich bessere Verfügbarkeit von Muskel- und Leberglykogen (28) mit deutlich erhöhten La-Werten auf vergleichbaren Belastungsstufen im Stufentest (10, 21, 29) und bei Dauerbelastungen (14, 15, 27). Im Gegensatz dazu reduziert eine fettreiche Diät die Verfügbarkeit des Muskel- und Leberglykogens und vermindert deshalb auf vergleichbaren Belastungsstufen die La-Konzentration im Blut (3, 12, 25, 27). In den meisten genannten Studien wurden jedoch nur kurzfristige Ernährungsmodifikationen in Form von Einmalgaben direkt vor der Belastung oder eine bis zu drei Tage dauernde Ernährungsmodifikation vor Belastung verwendet. Eine vierwöchige hochdosierte Fett-diät ergab keine Beeinträchtigung der aeroben Ausdauerleistung bei gut trainierten Radfahrern. Dieser Effekt war begleitet von einer drastischen physiologischen Anpassung,

die die limitierten Kohlenhydratspeicher (Glukose und Muskelglykogen) konservierte und Fett zum bevorzugten Muskelsubstrat bei submaximalen Belastungen (62-64% VO<sub>2</sub>max) machte (18). Die fettreiche Diät erhöhte geringfügig die Serumlipide, und die Blutglukoseoxidation war in Ruhe meßbar reduziert (19).

Ziel dieser Studie war die Überprüfung des Einflusses einer jeweils einmonatigen Ernährungsmodifikation auf die Laktatleistungskurve, die Leistung bei fixen Laktatkennwerten von 2 und 4 mmol/l den ersten (LTP1) und zweiten (LTP2) Laktat Turn Point, sowie das Laktatverhalten während Dauerbelastungen im Bereich des ersten und zweiten Laktat Turn Points auf dem Fahrradergometer.

## Probandengut und Methodik

Eine mäßig trainierte Versuchsperson (Alter: 28 Jahre, Größe: 183 cm, Gewicht: 78 kg) wurde im Rahmen einer Ernährungsstudie (11) insgesamt sechsmal untersucht. Als geplante Ernährungsformen wurden eine sog. Normaldiät (N: 47% KH, 38% F; 15% E), eine fettreiche Diät (F: 20% KH, 65% F; 15% E) und eine kohlenhydratreiche Diät (KH: 70% KH, 18% F, 12% E) gewählt. Jede Diätform wurde jeweils über 28 Tage eingehalten, protokolliert und ausgewertet (EWP, dato-Denkwerkzeuge, Wien). Die Diätblöcke wurden in veränderter Reihenfolge wiederholt. Während der Diätphase wurde vom Probanden die bisherige körperliche Aktivität (1 mal pro Woche Tennis, 2 mal pro Monat unregelmäßig ca. 2 Std. Radfahren) beibehalten. Es wurde vor und während der Studie kein systematisches Training durchgeführt.

Am 21., 26. und 28. Tag jedes Diätblockes absolvierte die Versuchsperson je einen Belastungstest auf einem mechanisch gebremsten Fahrradergometer (Monark, Schweden). In einem Stufentest mit einer Leistungssteigerung von 20 W/min (Startbelastung 40 W) wurde kontinuierlich die Herzfrequenz (HF, PE4000, Polar Electro, Finnland) sowie jede Minute der Belastung die Blutlaktatkonzentration (La) anhand von Blutproben aus dem hyperämisierten Ohrfläppchen gemessen (Eppendorf EBIO plus, Deutschland). Aus der Laktatleistungskurve wurde die Leistung bei fixen La-Konzentrationen von 2 und 4 mmol/l bestimmt. Weiter wurden durch eine

lineare „Break Point“ Regressionsanalyse computerunterstützt (13) zwei Laktat Turn Points (LTP) bestimmt. Der erste Anstieg des La über den Ausgangswert (LTP1) wurde einheitlich zwischen erstem Belastungslaktatwert und 4 mmol/l Laktat berechnet. Der zweite deutliche Anstieg des Laktat (LTP2) wurde einheitlich zwischen dem zuvor bestimmten LTP1 und dem Maximallaktat bestimmt (6). Das Prinzip der Bestimmung bei-

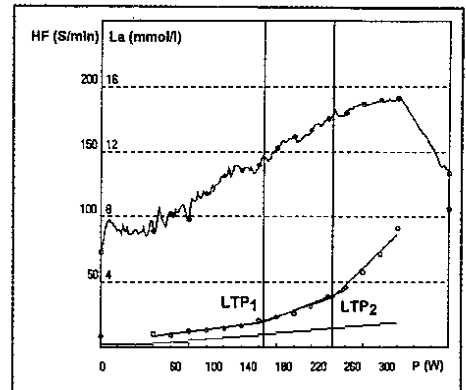


Abbildung 1: Bestimmung des ersten (LTP1) und zweiten (LTP2) Laktat Turn Points im Verlauf der Laktatleistungskurve mittel computerunterstützter linearer Regressions „break point“ Analyse (Software PA7Win, Leitner et al. 1992).

der LTP's ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Belastungsvorgabe für die folgenden zwei Dauerbelastungen (DT) wurde jeweils an den beiden LTP's aus dem Stufentest des ersten Diätblocks (N1) abgeleitet. Als extensiver DT wurde eine Belastung bei 80% des LTP1 (140 W = 41% Pmax) über 90 min vorgegeben; als intensiver DT eine Belastung im Bereich des LTP2 (240 W = 71% Pmax) über 30 min. Zur Vermeidung einer zu hohen Anlaufaktatbildung wurde die Zielbelastung über einen Stufenanstieg wie im Stufentest angesteuert. Die Stufentests wurden jeweils am 21. Tag, die extensiven DT am 26. Tag und die intensiven DT am 28. Tag absolviert. Bei beiden DT wurde die HF kontinuierlich gemessen. Die La-Konzentration wurde in Ruhe, auf allen Belastungsstufen, sowie alle 30 min (extensiver DT) bzw. 10 min (intensiver DT) während der Dauerbelastung gemessen.

## Ergebnisse

Die Auswertung der Ernährungsprotokolle ergab die in Tabelle 1 dargestellte Zusammensetzung der Makronährstoffe für die einzelnen Diätblöcke. Die geplanten Anteile an

# KASUISTIKEN

	% KH	%F	%E
N1	47	38	15
KH1	69	19	12
F1	24	61	15
KH2	67	21	12
F2	22	63	15
N2	47	38	15

Tabelle 1: Verteilung der Makro-Nährstoffe in jeweils einmonatigen Ernährungsblöcken mit Normalkost (N), kohlenhydratreicher Kost (KH) und fettreicher Kost (F) im Verlauf eines sechsmonatigen Ernährungsversuchs mit einem Probanden (N2, KH2, F2 = Wiederholung des Diätblockes).

70% KH bzw. 65% F wurden nur zum Teil erreicht, die Verteilung war jedoch bei der Wiederholung innerhalb der Blöcke bis auf 2% Abweichung identisch.

Die Ergebnisse aller Tests sind in den Tabellen 2 bis 5 dargestellt. Trotz der starken Modifikation der Ernährung veränderte sich während der 6-monatigen Versuchsdauer die Leistungsfähigkeit des Probanden, gemessen an der Maximalleistung (Tab.2), nicht. Einzig beim zweiten KH-Block brach die Versuchsperson die Belastung um eine Stufe früher ab. Die Maximallaktatwerte zeigten ein uneinheitliches Verhalten. Ein eindeutig diätabhängiger Trend war nicht zu erkennen. Die maximale HF war bei 5 von 6 Stufentests beinahe konstant gleich hoch; einzig in F1 wurde eine höhere HFmax gefunden. Ein eindeutig diätabhängiger Trend war ebenfalls nicht zu erkennen.

Die Leistung am LTP1 (Tab.3) war von der Diätform unabhängig konstant. Die größte Abweichung war bei KH1 mit 12 W kleiner als eine Belastungsstufe. Die Leistung am LTP2 (Tab.3) war ebenfalls von der Diätform unabhängig annähernd konstant. Die HF am LTP1 und am LTP2 zeigte keine erkennbare Abhängigkeit von der Diätform (Tab. 3).

Eine deutliche Veränderung der Leistung wurde jedoch bei den fixen La-Werten von 2 und 4 mmol/l gefunden (Tab. 4). Die Leistung bei 2 und 4 mmol/l war unabhängig von der Diätform immer höher als der vergleichbare LTP Wert. Bei N und F war der Unterschied deutlich größer, jedoch auch bei KH vorhanden. Die einzelnen Diätformen zeigten einen signifikanten Einfluß auf den Verlauf der Laktatleistungskurve (Abb.2). Die KH-Diät führte zu einer Anhebung der La-Konzentration sowohl in Ruhe als auch auf allen Belastungsstufen. Dadurch verschob sich die Leistung bei fixen La Werten von 2 und 4 mmol/l hin zu

niedrigeren Leistungen, dagegen durch die F- und N-Diät hin zu höheren Leistungen. Die Leistung sowohl des LTP1 als auch des LTP2 wurde durch die Diätform nicht wesentlich beeinflusst. Es änderte sich jedoch die Höhe des La am LTP1 und am LTP2 hin zu höheren Werten im KH-Block und hin zu niedrigeren Werten im F-Block, verglichen mit dem N-Block (Abb. 2). Die Leistungen bei fixen HF-Werten von 130, 150 und 170 S/min (PWC130, PWC150, PWC170) waren deutlich stärker streuend als die Leistungen an den LTP's. Ein einheitlicher diätabhängiger Trend war jedoch auch hier nicht erkennbar (Tab. 5).

Ähnlich wie im Stufentest wurde während beider Dauertests eine Diätabhängigkeit der La-Konzentration gefunden. Alle 6 intensiven DT wurden einheitlich mit der gleichen Lei-

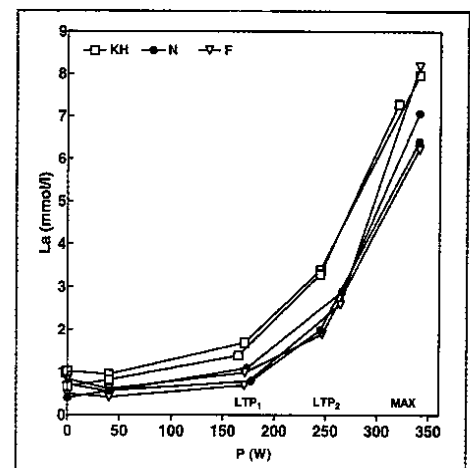


Abbildung 2: Laktatleistungskurve sowie erster (LTP1) und zweiter (LTP2) Laktat Turn Point im Stufentest nach kohlenhydratreicher (KH), fettreicher (F) und normaler (N) einmonatiger Diät im Rahmen eines sechsmonatigen Ernährungsversuches.

	N1	N2	KH1	KH2	F1	F2
HFmax (S/min)	195	193	191	192	200	192
Pmax (W)	340	340	320	340	340	340
La max (mmol/l)	6,4	7,1	7,3	8,0	8,2	6,2

Tabelle 2: Maximalwerte der Herzfrequenz (HF), der Leistung (P) und der Blutlaktatkonzentration (La) im Stufentest in Abhängigkeit von Normalkost (N), kohlenhydratreicher (KH) und fettreicher Kost (F).

	N1	N2	KH1	KH2	F1	F2
HF LTP1 (S/min)	149	145	143	144	152	146
P LTP1 (W)	177	173	165	171	171	172
La LTP1 (mmol/l)	1,0	0,9	1,4	1,8	0,7	0,9
HF LTP2 (S/min)	173	178	177	176	185	174
P LTP2 (W)	245	266	245	245	264	245
La LTP2 (mmol/l)	2,1	2,9	3,2	3,5	2,7	2,0

Tabelle 3: Herzfrequenz (HF), Leistung (P) und Blutlaktatkonzentration (La) am ersten (LTP1) und zweiten (LTP2) Laktat Turn Point bei Normalkost (N), kohlenhydratreicher (KH) und fettreicher (F) Kost.

	N1	N2	KH1	KH2	F1	F2
HF 2 (S/min)	171	170	162	153	1809	175
P 2 (W)	238	236	202	188	243	247
HF 4 (S/min)	186	183	181	179	190	186
P 4 (W)	296	290	262	259	290	300

Tabelle 4: Herzfrequenz (HF) und Leistung (P) bei 2 und 4 mmol/l Blutlaktatkonzentration (La) bei Normalkost (N), kohlenhydratreicher (KH) und fettreicher (F) Kost.

	N1	N2	KH1	KH2	F1	F2
PWC130 (W)	112	122	117	144	116	120
PWC150 (W)	180	187	175	182	166	177
PWC170 (W)	233	236	227	223	210	233

Tabelle 5: Physical Working Capacity (PWC) bei einer Herzfrequenz von 130, 150 und 170 S/min in Abhängigkeit von Normalkost (N), kohlenhydratreicher (KH) und fettreicher (F) Kost.

stung von 240 W (LTP2 aus N1) absolviert, ebenso wie die extensiven DT, die einheitlich mit einer Leistung von 140 W (80% PLTP1 aus N1) durchgeführt wurden.

Gleichläufig wie bei den Stufentests war das La bei beiden DT-Formen von der Diät beeinflusst. Verglichen mit dem N-Block war das La jeweils im KH-Block höher. Ein Trend zu niedrigeren La Werten im F-Block war im Vergleich zu N nicht erkennbar. In allen Fällen stellte sich während der 30minütigen intensiven Belastung ein La-Steady-State ein (Abb.3). Ein ähnliches Verhalten des La wurde im extensiven DT, jedoch nicht so deutlich ausgeprägt, gefunden (Abb.4). Die Daten waren aber sowohl für die Stufentests (Abb. 2) als auch für die intensiven (Abb.3) und extensiven (Abb.4) Dauerbelastungen reproduzierbar. Das Verhalten des La im N-Block war insbesondere im intensiven DT uneinheitlich.

Eine deutliche Diätabhängigkeit der HF war während beider DT-Formen auf den Belastungsstufen nicht erkennbar. Die HF war während der F-Diät im intensiven DT jedoch tendenziell erhöht und während der KH-Diät tendenziell erniedrigt. In Abbildung 5 ist der Verlauf der HF aller sechs Diätblöcke des intensiven DT, in Abbildung 6 des extensiven DT dargestellt.

## Diskussion

Die wesentlichsten Ergebnisse der Studie waren:

- 1) Eine einmonatige einseitige Diät beeinflusst die Laktatleistungskurve nachhaltig.

Verglichen mit einer Normalkost erhöht eine KH-reiche Diät das La sowohl in Ruhe als auch auf allen Belastungsstufen, im Gegensatz zu einer fettreichen Diät, die die La-Werte hin zu niedrigeren Werten verschiebt.

- 2) Fixe La-Kennwerte sind durch die diätabhängigen Verschiebungen der La-Leistungskurve von der Ernährungsform abhängig. Verglichen mit einer Normalkost führt eine KH-reiche Kost zu niedrigeren, eine F-reiche Kost zu annähernd gleichen submaximalen Leistungswerten, unabhängig von der maximalen Leistungsfähigkeit.
- 3) Die individuellen Umstellpunkte in der La-Leistungskurve (LTP1 und LTP2) sind von der Diätform unabhängig.
- 4) Unabhängig von der Diätform stellt sich im intensiven DT am LTP2 immer ein La-Gleichgewicht ein, jedoch abhängig von der Diätform mit unterschiedlich hohen La-Werten. Wie in den Stufentests liegt das La im KH-Block höher und im F-Block gleich oder niedriger.

Die Ergebnisse sind mit Vorsicht zu interpretieren, da es sich bei der vorliegenden Studie um eine Einzelfallanalyse handelt. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch die Wiederholung der einzelnen Ernährungsblöcke erlaubt jedoch einigermaßen sichere Aussagen über die Ernährungsabhängigkeit der Laktatleistungskurve. Die Ergebnisse bestätigen auch bereits publizierte Befunde (4, 10, 15, 23, 29).

Der Einfluß der Ernährung, im speziellen der Einfluß einer KH-reichen Diät, auf die La-Leistungskurve ist seit längerer Zeit bekannt.

Konsequenzen für die La-Diagnostik wurden bereits vielfach diskutiert (1, 10, 29). Die Autoren weisen auf die Notwendigkeit der Bestimmung individueller submaximaler Leistungsgrößen hin. Die Bestimmung von submaximalen Leistungsdaten über fixe Laktatkennwerte (8, 16) wird jedoch zum Teil immer noch als Standarddiagnostik verwendet. Neben der Diätabhängigkeit gibt es noch eine Vielzahl an bekannten Einflußgrößen auf die LaLK (z.B. die Belastungsanstiegsgeschwindigkeit) (8). Die Interpretation des Leistungszustandes und der Veränderung der Leistungsfähigkeit im Trainingsprozeß ist dadurch fehleranfällig. Gängige Konzepte der Beurteilung der LaLK gehen speziell auf ernährungsbedingte Modifikationen der LaLK nur ungenügend ein (30). Dies erfordert neue Lösungsansätze in der Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Laktat-Turn-Point-Methode wurde bereits von einigen Autoren auf ihre Tauglichkeit hin untersucht. *Cabrera und Chizeck* (5) bestätigten mit mathematischen Methoden diese zwei Umstellpunkte in der LaLK. *Aunola und Rusko* (2) zeigten, daß eine Belastung im Bereich des LTP2 zu einem La-Gleichgewicht führt. Ähnliche Ergebnisse aus dem eigenen Arbeitskreis (9) bestätigen diese Ergebnisse. In der vorliegenden Untersuchung werden diese Ergebnisse erneut untermauert, jedoch waren die La-Werte am Laktat-Steady-State (LaSS), abhängig von der Diätform, um mehr als 2 mmol/l verschieden. In LaSS-Untersuchungen wurden ebenfalls streuende La-Werte zwischen 3 und 5 mmol/l gefunden (8). Neben dem Einfluß des Trainingszustandes und

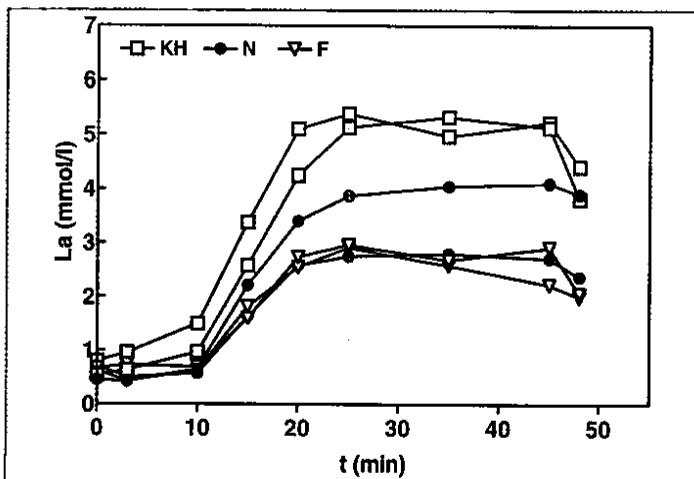


Abbildung 3: Verlauf der Blutlaktatkonzentration im intensiven Dauertest mit der Leistung des zweiten Laktat Turn Points (LTP2) aus dem ersten Stufentest nach kohlenhydratreicher (KH), fettreicher (F) und normaler (N) einmonatiger Diät im Rahmen eines sechsmonatigen Ernährungsversuches.

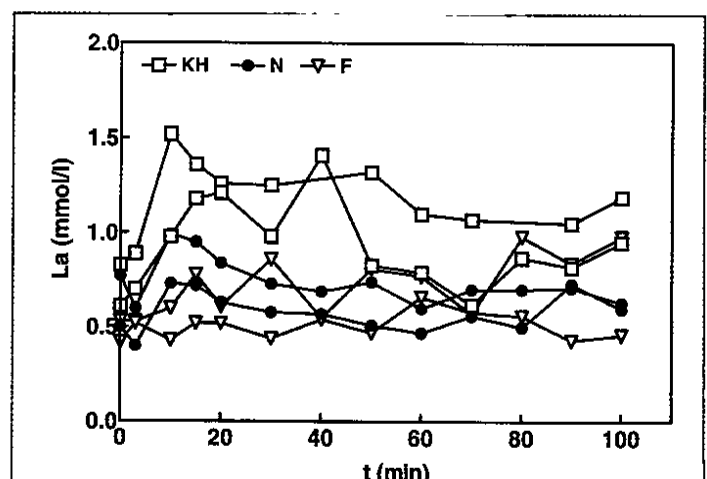


Abbildung 4: Verlauf der Blutlaktatkonzentration im extensiven Dauertest mit der Leistung von 80% des ersten Laktat Turn Points (LTP1) aus dem ersten Stufentest nach kohlenhydratreicher (KH), fettreicher (F) und normaler (N) einmonatiger Diät im Rahmen eines sechsmonatigen Ernährungsversuches.

# KASUISTIKEN

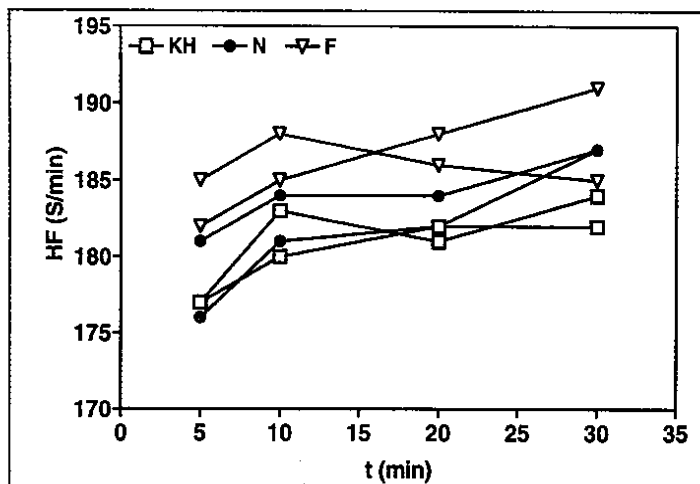


Abbildung 5: Verlauf der Herzfrequenz (HF) im intensiven Dauertest mit der Leistung des zweiten Laktat Turn Points (LTP2) aus dem ersten Stufentest nach kohlenhydratreicher (KH), fettreicher (F) und normaler (N) einmonatiger Diät im Rahmen eines sechsmonatigen Ernährungsversuches.

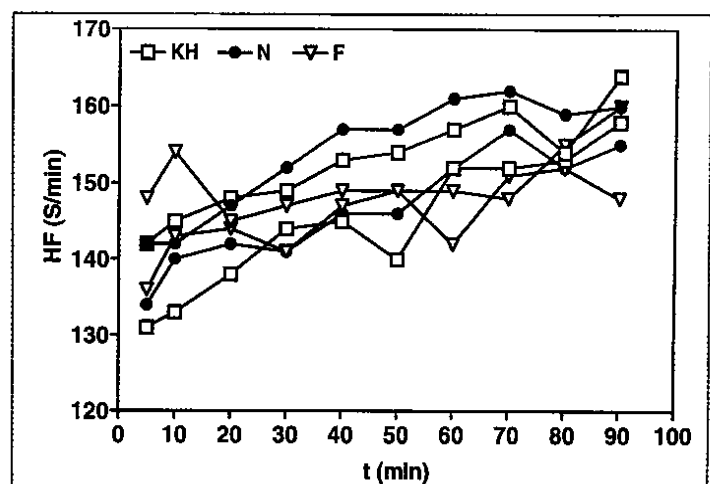


Abbildung 6: Verlauf der Herzfrequenz (HF) im extensiven Dauertest mit der Leistung von 80% des ersten Laktat Turn Points (LTP1) aus dem ersten Stufentest nach kohlenhydratreicher (KH), fettreicher (F) und normaler (N) einmonatiger Diät im Rahmen eines sechsmonatigen Ernährungsversuches.

der Gesamttrainingsbelastung kann insbesondere ein Einfluß der Ernährung als Ursache angesehen werden. Überraschend war, daß sich die Leistungsfähigkeit unserer Versuchsperson während des 6-monatigen Versuchs nicht verändert hat, jedoch gleiche Belastungen ernährungsabhängig mit unterschiedlichen Stoffwechselrelationen realisiert wurden. Der Hauptgrund hierfür dürfte in einer höheren Verfügbarkeit von Glykogen in der Arbeitsmuskulatur durch die KH-Diät liegen. Dies zeigt sich in deutlich höheren La Werten sowohl im Stufentest als auch in beiden Dauerbelastungen. Im Gegensatz dazu ist bei fettreicher, KH-armer Ernährung die Verfügbarkeit von Glykogen herabgesetzt, was sich in niedrigeren La-Werten in allen Belastungstests äußerte.

Phinney et al. (18, 19) fanden, daß eine vierwöchige fettreiche Diät keinen signifikanten Einfluß auf die maximale Sauerstoffaufnahme hatte. Der respiratorische Quotient (RQ) war jedoch auch bei der  $\text{VO}_2\text{max}$  deutlich abgesenkt, in Einzelfällen sogar unter 0.9. Die Ausdauerleistung war nicht signifikant von der Diät beeinflusst, der RQ jedoch deutlich erniedrigt, was auf eine dramatische Umstellung der Substratverwertung in der Muskulatur hindeutet. Die Blutlaktatkonzentration war durch die Diät nach 30 min submaximaler Belastung deutlich niedriger, jedoch bei Erschöpfung annähernd gleich hoch. Der Muskelglykogenspiegel war durch die Diät signifikant verringert, aber nach der Belastung annähernd gleich. Der Abfall während der Belastung war während der fett-

reichen Diät geringer. Die Probanden waren jedoch in der Lage ihren Glykogenspiegel nach der Belastung wieder aufzufüllen. Die Glykogenutilisation war jedoch nach vier Wochen Diät auf 21% der Kontrollgruppe reduziert (18, 19).

Man geht heute davon aus, daß durch KH-Loading eine Verbesserung der Ausdauerleistung erfolgt, allerdings nur eine Verlängerung, aber keine Erhöhung der Leistung (22, 24, 28). In der vorliegenden Studie war ebenfalls keine diätbedingte Leistungssteigerung zu finden. Ein möglicher Effekt auf die Dauer der Belastung wurde nicht untersucht. Entgegen den Erwartungen war die Maximalleistung in KH1 sogar um eine Belastungsstufe niedriger. Zwei mögliche Ursachen werden diskutiert. Einerseits kann die Tagesverfassung des Probanden eine Rolle spielen, andererseits wurde vom Probanden über eine unangenehme Spannung in der Arbeitsmuskulatur bei diesem Test geklagt. Durch die KH-reiche Kost wird durch die verstärkte Glykogeneinlagerung in der Arbeitsmuskulatur auch mehr Wasser im Muskel gebunden (14). Dies kann bei hoher Glykogenspeicherung zu einem unangenehmen Spannungsgefühl führen und eventuell sogar die Durchblutung in der Arbeitsmuskulatur beeinträchtigen, was möglicherweise die Maximalleistung im Stufentest limitiert. Durch die F-Diät war im Gegensatz zu den Ergebnissen von Yoshida (29) die Maximalleistung nicht beeinträchtigt. Ähnliche Ergebnisse wurden bereits von anderen Autoren gezeigt (10, 21).

Zusammenfassend kann man festhalten, daß eine deutliche Diätabhängigkeit der Laktatleistungskurve besteht. Fixe Laktatkennwerte werden davon deutlich beeinflusst, individuelle Umstellpunkte wie die Laktat Turn Points jedoch nicht. Unabhängig von der Diätform stellt sich im intensiven Dauertest am LTP2 ein Laktatgleichgewicht ein, jedoch abhängig von der Diätform mit unterschiedlich hohen La-Werten. Unter der Voraussetzung, daß die Ernährungsbedingungen vor einem Leistungstest konstant sind, kann man für die Beurteilung der Leistungsentwicklung auch fixe La-Kennwerte der LaLK verwenden. Durch die heute im Spitzensport üblichen Variationen unterschiedlicher Diätformen zur Unterstützung der Trainingsanpassung ist jedoch vor der Verwendung fixer La-Kennwerte abzuraten. Hier sind individuelle Verfahren zur Bestimmung submaximaler Kenngrößen wie z.B. die Laktat-Turn-Point Methode günstiger – mit dem zusätzlichen Vorteil, individuelle Trainingsbelastungen für das Ausdauertraining ableiten zu können.

Die Arbeit wurde von der österreichischen Gesellschaft für Ernährung unterstützt.

## Literatur

- 1 Aunola S., H. Rusko: The anaerobic threshold measured by four different bicycle exercise tests. Scand. J. Sports Sci. 4 (1982), 49-56.

# Laktatleistungskurve KASUISTIKEN

- 2 *Aunola S., H. Rusko:* Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J. Sports Sci.* 10 (1992), 309-323.
- 3 *Bracy D.P., B.A. Zinker, J.C. Jacobs, D.B. Lacy, D.H. Wasserman:* Carbohydrate metabolism during exercise: influence of circulating fat availability. *J. Appl. Physiol.* 79 (1995), 506-513.
- 4 *Busse M.W., N. Maassen, D. Böning:* Die Laktatleistungskurve - Kriterium der aeroben Kapazität oder Indiz für das Muskelglykogen? I. Glykogenverarmung. In: Riekert H. (ed.): *Sportmedizin - Kursbestimmung.* Springer, Berlin 1987, 455-460.
- 5 *Cabrera M.E., H.J. Chizek:* On the existence of a lactate threshold during incremental exercise: a system analysis. *J. Appl. Physiol.* 80 (1996), 1819-1828.
- 6 *Davis A., J. Bassett, P. Hughes, G.C. Gass:* Anaerobic threshold and lactate turn point. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50 (1983), 383-392.
- 7 *Frail H., L. Burke:* Carbohydrate needs for training. In: Burke L., V. Deakin (eds.): *Clinical Sports Nutrition.* McGraw-Hill, Sydney 1994, 151-173.
- 8 *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.
- 9 *Hofmann P., V. Bunc, H. Leitner, R. Pokan, G. Gaisl:* Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69 (1994), 132-139.
- 10 *Ivy J.L., D.L. Costill, P.J. Van Handel, D.A. Essig, R.W. Lower:* Alteration in the Lactate Threshold with Changes in Substrate Availability. *Int. J. Sports Med.* 2 (1981), 139-142.
- 11 *Lamprecht M., W. Mlekusch, G. Reitnegger, J. König, I. Elmadfa, P. Hofmann, G. Schwaberg, G.A. Khoschorur:* Antioxidant Status during Exercise and the Effect of Vitamin Supplementation. Workshop „Oxidative Stress“ Seggau, Austria, 1996, 43.
- 12 *Lapachet R.A.B., W.G. Miller, D.A. Arnall:* Body fat and exercise endurance in trained rats adapted to high-fat and/or high-carbohydrate diet. *J. Appl. Physiol.* 80 (1996), 1173-1179.
- 13 *Leitner H., P. Hofmann, K. Leitner:* Software zur Auswertung von Herzfrequenz- und Laktatwerten in der Leistungsdiagnostik. *Österr. J. Sportmed.* 22 (1992), 115-118.
- 14 *Lindinger M.I., L.L. Spriet, E. Hullman, T. Putman, R.S. McKelvie, L.C. Lands, N.L. Jones, G.J.F. Heigenhauser:* Plasma volume and ion regulation during exercise after low- and high-carbohydrate diets. *Am. J. Physiol.* 266 (1994), 1896-1906.
- 15 *Maassen N., M.W. Busse, D. Böning:* Die Laktatleistungskurve - Kriterium der aeroben Kapazität oder Indiz für das Muskelglykogen? II. Kohlenhydratreiche Ernährung. In: Riekert H. (ed.): *Sportmedizin - Kursbestimmung.* Springer, Berlin 1987, 460-464.
- 16 *Mader A., H. Liesen, H. Heck, H. Philipp, P.M. Schürch, W. Hollmann:* Zur Beurteilung der

sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit. *Sportarzt Sportmed.* 27 (1976), 80-88, 109-112.

- 17 *McKenzie D.C., A. Mavrogiannis:* Changes in Lactate Inflection Point with Prolonged Aerobic Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18 (1986), Suppl., 24.
- 18 *Phinney S.D., B.R. Bistrian, W.J. Evans, E. Gervino, G.L. Blackburn:* The Human metabolic Response to Chronic Ketosis Without Caloric Restriction: Preservation of Submaximal Exercise Capability with Reduced Carbohydrate Oxidation. *Metabolism* 32 (1983), 769-776.
- 19 *Phinney S.D., B.R. Bistrian, R.R. Wolfe, G.L. Blackburn:* The Human metabolic Response to Chronic Ketosis Without Caloric Restriction: Physical and Biochemical Adaptation. *Metabolism* 32 (1983), 757-768.
- 20 *Pizza F.X., M.G. Flynn, B.D. Duscha, J. Holden, E.R. Kubitz:* A Carbohydrate Loading Regimen Improves High Intensity, Short Duration Exercise Performance. *Int. J. Sport Nutr.* 5 (1995), 110-116.
- 21 *Prusaczyk W.K., K.J. Cureton, R.E. Graham, C.A. Ray:* Differential effects of dietary carbohydrate on RPE at the lactate and ventilatory thresholds. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24 (1992), 568-575.
- 22 *Rauch L.H.G., I. Rodger, G.R. Wilson, J.D. Belonje, S.C. Dennis, T.D. Noakes, J.A. Hawley:* The Effect of Carbohydrate Loading on Muscle Glycogen Content and Cycling Performance. *Int. J. Sport Nutr.* 5 (1995), 25-36.
- 23 *Reilly T., V. Woodbridge:* Effect of glycogen-reduction regimen on lactate-velocity curves in swimmers. In: Marconnet P., Gaulard J., Margaritis I., Tessier F. (eds.): *First Annual Congress ECSS - Frontiers in Sport Science 1996.* 704-705.
- 24 *Sherman W.M.:* Metabolism of sugars and physical performance. *Int. J. Clin. Nutr.* 62 (1995), Suppl., 228-241.
- 25 *Sherman W.M., N. Leenders:* Fat Loading: The Next Magic Bullet? *Int. J. Sport Nutr.* 5 (1995), 1-12.
- 26 *Turcotte L.P., P. Hespel, E.A. Richter:* Circulating palmitate uptake and oxidation are not altered by glycogen depletion in contracting skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 78 (1995), 1266-1272.

Zur Schmerztherapie...

## DOLOTENS®

Die verordnungsfähige Alternative!

5 Jahre Garantie

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

neu!



Brudermüller



Handelsvertreter gesucht!

Brudermüller GmbH  
Elektromedizin  
Postfach 1353  
D-72703 Reutlingen  
Tel. (07121)26 93-0  
Fax (07121)26 93-26

Technische Änderungen vorbehalten

- 27 *van Zyl C.G., E.V. Lambert, J.A. Hawley, T.D. Noakes, S.C. Dennis:* Effects of medium-chain triglyceride ingestion on fuel metabolism and cycling performance. *J. Appl. Physiol.* 80 (1996), 2217-2225.
- 28 *Walberg-Rankin J.:* Dietary Carbohydrate as an Ergogenic Aid for Prolonged and Brief Competitions in Sport. *Int. J. Sport Nutr.* 5 (1995), 13-28.
- 29 *Yoshida T.:* Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53 (1984), 200-205.
- 30 *Zimmer J., B. Pansold, R. Buckwitz:* Computergestützte Auswertung von Stufentests in der Leistungsdiagnostik. *Leistungssport* 23 (1993), 21-26.

**Anschrift für die Autoren:**

**Univ. Ass. Mag. Dr. Peter Hofmann**  
Leiter der Abt. Physiologie und  
Biometrie des Sports  
Institut für Sportwissenschaften  
Karl-Franzens-Universität Graz  
Mozartgasse 14/1  
A-8010 GRAZ  
AUSTRIA  
Tel.: 0043 (0) 316-380-2329