

Bedeutung der Laktat-Leistungsdiagnostik im Rahmen der Ernährung mit unterschiedlichen Kohlenhydratanteilen.

Dr. Sven Fikenzer

15.09.2018



- Hintergrund KH-Stoffwechsel und Laktat
- Historischer Abriss zur Laktat-Leistungsdiagnostik
- Einfluss einer KH-reduzierten Ernährung
- Einfluss einer KH-betonten Ernährung
- Bedeutung des Laktats in der Adaptation
- Lösungsmöglichkeiten
- Fazit



Prof. D. Böning:

„In der Sportmedizin ist die Laktat- oder Milchsäuremessung seit Jahrzehnten eine Routinemethode. Sie dient zur Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Trainingserfolg vor allem in Form von Laktatschwellen.“

Editorial, Zeitschrift für Sportmedizin, 59 (12), 2008

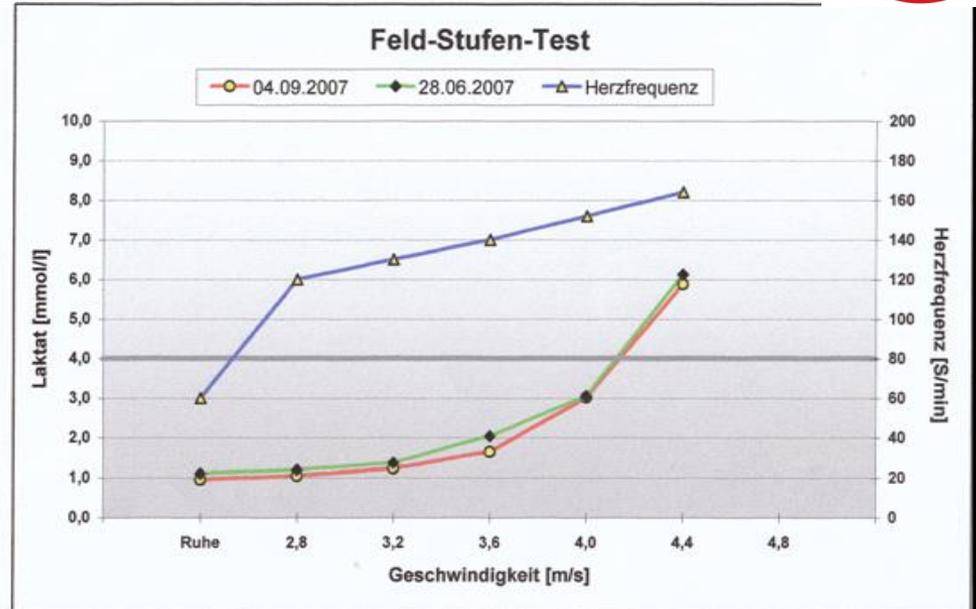
Was ist eigentlich Laktat?



Datum: 04.09.2007
Verein: FC Carl Zeiss Jena
Name: [REDACTED]

Meßwerte F-S-T			
v [m/s]	Laktat [mmol/l]	Vergleich 28.06.2007	HF [S/min]
Ruhe	1,0	1,1	60
2,8	1,1	1,2	120
3,2	1,2	1,4	130
3,6	1,7	2,0	140
4,0	3,0	3,1	152
4,4	5,9	6,1	164
4,8			

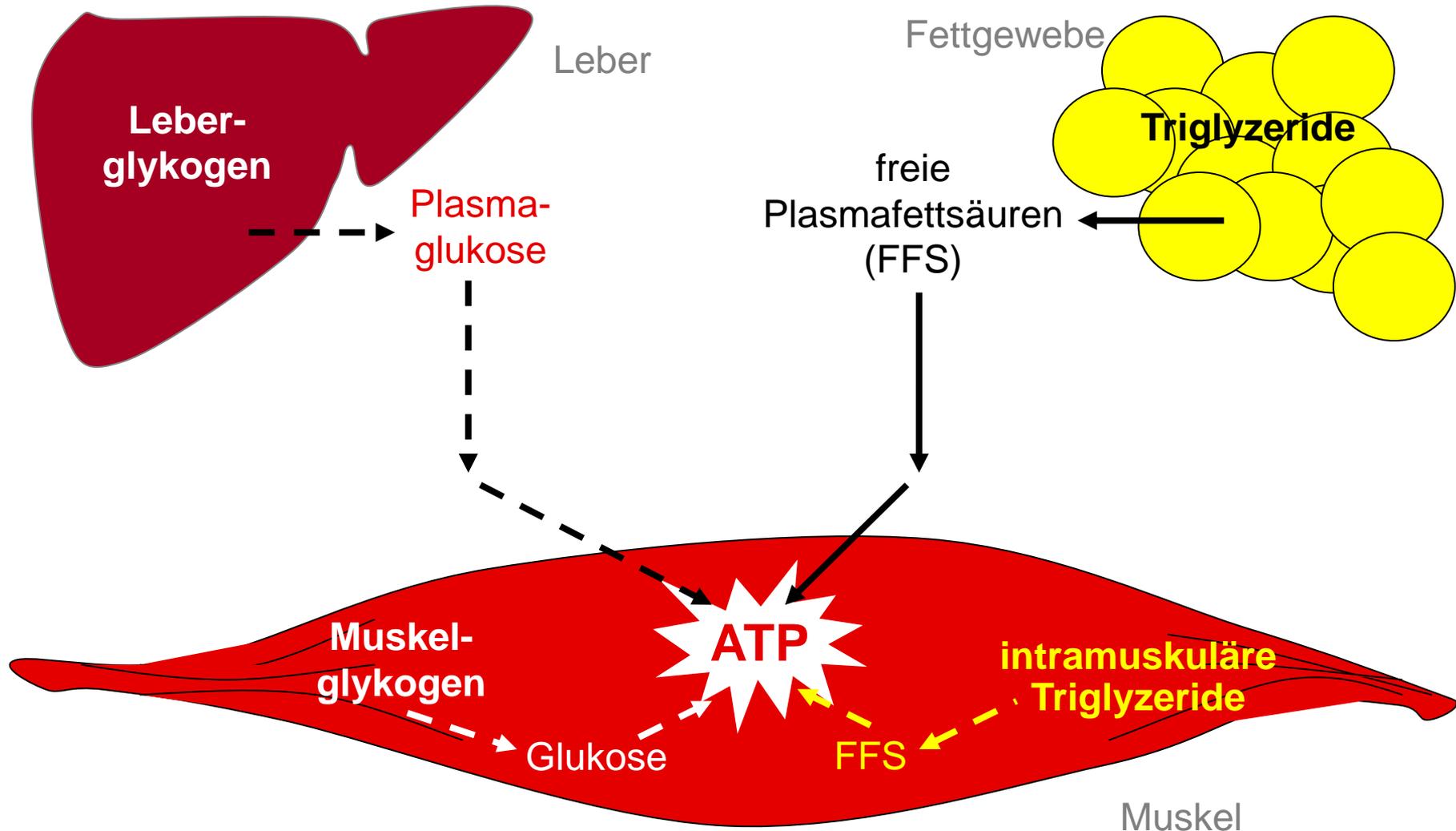
BLUTWERTE	
Creatinphosphatkinase	IU/L
Harnstoff	mmol/l
Magnesium	mmol/l
Calcium	mmol/l
Harnsäure	mg/dl
Hämoglobin	g/dl



4,14 m/s - Geschwindigkeit bei 4 mmol/l

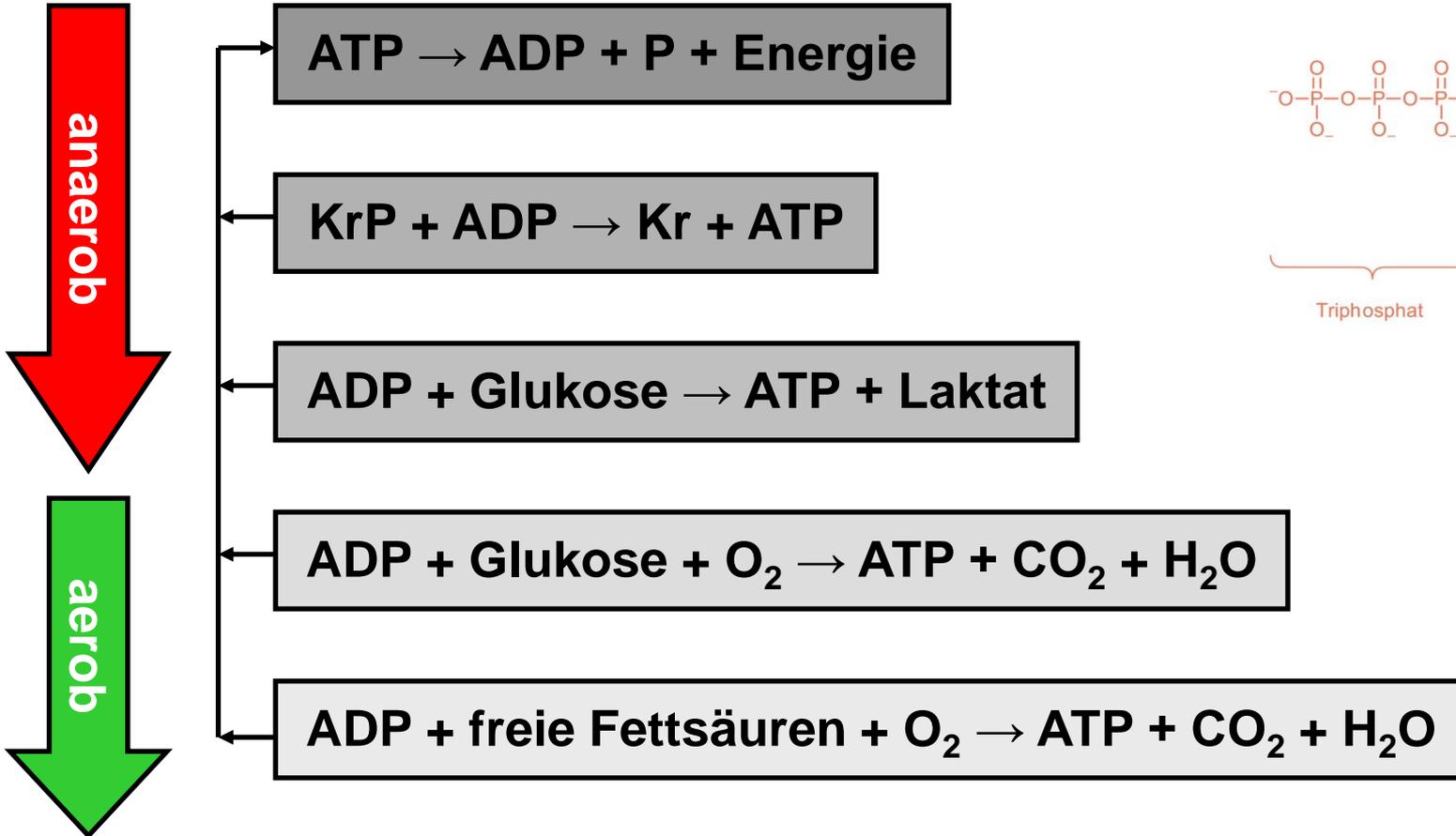
Trainingsbereiche	Trainingsempfehlung		
	v [m/s]	1000m in min:s	HF [S/min]
regenerativ	3,15	05:17	128
extensiv	3,55	04:42	139
intensiv	3,75	04:27	145

Quellen der Energieproduktion

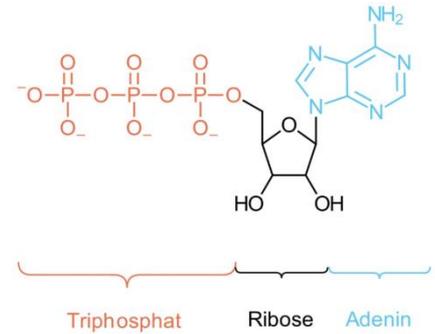


Hintergrund

Energiestoffwechsel



ATP



Hintergrund



Maximale Geschwindigkeit der verschiedenen Wege der ATP-Resynthese

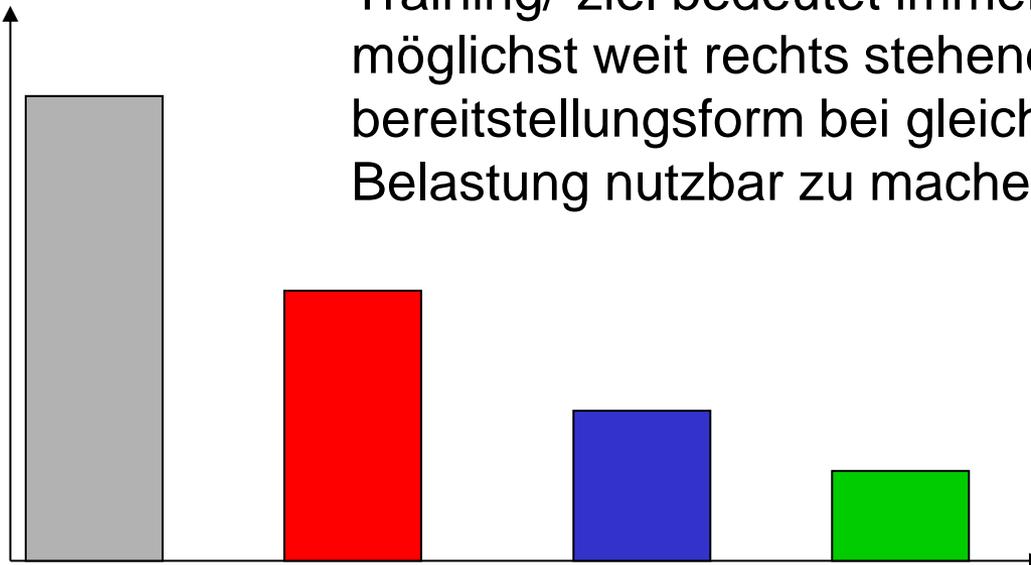
$\frac{\text{mol ATP}}{\text{kg} \times \text{min}}$

0,5

0,4

0,3

0,2



CrP

anaerobe
Glykolyse

aerob KH

aerob FS

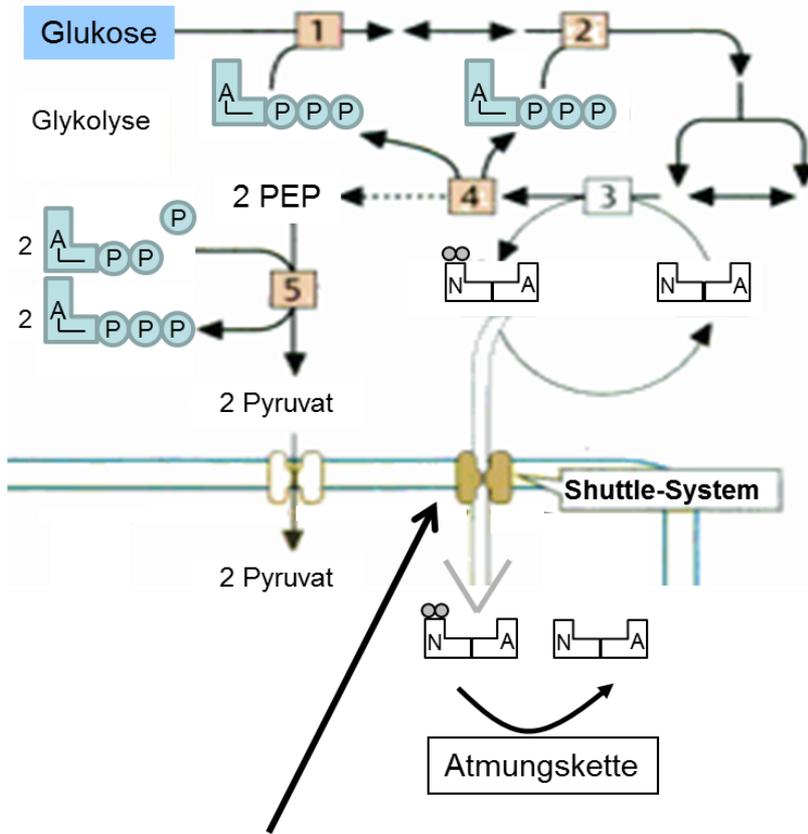
Für die konditionellen Fähigkeiten:

Training/-ziel bedeutet immer, die möglichst weit rechts stehende Energiebereitstellungsform bei gleicher Belastung nutzbar zu machen.

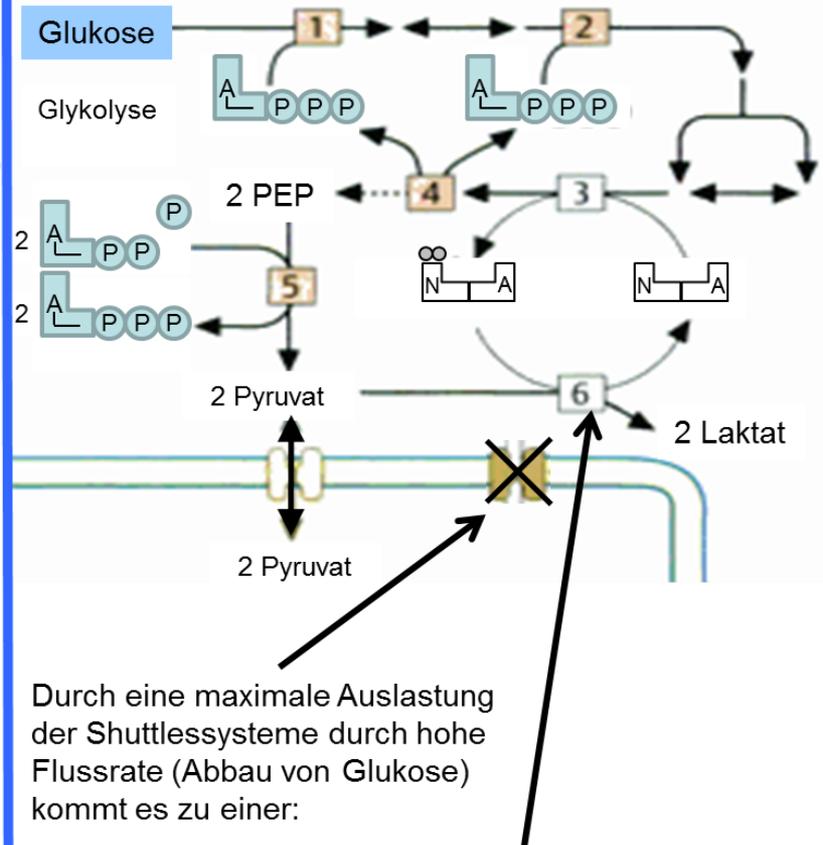
Hintergrund



Kohlehydratstoffwechsel und Laktat



Moderate Belastungen überfordern die Shuttle-systeme nicht, dadurch kann NAD^+ über das Mitochondrium energiebringend (ATP) regeneriert werden.

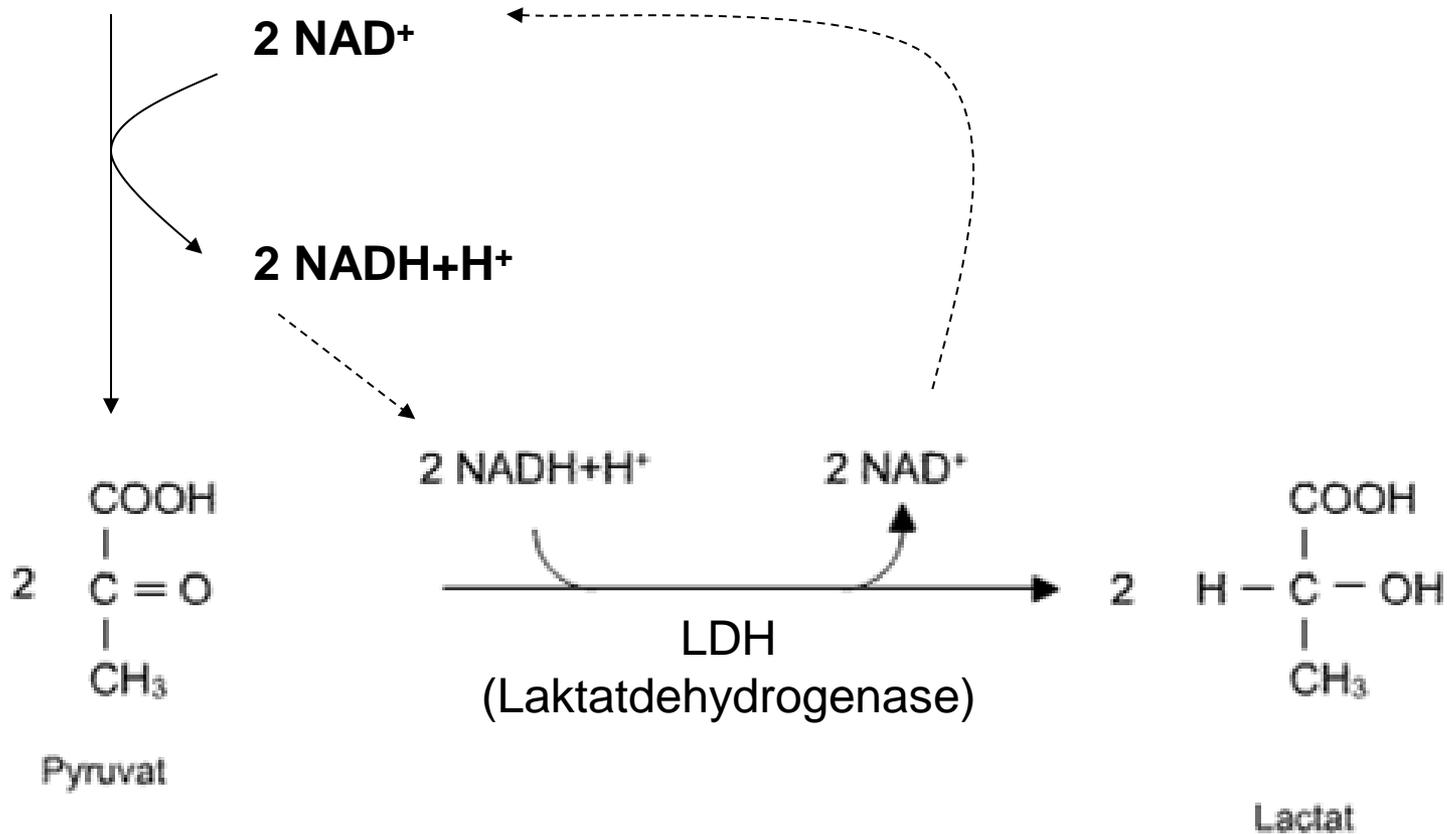


NAD^+ -Regeneration im Zellplasma; dieses liefert keine zusätzliche Energie in Form von ATP, sondern 2 Mol Laktat.

Hintergrund

NAD⁺ - Regeneration

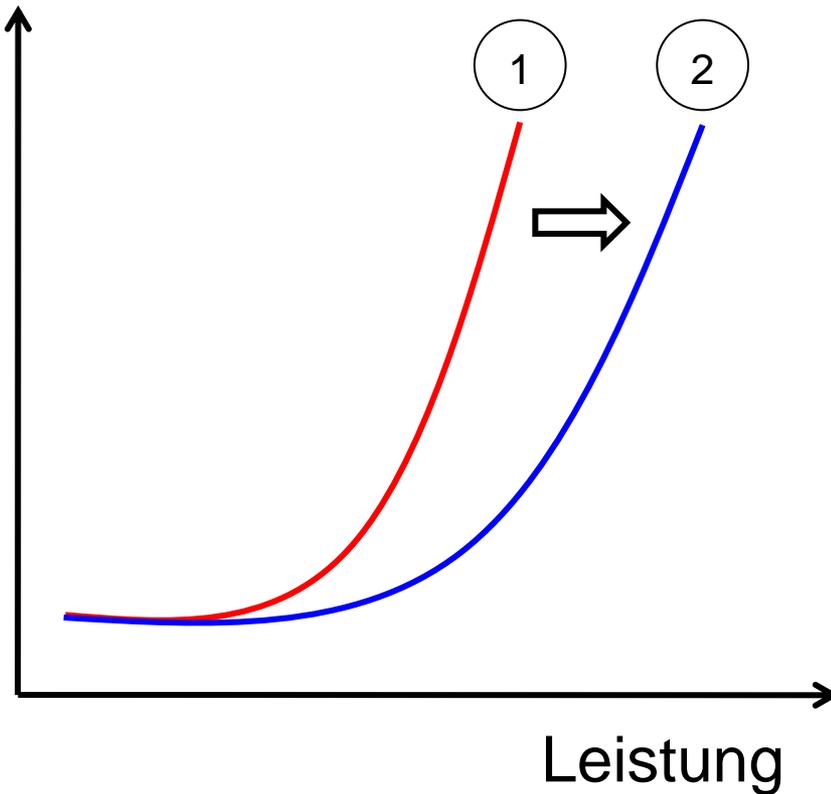
Glukose



Historischer Abriss



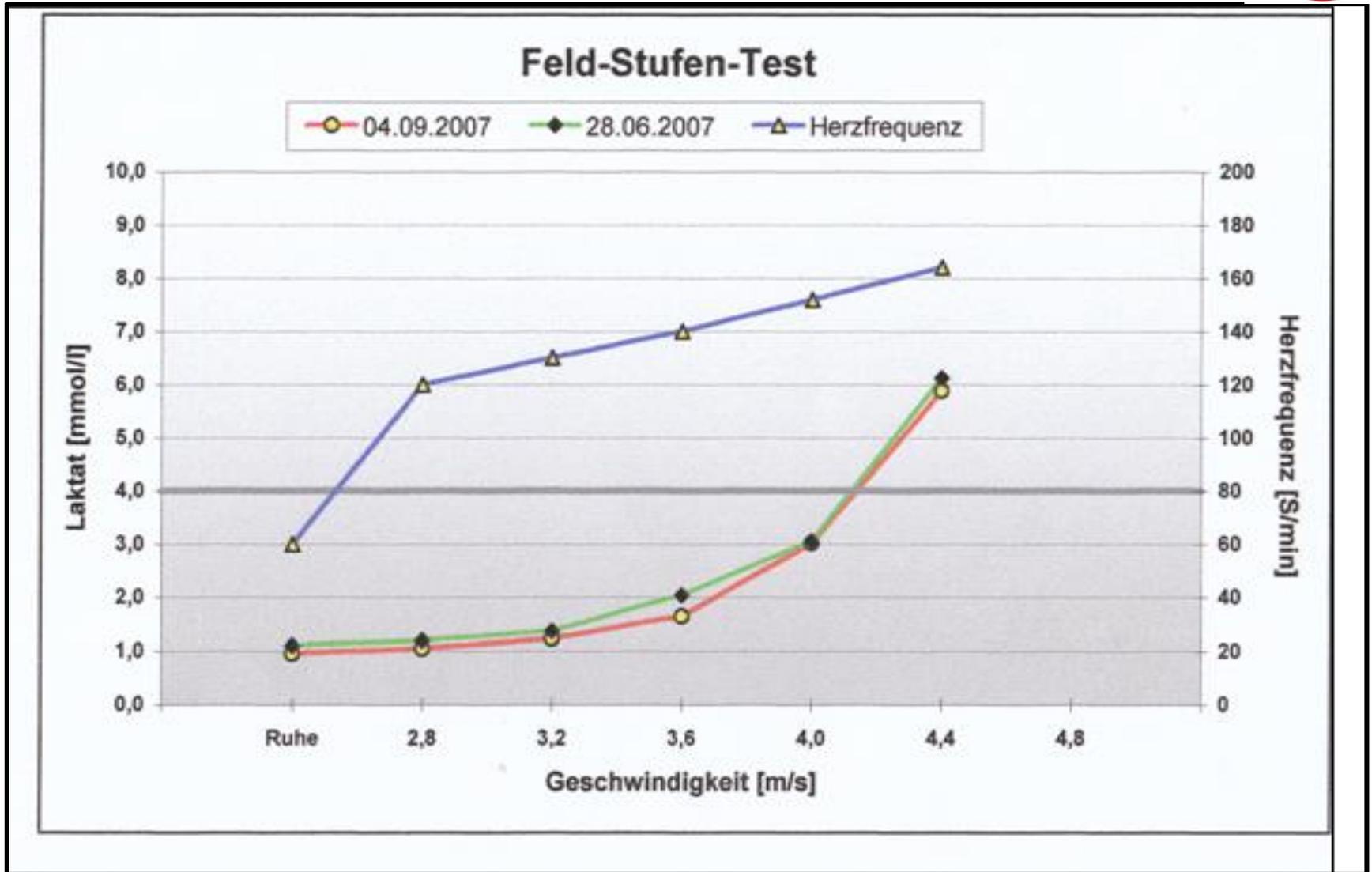
Laktat



Die Laktatkonzentration im kapillären Blut gilt als repräsentativ für die aktuelle metabolische Beanspruchung.

In Form von Laktatleistungskurven dient sie der Feststellung der Leistungsfähigkeit oder auch als Referenz für Trainingsempfehlungen.

Je weiter sich so eine Laktatleistungskurve „nach rechts“ verschiebt, desto höher ist die Ausdauerleistungsfähigkeit des untersuchten Probanden.



Historischer Abriss



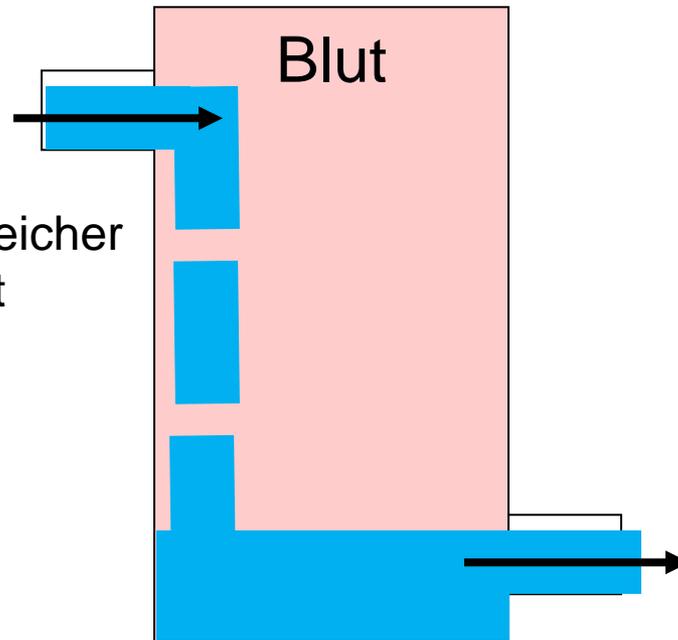
Laktatschwelle (Laktat-Steady-State):

Laktatproduktion (Invasion) = Laktatelimination (Evasion)

Invasion

abhängig von:

- Muskelglykogen/Speicher
- Belastungsintensität



Evasion

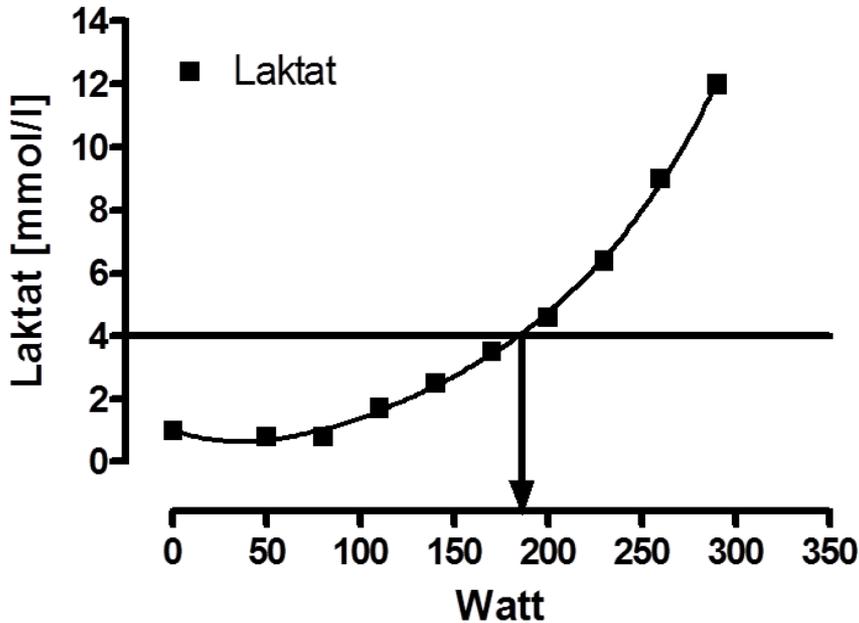
abhängig von:

- Laktataufnahme (Organe)
- Laktatabbau im Muskel (LDH)

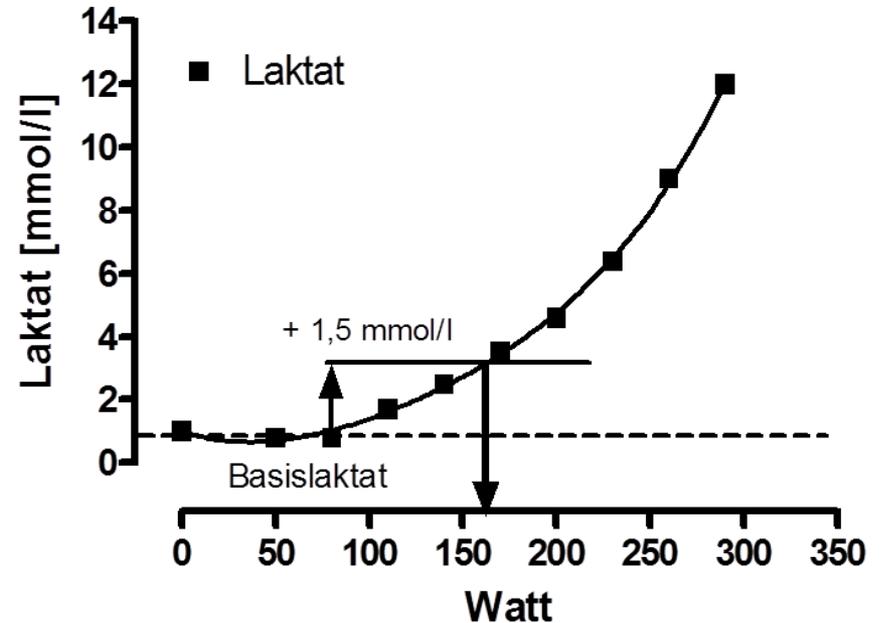
Historischer Abriss

Laktat-Schwellen-Konzepte

4,0 mmol/l nach Mader et al. (1976)



IAS nach Dickhuth et al. (1991)

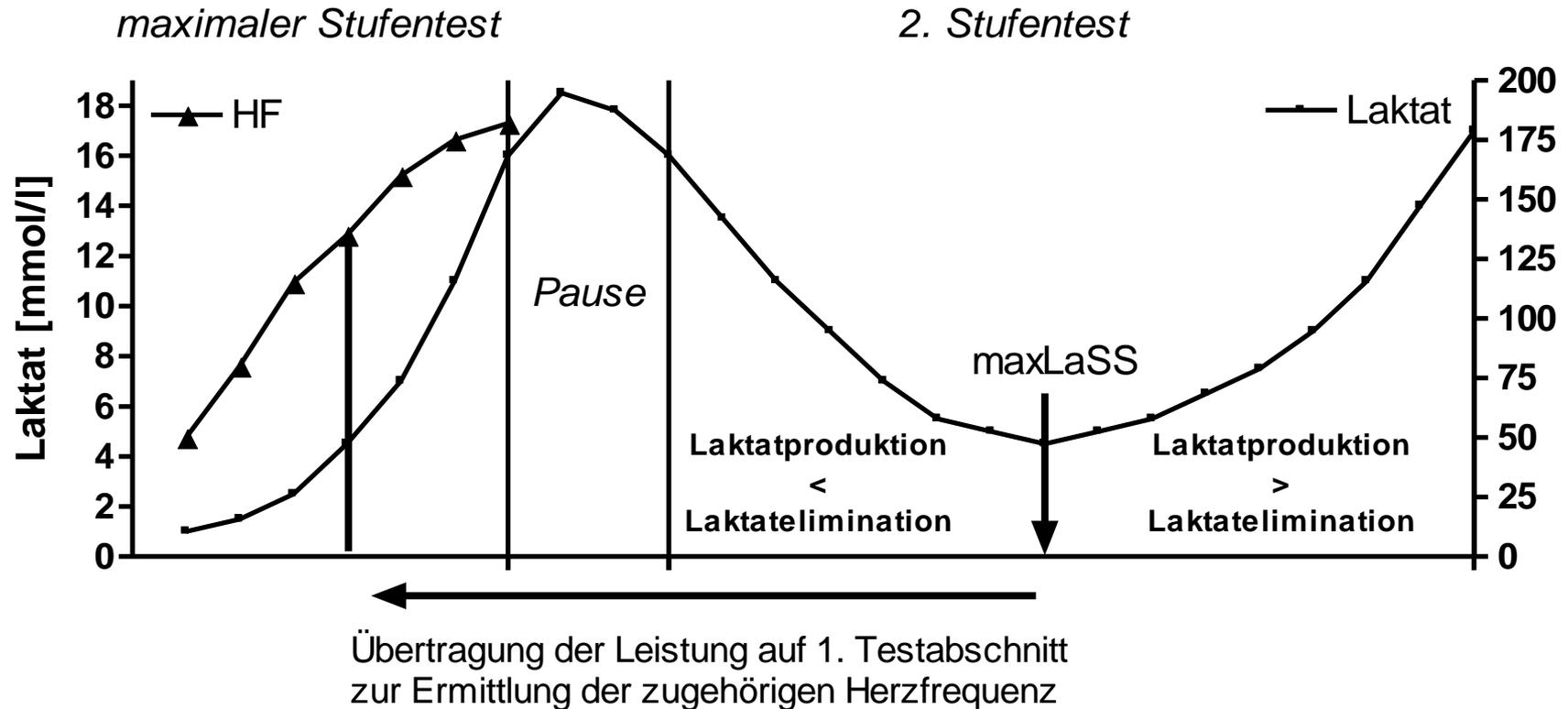


CAVE!

Historischer Abriss

Laktat-Schwellen-Konzepte

MaxLaSS nach Braumann et al. (1991)



Einfluss einer KH-reduzierten Ernährung



Physiologisch günstige Effekte

kohlenhydratreduziert

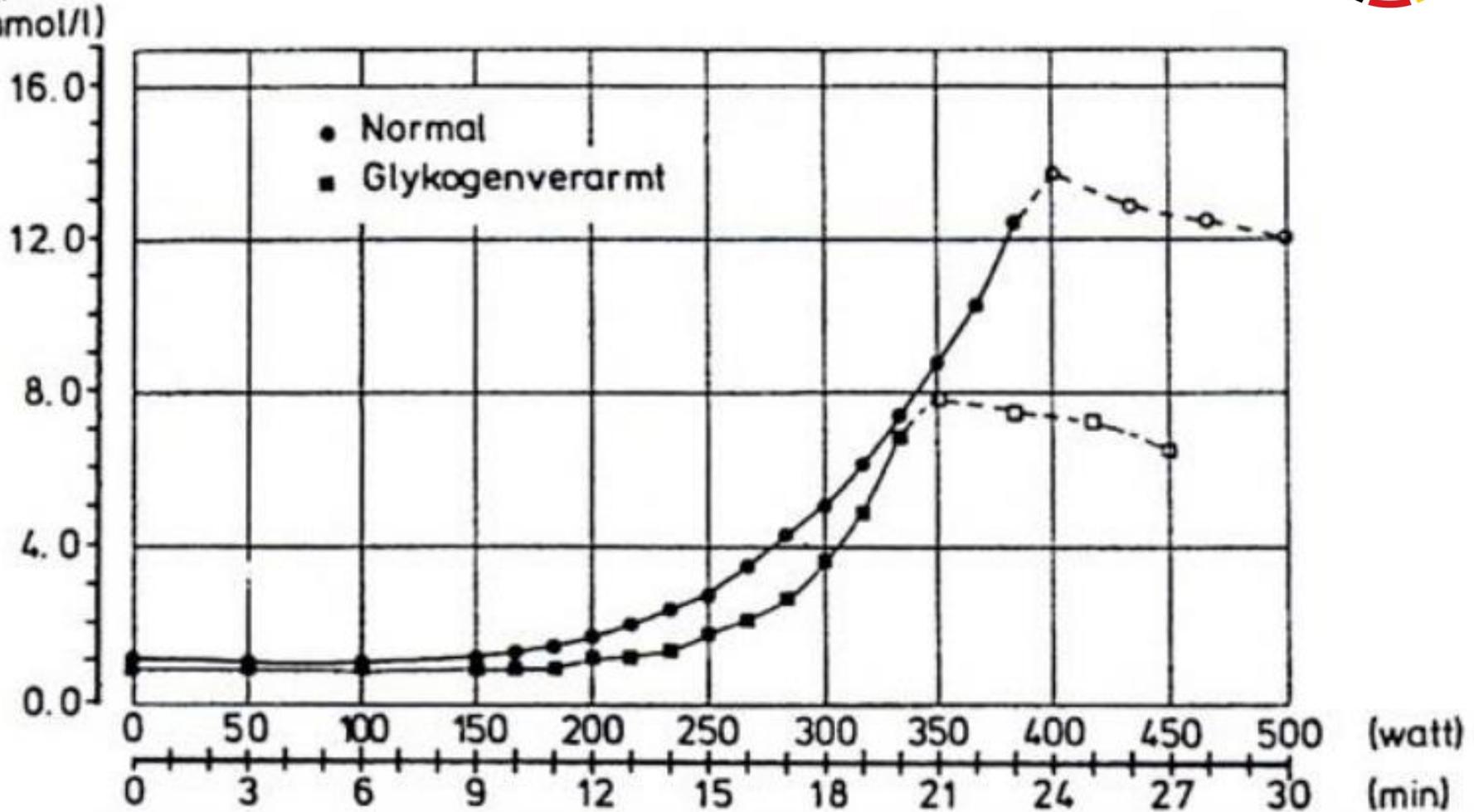
- Vermeidung von ungewolltem Körperfettansatz
- Evtl. Verbesserung der Insulinsensitivität
- Förderung der Fettsäureoxidation

Physiologisch ungünstige Effekte

kohlenhydratreduziert

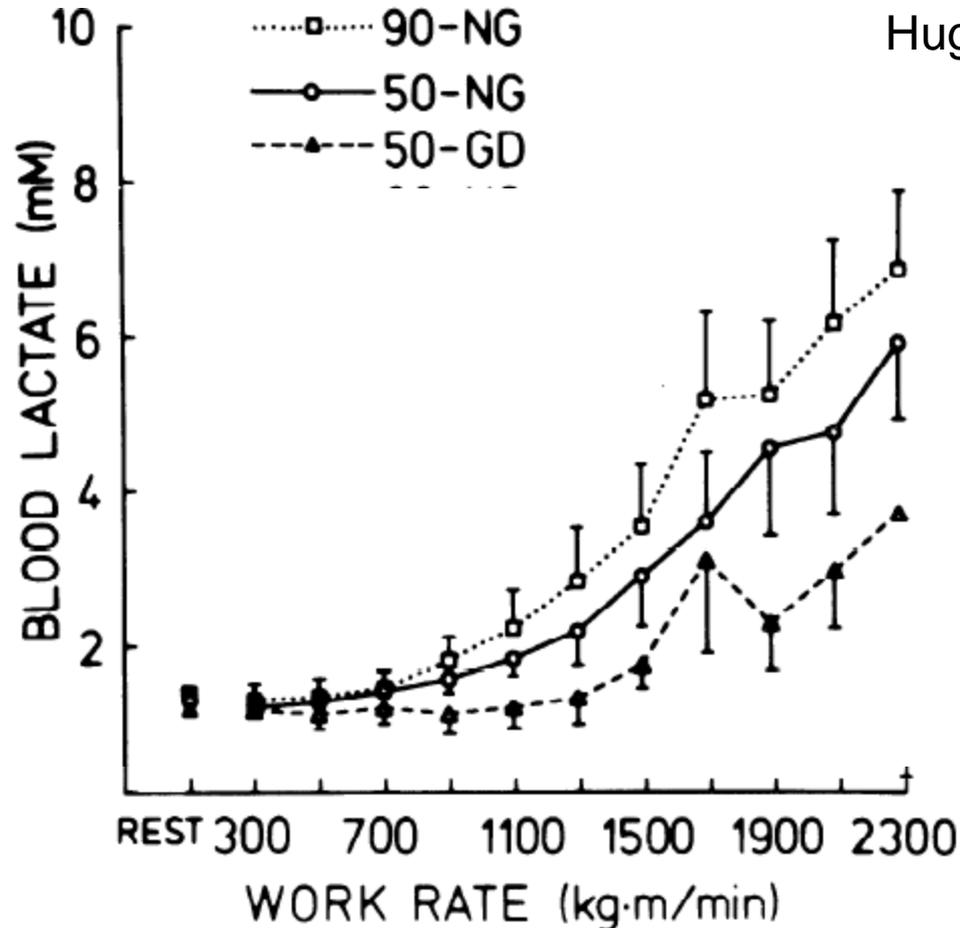
- evtl. Leistungseinschränkung
- Hemmung der Regeneration der Glykogenspeicher
- schlechterer Immunstatus

Einfluss einer KH-reduzierten Ernährung



Laktat-Leistungs-Kurven eines Sportlers nach zweitägiger Trainingspause und nach Glykogenverarmung. (Aus Busse et al. 1986 [1])

Einfluss einer KH-reduzierten Ernährung



Hughes et al. (1982) J Appl. Physiol.

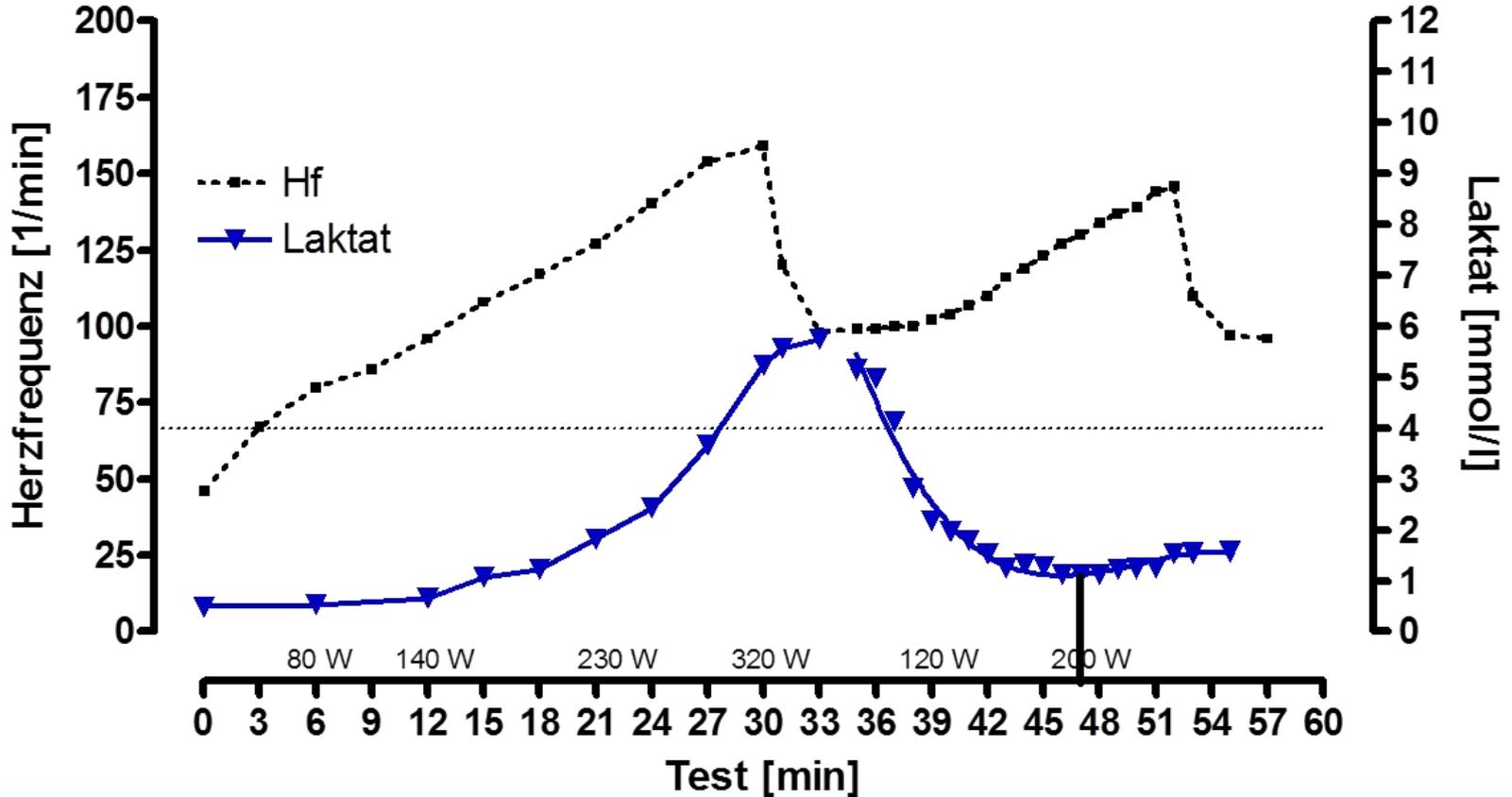
NG: normaler Glycogenstatus

GD: depletierter Glykogenstatus

Fallbeispiele:

Fußballprofi (2.Liga) 25 Jahre

-Wadenkrämpfe ab der 60. Spielminute



Fallbeispiel KH-depletiert



Fallbeispiele: 2006

Radsportler, Alter 64 Jahre

-Teilnehmer „TransAlp“ 2004-2006



Hauptdiagnosen:

V. a. arterielle Hypertonie

Gew., Größe, BMI:

60kg ; 164cm; BMI 22,22

Zusammenfassung:

Ruhehypertonie (180/90mmHg)

RR-Belastungsreaktion (240/80mmHg)

Herzfrequenz (142Hfmax ; 90%Normalwert)

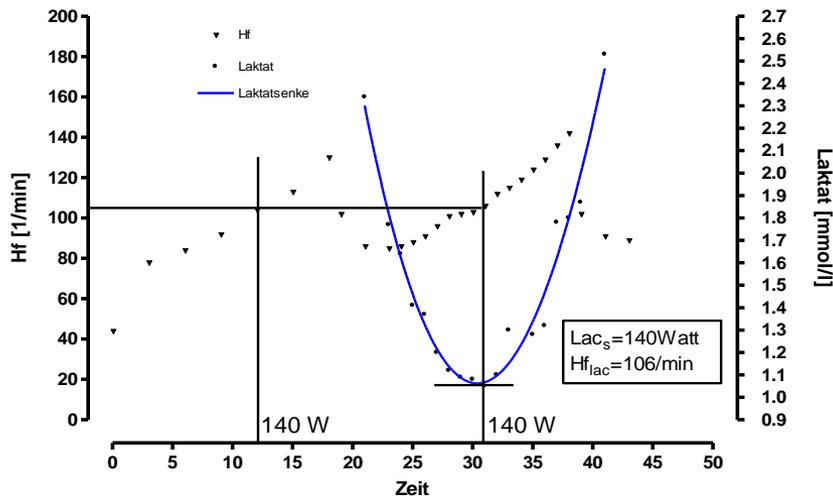
Belastbarkeit (200Wmax , 148% Normalwert)

Laktatsenke bei 140 Watt (70% P_{max})

Laktatmaximum: 2,7 mmol/l

Ventilatorische Schwelle bei 160 Watt (80% P_{max})

Prognostischen Maximalleistung von 220 Watt



Empfehlung:

-RR- Optimierung

-Trainingsbelastungsreduktion zur

Auffüllung der Glykogenreserve

-Ausdauertraining bei Hf ~115/min

-Wiedervorstellung in 6 Monaten

Fallbeispiel KH-depletiert

Fallbeispiele: 2007

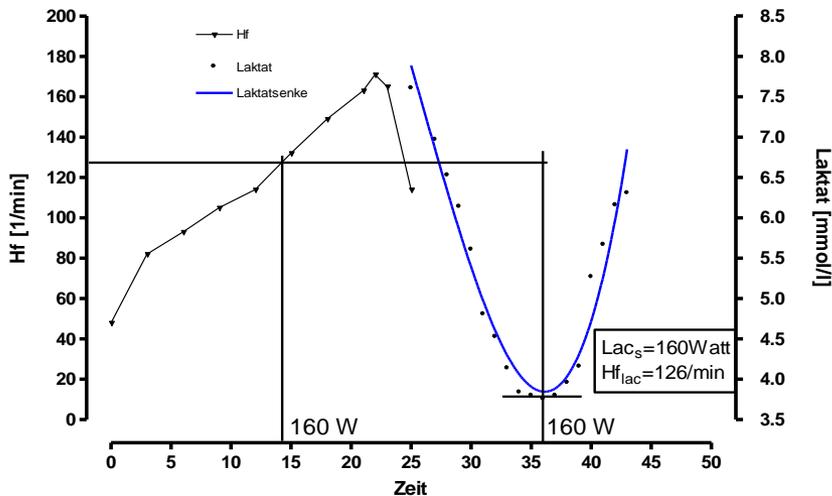
Radsportler, Alter 65 Jahre

-Teilnehmer „TransAlp“ 2004-2006



Hauptdiagnosen:
arterielle Hypertonie
Diovan 160 (1-0-0)

Gew., Größe, BMI:
60kg ; 164cm; BMI 22,22



Zusammenfassung:

Ruhe-RR (130/80mmHg)

RR-Belastungsreaktion (235/65mmHg)

Herzfrequenz (171Hfmax ; 109%Normalwert)

Belastbarkeit (240Wmax , 178% Normalwert)

Laktatsenke bei 160 Watt (67% P_{max})

Laktatmaximum: 7,9 mmol/l

Ventilatorische Schwelle bei 170 Watt (71% P_{max})

Prognostischen Maximalleistung von 240 Watt

Empfehlung:

-RR- Optimierung

-Streßechokardiographie

-Ausdauertraining bei Hf ~130/min

-Wiedervorstellung in 12 Monaten

Einfluss einer KH-betonten Ernährung



Physiologisch günstige Effekte

kohlenhydratbetont

- gutes körperliches Leistungsvermögen
- schnelle Regeneration

Physiologisch ungünstige Effekte

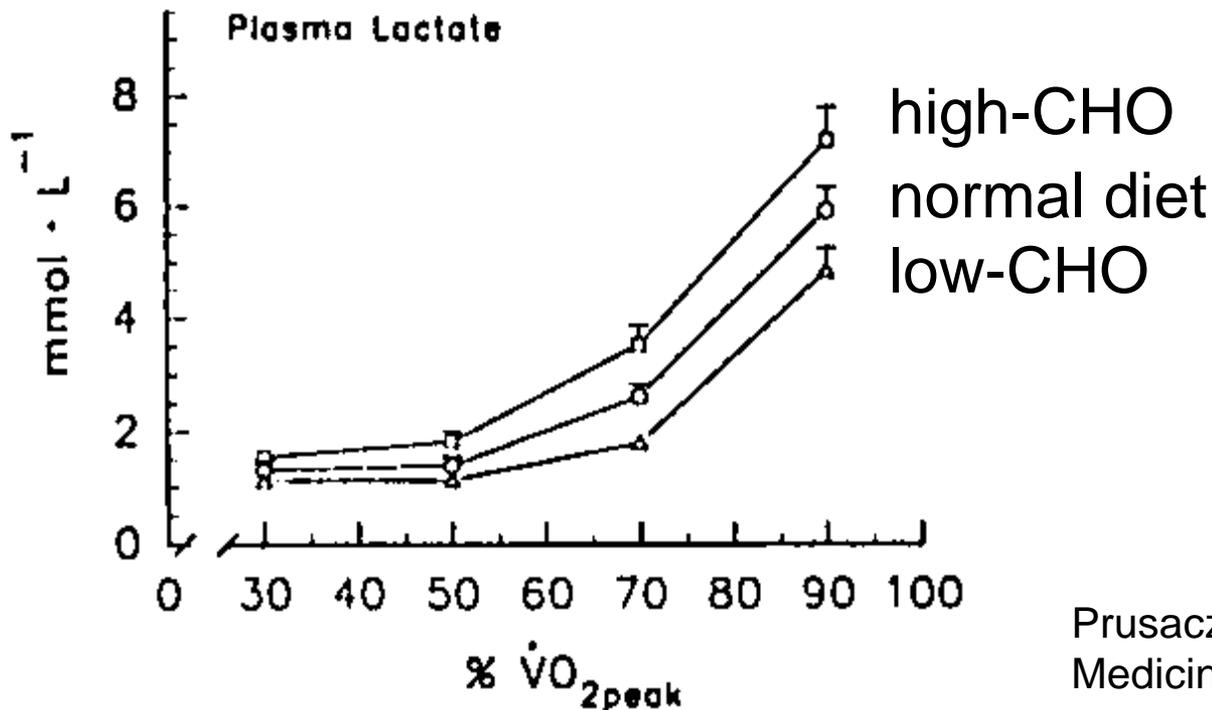
kohlenhydratbetont

- evtl. verstärkter Körperfettansatz

Einfluss einer KH-betonten Ernährung



Figure 1—Mean (\pm SE) respiratory and metabolic responses to exercise at 30, 50, 70, and 90% $\dot{V}O_{2peak}$ under NC (3 d on a mixed diet, *open circles*), HC (glycogen depletion and 3 d on a high-CHO diet, *open squares*), and LC (glycogen depletion and 3 d on a low-CHO diet, *open triangles*) conditions. $N = 10$.



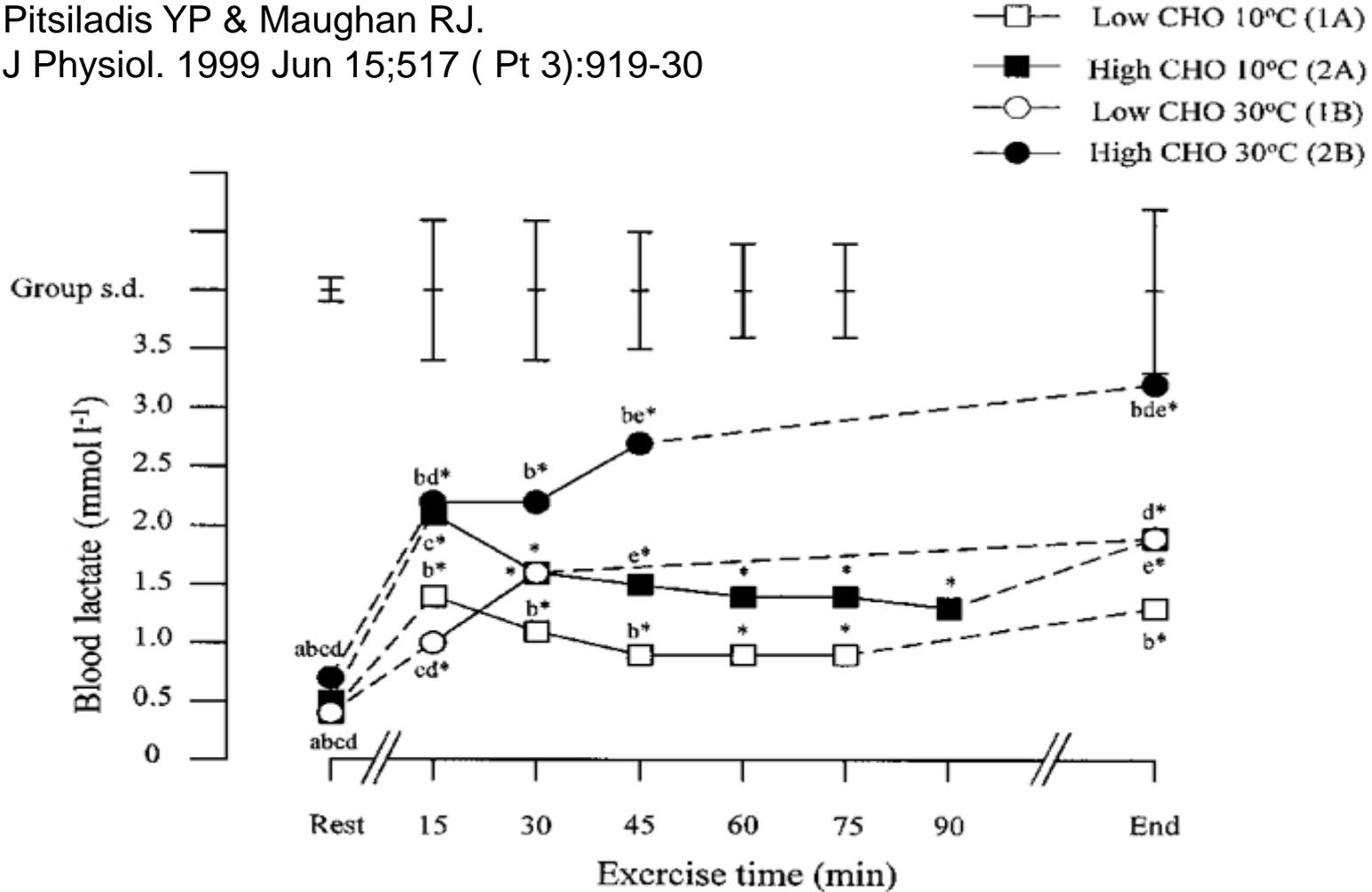
Prusaczyk et al. (1992)
Medicine & Science in Sports & Exercise

Cycle tests to exhaustion at 70 % of maximum oxygen uptake



Pitsiladis YP & Maughan RJ.

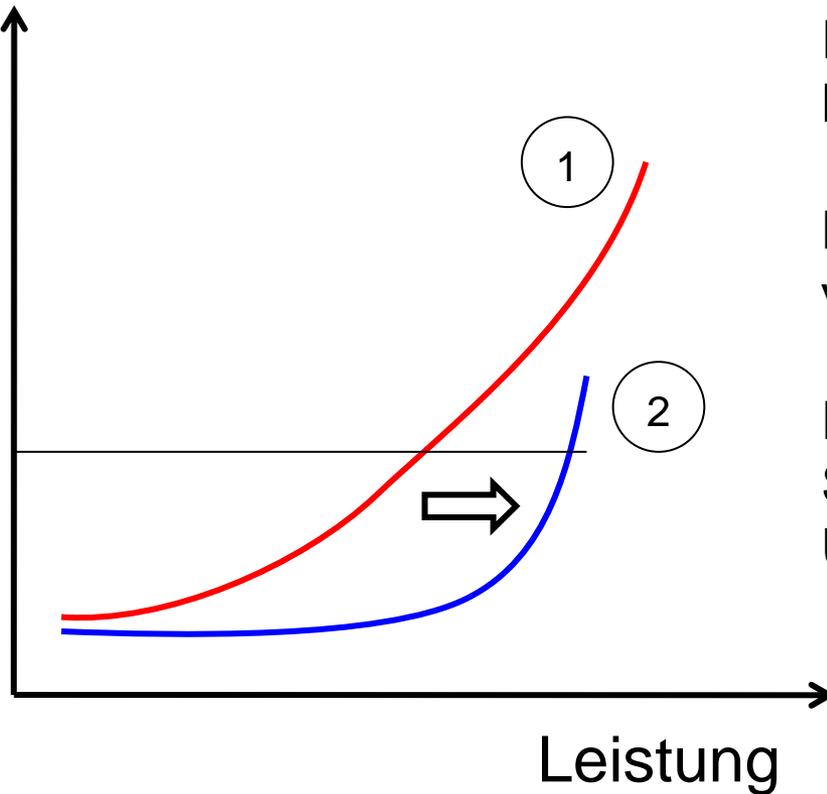
J Physiol. 1999 Jun 15;517 (Pt 3):919-30



Zwischenfazit



Laktat



KH-reduzierte Kost führt zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve (2).

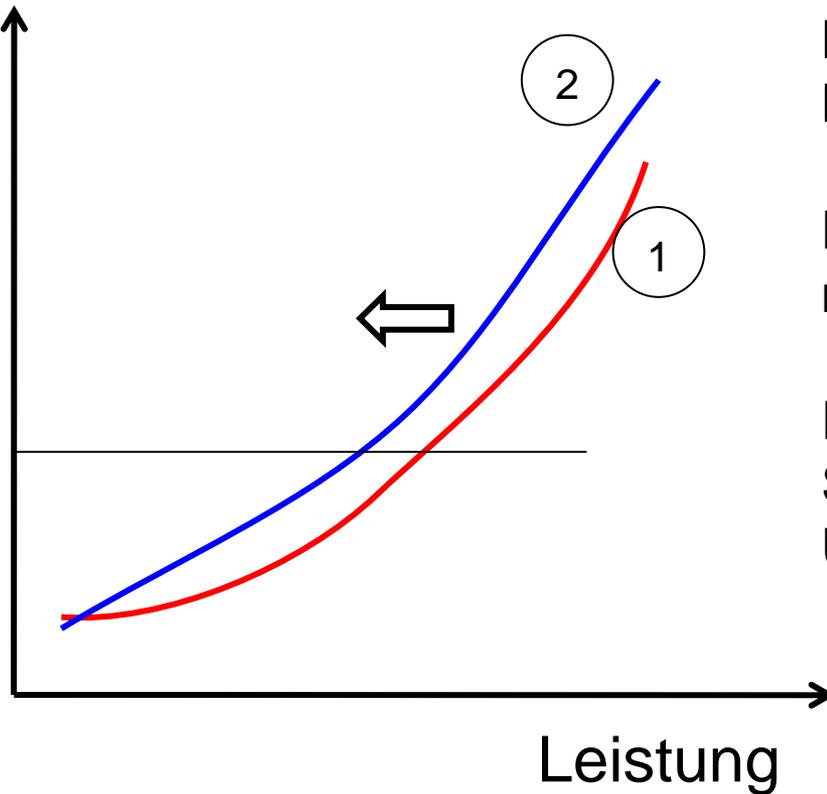
Dies ist nicht Ausdruck einer Leistungsverbesserung!

Eine Beurteilung anhand einer „fixen“ Schwelle (zB 4 mmol/l) führt zu einer Überschätzung der Leistungsfähigkeit

Zwischenfazit



Laktat

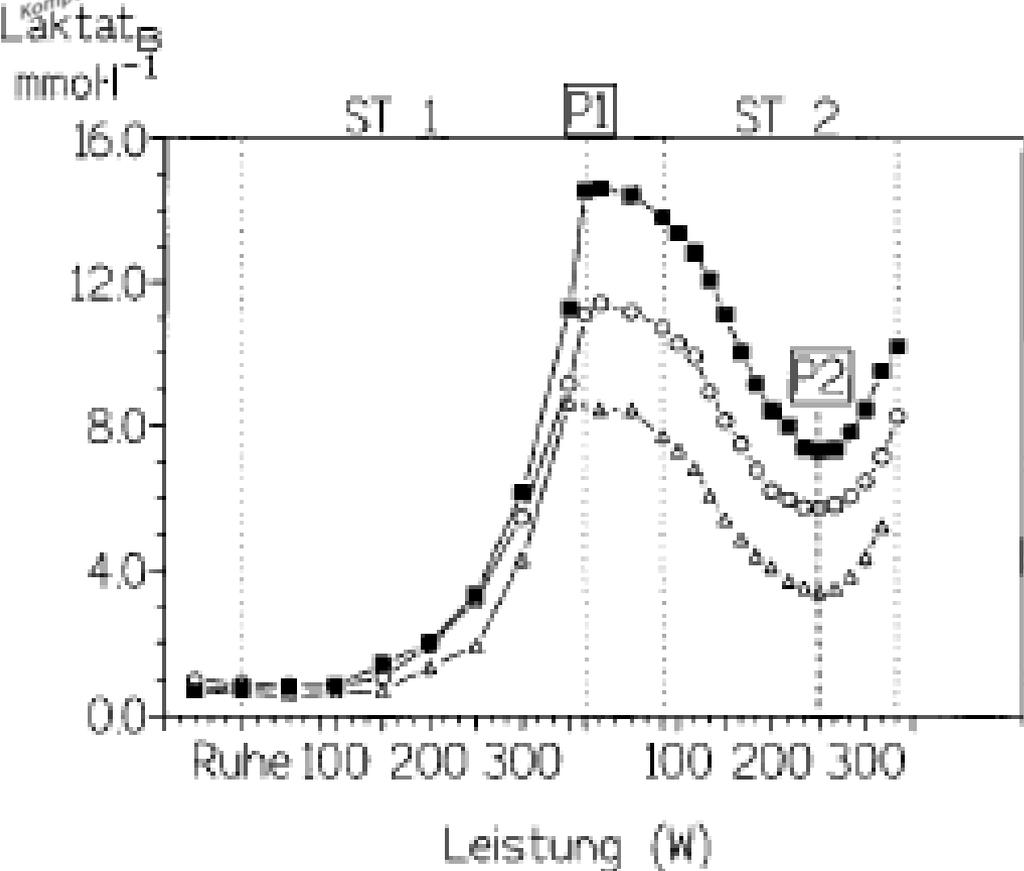


KH-betonte Kost führt zu einer Linksverschiebung der Laktat-Leistungskurve (2).

Dies ist nicht Ausdruck einer Leistungsminderung!

Eine Beurteilung anhand einer „fixen“ Schwelle (zB 4 mmol/l) führt zu einer Unterschätzung der Leistungsfähigkeit

Lösungsmöglichkeiten



Wenn Laktat, dann vielleicht die Methode nach Braumann (Laktatsenke).

Hier spielen die Glykogenspeicher zunächst keine relevante Rolle.

Tegtbur et al. (2001), Z Kardiologie

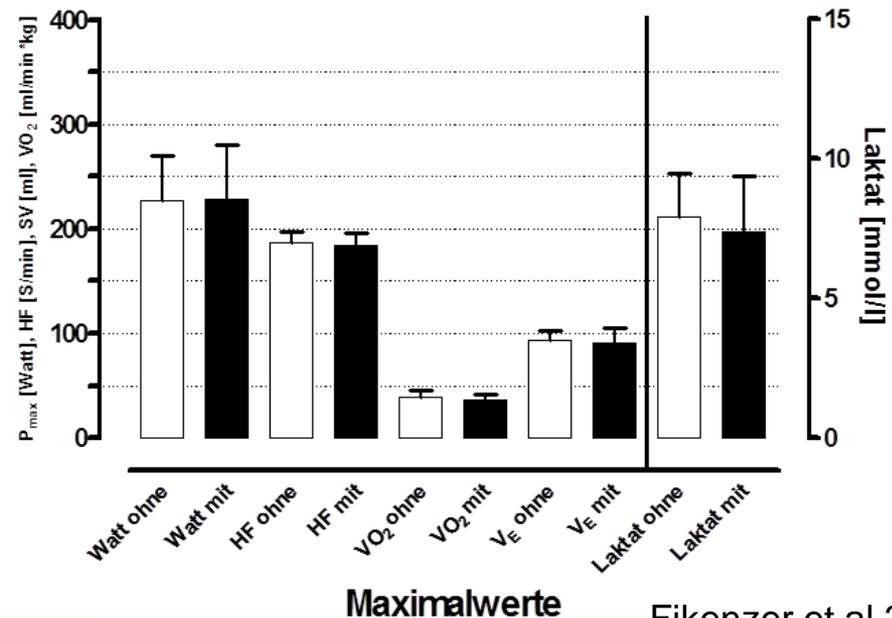
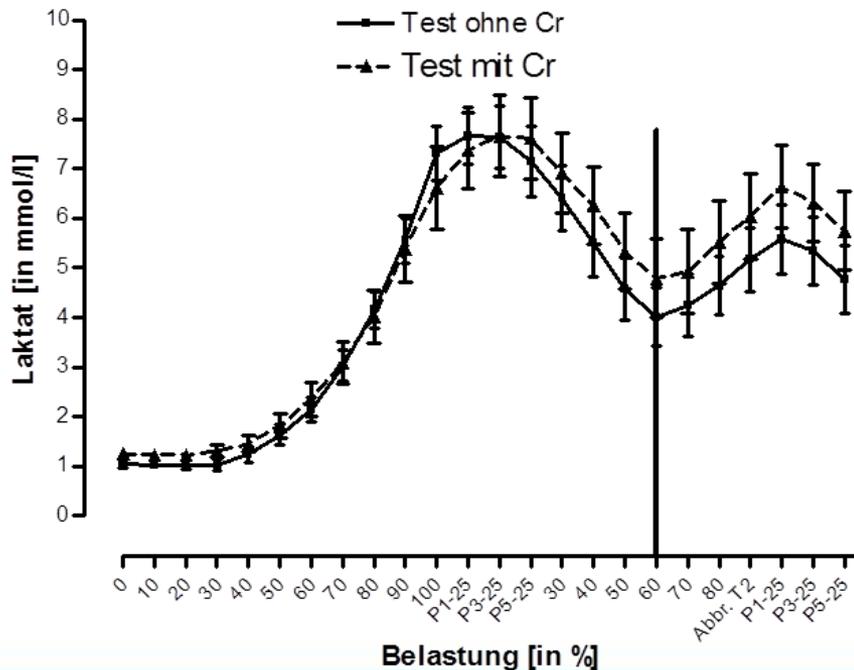
Abb. 1 b Am Beispiel einer gesunden Normalperson wird hier dargestellt, dass die Intensität des LIE-Bereichs („Senkenintensität“) weitgehend unabhängig von der $[Lac^-]_B$ zu Beginn des Stufentests 2 ist (glykogenreiche Muskulatur ■, normaler Zustand ○, glykogenarme Muskulatur △; jeweils durch Belastung und Diät hervorgerufen). P1 bezeichnet den Abbruch von Stufentest 1, P2 den Kurventiefpunkt („Senke“,entsprechend dem Gleichgewicht von Laktat- In- und Evasion)



Fallbeispiele:
internationaler Trainerlehrgang
-Teilnehmer 10

Hauptfragestellung:
Einfluss von Kreatinsupplementierung auf diverse
Leistungsparameter

Alter	Größe in cm	Gewicht in Kg	BMI	FFM %	TBW %
28,5 ±3,95	172,9 ±10,05	75,335 ±20,88	26,93 ±3,64	79,76 ±3,67	58,24 ±2,30



Welche physiologischen Wirkungen/Funktionen
hat eigentlich Laktat?

Funktionen des Laktats



Energieträger

über Pyruvat

in

Mitochondrien

Glukoneogenese

in der Leber

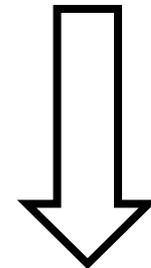
zu Glukose

(Cori-Zyklus)

zellulärer Mediator

über Membrane

Anpassung an
Belastung



Funktionen des Laktats



extrazellulär

ROS

reactive oxygen species (freie Radikale)

vasodilatierend

verbesserter Gasaustausch

verbesserte Ver- und Entsorgung

intrazellulär

MCT1, COX, LDH, PGC1a

MCT1: Monocaboxylat-Transporter 1

COX: Cytochrom-c-Oxidase

PGC1a: Peroxisome proliferator-aktiviertem
Rezeptor Gamma Coaktivator 1alpha

verbesserter Membran-
transport

Erhöhung der mitochondrialen
Biogenese

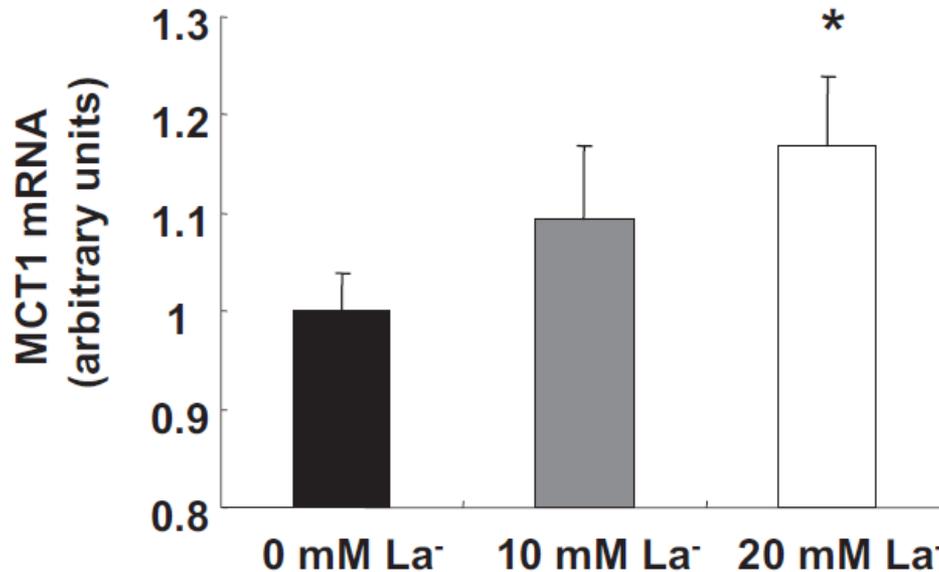
mgl. Adaptation an Belastung

Funktionen des Laktats



Laktat führt zur Expressierung von MCT1

MCT1: Transporter für Anionen (Laktat) zusammen mit H⁺ durch Membrane



Hashimoto et al.(2007) FASEB J.



Laktat führt zur Bildung von Sauerstoffradikalen (ROS)

ROS: Reactive Oxygen Species entstehen in den Mitochondrien als Nebenprodukte

Zu den ROS gehören zum einen freie Radikale wie das Superoxid-Anion O_2^- , das hochreaktive Hydroxyl-Radikal OH^- , das Peroxylradikal ROO^- und das Alkoxyradikal RO^- von Lipiden.

ROS: wirken vasodilatierend

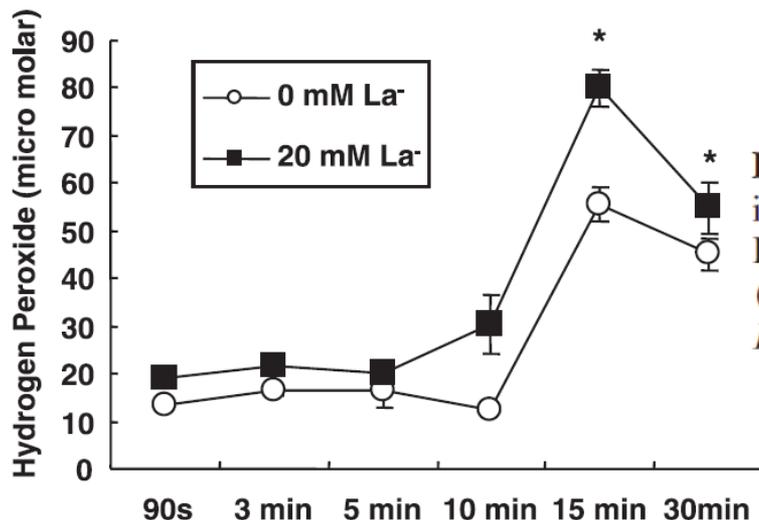
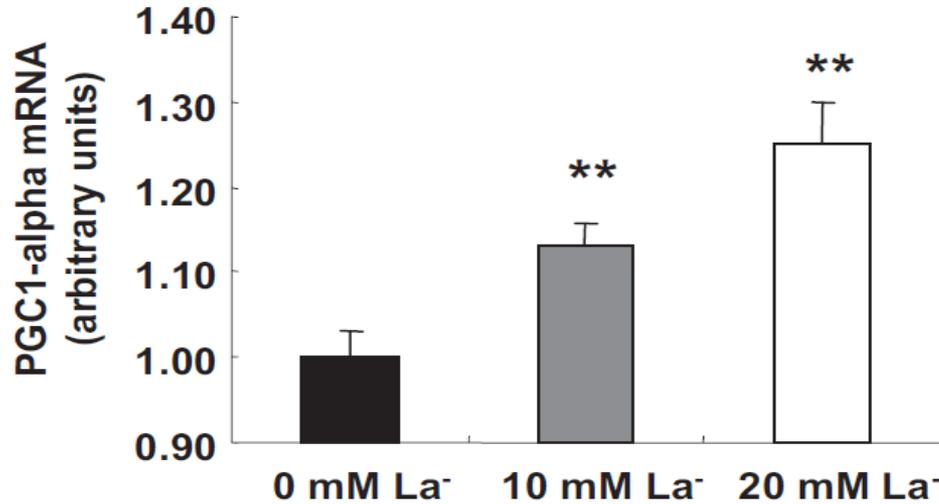


Figure 2. Incubation with and without exogenous lactate increases intracellular hydrogen peroxide (H_2O_2) in L6 cells. Lactate (20 mM) significantly increases H_2O_2 production ($P < 0.01$). *Significantly different from any given time point, $P < 0.05$. Values are means \pm SEM.

Hashimoto et al.(2007) FASEB J.

Funktionen des Laktats



Hashimoto et al.(2007) FASEB J.

Whole Muscle	Lactate	1 h	6 h
MCT1	10 mM	1.71 ± 0.25*	1.17 ± 0.23
	20 mM	2.03 ± 0.33**	1.21 ± 0.23
MCT4	10 mM	1.06 ± 0.21	0.93 ± 0.05
	20 mM	1.28 ± 0.19	1.02 ± 0.15
CD147	10 mM	1.85 ± 0.41**	1.25 ± 0.27
	20 mM	2.78 ± 0.51***##	1.28 ± 0.36
COX	10 mM	1.17 ± 0.19	2.54 ± 0.64**
	20 mM	1.11 ± 0.24	2.03 ± 0.45*
LDH	10 mM	1.01 ± 0.20	1.13 ± 0.15
	20 mM	1.42 ± 0.34	1.39 ± 0.24*

Hashimoto et al.(2007) FASEB J.

Funktionen des Laktats



Laktat führt zur Erhöhung der COX

COX: Enzym und Elektronentransportkettenelement im Mitochondrium

- Reduktion von Sauerstoff zu Wasser (biologische Knallgasreaktion) mittels Elektronen vom Cytochrom c und dem
- Transport von Protonen (Protonenpumpe) über die biologische Membran.

Laktat führt zur Erhöhung der LDH (Laktatdehydrogenase)

Laktat führt zur Erhöhung der PGC1a

PGC1a: peroxisomproliferatoraktiviertem Rezeptor Gamma Coaktivator 1a

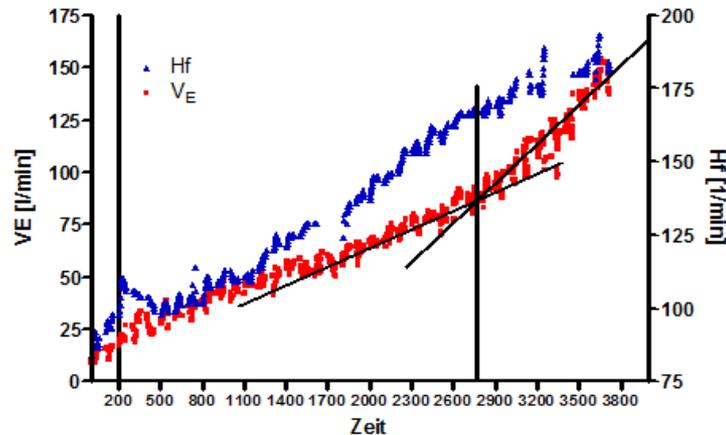
- Hauptkoordinator bei der Biogenese von Mitochondrien



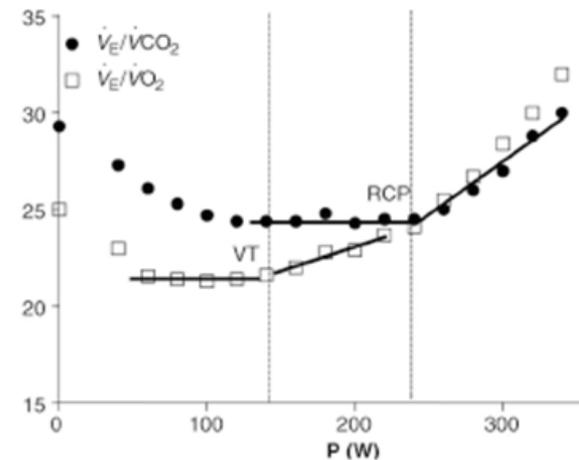
**Gibt es noch andere Größen zur
Beurteilung der
Beanspruchung/Leistungsfähigkeit?**

Spiroergometrie

- Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2max}$)
- Ventilatorische Schwelle (VAT)
- Respiratory Compensation Point RCP



Ventilatorische Schwelle:
liegt bei ca. 72-74% Pmax



alternative Bestimmung für RCP:
minimales Atemäquivalent für CO₂

Take Home Messages



- Die Nutzung des Laktats als Diagnostikum führt bei KH-reduzierter Ernährung zu einer Überschätzung der Leistungsfähigkeit.
- Bei KH-betonter Ernährung kommt es dagegen zu einer Unterschätzung der Leistungsfähigkeit.
- Alternative diagnostische Verfahren sind bei variierenden KH-Anteilen der Nahrung zu bevorzugen (Spiroergometrie).
- Laktat bei variierenden KH-Anteilen der Nahrung eher zur Beurteilung der Glykogenspeicher als zur Leistungsdiagnostik verwenden.