

Sportmedizin

Leistungsdiagnostik: Spiroergometrie

Dr. med. Birgit Friedmann, Abteilung Innere Medizin VII: Sportmedizin



Sportmedizin: Leistungsdiagnostik



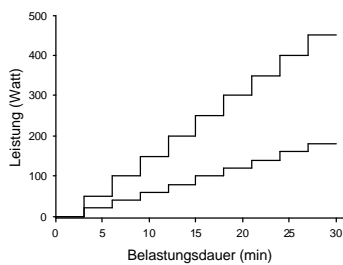
Spiroergometrie zur Objektivierung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit

- Leistungssportler
- Freizeitsportler
- Patienten

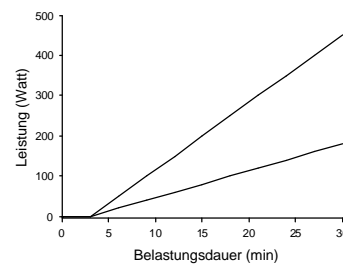
Ableitung von Trainingshinweisen

Ansteigende Belastungsprotokolle

Stufentest



Rampentest



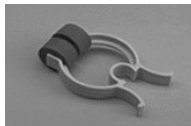
Gemessene Parameter:

- Ergometrie und zusätzlich:
- AMV (VE)
- VO_2
- VCO_2

Berechnete Parameter:

- VCO_2/VO_2 (RQ = Respiratorischer Quotient)
- VE/VO_2 (EQO_2 , ventilatorisches Äquivalent für O_2)
- VE/VCO_2 ($EQCO_2$, ventilatorisches Äquivalent für CO_2)
- VO_2 /Herzfrequenz (O_2 Puls, Sauerstoffpuls)

Messung mit Hilfe einer Atemmaske oder eines Mundstücks



Spiroergometrie: Marktübersicht

Stationäre Geräte

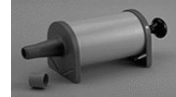


Tragbare Systeme

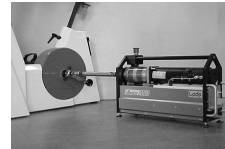


Vorbereitungen für eine Spiroergometrie

- Umgebungsbedingungen
- Betriebstemperatur des Geräts
- Kalibration
 - Kalibration Gasanalysatoren
 - Kalibration Flow Sensor
 - Kalibrationsprotokolle
- Vorbereitung Ergometer
- Vorbereitung Patient / Sportler

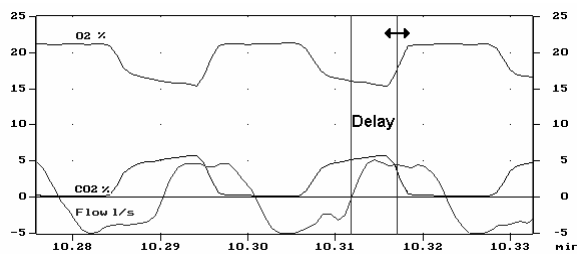
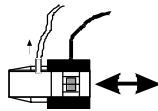


Qualitätssicherung

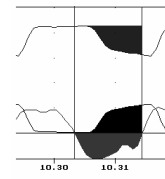


Messprinzipien

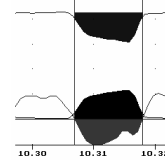
Delaykorrektur



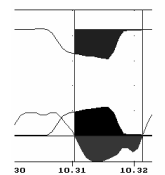
Delay <<



Delay ok



Delay >>



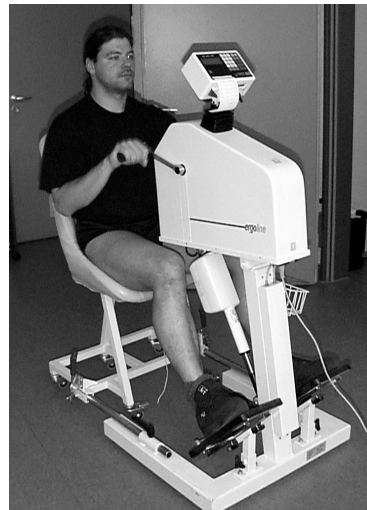
Anpassungsreaktionen des Körpers an Belastung

- Stoffwechsel
- Herz-Kreislauf-System
- Atmung

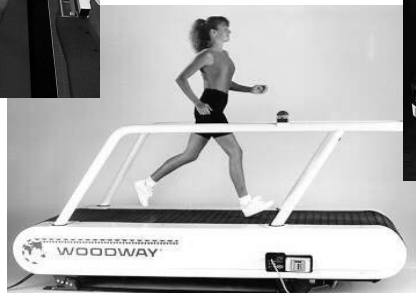
Leistungsdiagnostik im Leistungssport

- Untersuchungen im Ergometrielabor:
 - Möglichst sportartspezifische Belastung
 - Stufenweise ansteigende Spiroergometrien zur Ermittlung der maximalen Leistungsfähigkeit und der Ausdauergerenze:
 - Kontinuierliches EKG-Monitoring
 - Kontinuierliche Messung von Atemminutenvolumen, VO_2 , VCO_2
 - Messungen der Laktatkonzentration im Kapillarblut
- Untersuchungen unter Trainings- und Wettkampfbedingungen:
 - Feldstufentests auf der Laufbahn, im Wasser, auf dem Wasser, ...
 - Bestimmung der Herzfrequenz
 - Messung der Laktatkonzentration im Kapillarblut
 - (Kontinuierliche Messung von Atemminutenvolumen, VO_2 , VCO_2)

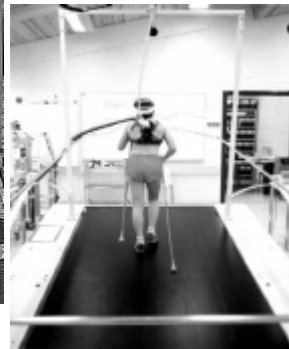
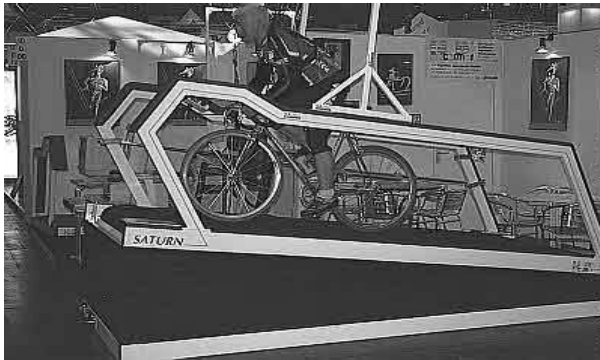
Fahrrad- und Handkurbelergometer



Laufbandergometer



Radtest, Walking, (Skilanglauf)



Ruderergometer



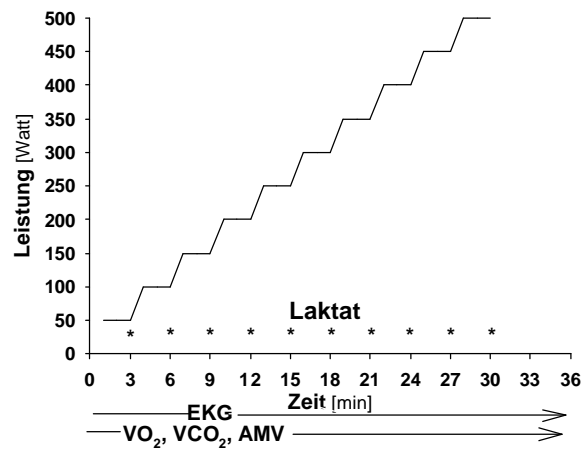
Kanuergometer



Leistungsdiagnostik für Patienten

- Untersuchungen im Ergometrielabor:
 - Wahl der Belastungsart (Fahrrad- oder Laufbandergometer) mit dem Ziel, eine kardiopulmonale Ausbelastung zu erreichen
 - Stufenweise ansteigende Spiroergometrien zur Ermittlung der maximalen Leistungsfähigkeit (und der Ausdauergerenze):
 - Kontinuierliches EKG-Monitoring
 - Kontinuierliche Messung von Atemminutenvolumen, VO_2 , VCO_2
 - (Messungen der Laktatkonzentration im Kapillarblut)

Fahrradspiroergometrie



Subjektiver Anstrengungsgrad nach Borg

6	
7	sehr, sehr leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	leicht
12	
13	mäßig anstrengend
14	
15	anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	sehr, sehr anstrengend
20	

Ausbelastungskriterien

- 90 % der maximalen Herzfrequenz (220 – Lebensalter)
- Plateau der VO_2 -Kurve
- RQ ? 1.1
- Laktat ? 8 mmol/l
- Borg-Skala ? 16

Abbruchkriterien

- Angina pectoris
- Ischämiezeichen im EKG
- Arrhythmien (Komplexe ES, AV-Block II oder III)
- Blutdruckabfall systolisch > 10 mmHg gegenüber Ausgangswert
- Zeichen einer Durchblutungsstörung: Cyanose, Blässe
- Respiratorische Insuffizienz
- Koordinationsstörung, Verwirrung, Schwindel
- Hypertensive Blutdruckwerte (> 250 mmHg syst. und/oder 115 mmHg diast.)

Absolute Kontraindikationen

- Floride systemische oder kardiale Infektion
- Instabile Angina pectoris oder Myokardinfarkt
- Schwere Aortenstenose
- Schwere Herzinsuffizienz
- Akute respiratorische Insuffizienz
- Akute Thrombose der unteren Extremitäten mit oder ohne Lungenembolie

Maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\max$)

- | | |
|---|--|
| • Männer: 18 - 22 Jahre:
44 - 50 ml/kgKG | • Frauen: 18 - 22 Jahre:
38 - 42 ml/kgKG |
| • Ab 30 Jahre:
- 1 %/Jahr | • Ab 30 Jahre:
- 1 %/Jahr |
| • Läufer (Spitzensportler):
ca. 80 - 85 ml/kgKG | • Läuferinnen:
ca. 70 ml/kgKG |
| • Skilangläufer:
90 - 95 ml/kgKG | • Skilangläuferinnen bis
77 ml/kgKG |
- **Schwere Herzinsuffizienz: < 14 ml/kgKG**

Sportmedizin: Leistungsdiagnostik

Ergebnis einer Fahrradspiroergometrie eines Nachwuchsradsportlers

	Ruhe	Belastung								Erholung		
p [Watt]		50	100	150	200	250	300	350	400	50	50	50
Dauer [min]		3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	1:00	3:00	5:00
HF [1/min]	96	117	116	138	150	165	179	190	198	139	136	132
VO₂ [ml/min]		1440	1791	2432	2918	3396	3931	4454	4640			
VO₂/kg [ml/kg]		20.4	25.5	34.5	41.3	48.2	55.8	63.2	65.8			
Laktat [mmol/l]	0.95	1.61	1.49	1.52	1.99	2.29	3.02	5.52	9.66	11.27	11.02	9.99

**p_{max}: 400 Watt =4.67 Watt/kg, VO₂max: 4.64 l/min = 65.8 ml/kgKG?min,
max. AMV: 159 l/min, max. RQ: 1.12, Anstrengungsgrad nach Borg: 18**

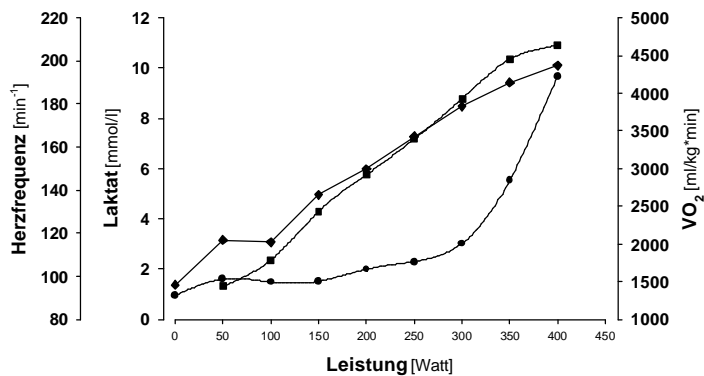
Sportmedizin: Leistungsdiagnostik

Fahrradspiroergometrie: Werte des Probanden/der Probandin

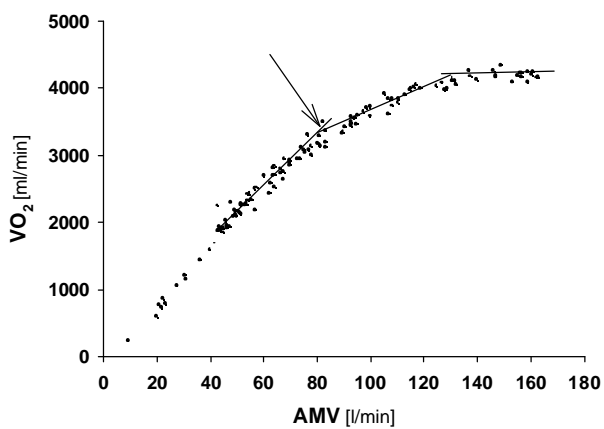
	Ruhe	Belastung								Erholung		
p [Watt]		50	100	150	200	250	300	350	400	50	50	50
Dauer [min]										1:00	3:00	5:00
HF [1/min]												
VO₂ [ml/min]												
VO₂/kg [ml/kg]												
Laktat [mmol/l]												

**p_{max}: ... Watt =.....Watt/kg, VO₂max:l/min =ml/kgKG?min,
max. AMV:l/min, max. RQ:, Anstrengungsgrad nach Borg: ...
VE/VO₂max:.....VE/CO₂max:.....**

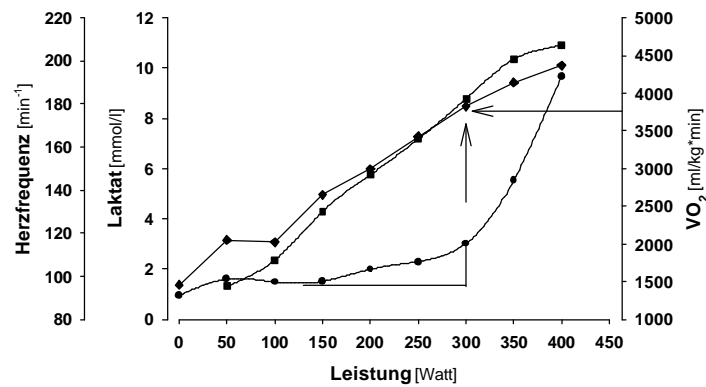
Auswertung der Fahrradspiroergometrie eines Nachwuchsradsportlers



Ventilatorische Schwelle



Auswertung der Fahrradspiroergometrie eines Nachwuchsradsportlers



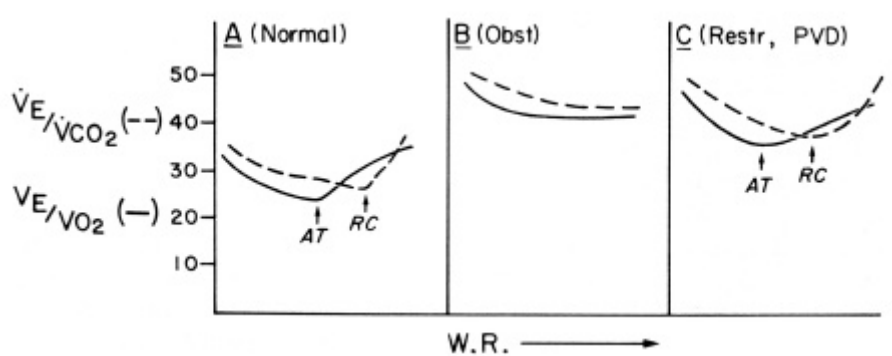
Trainingshinweise für einen Nachwuchsradsportler

Trainingsform	%Schwelle	Intensität	
		Watt	Puls (1/min)
Entwicklungs- bereich	100	300	179
Grundlagenaus- dauer II	90	270	170
Grundlagenaus- dauer I	70 - 80	210 - 240	154 - 162
Regeneration	< 60	< 180	< 145

Trainingshinweise für den Probanden/die Probandin

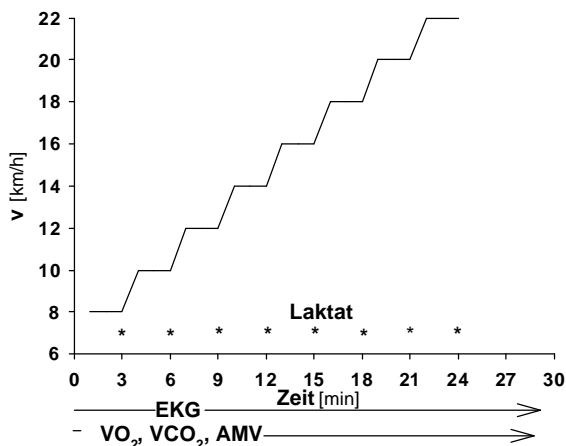
Trainingsform	%Schwelle	Intensität	
		Watt	Puls (1/min)
Entwicklungs- bereich	100		
Grundlagenaus- dauer II	90		
Grundlagenaus- dauer I	70 - 80		
Regeneration	< 60		

Atemäquivalente



Wasserman et al. Principles of exercise testing and interpretation 1994

Laufbandspiroergometrie

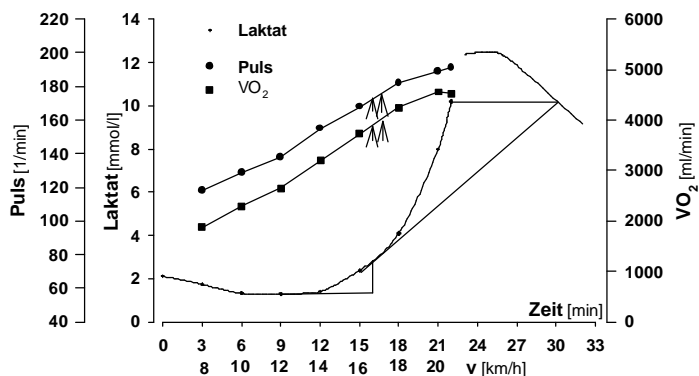


Ergebnis einer Laufbandspiroergometrie eines Langstreckenläufers der deutschen Spitzenklasse

	Ruhe	Belastung								Erholung		
		8	10	12	14	16	18	20	22	5	5	5
V [Km/h]												
Dauer [min]		3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	3:00	1:00	1:00	3:00	5:00
HF [1/min]	76	118	129	138	155	168	182	189	191	167	126	115
VO ₂ [ml/min]		1877	2290	2649	3198	3728	4250	4560	4534			
VO ₂ /kg [ml/kg]		29.8	36.3	42.0	50.8	59.2	67.5	72.3	72.0			
Laktat [mmol/l]	2.10	1.73	1.18	1.30	1.32	2.37	4.09	7.96	10.19	12.38	12.50	11.86

vmax: 20.67 km/h = 5.74 m/s, VO₂max: 4.5 l/min = 72.3 ml/kgKG, max. AMV: 149 l/min, max. RQ: 1.11

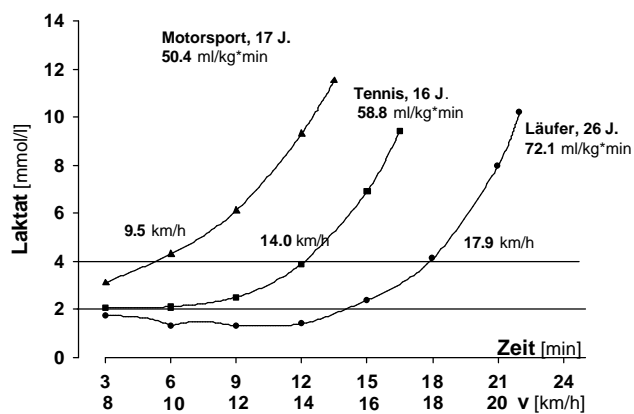
Laktatleistungskurve, Herzfrequenz und VO₂ bei einem Mittel- und Langstreckenläufer der deutschen Spitzenklasse



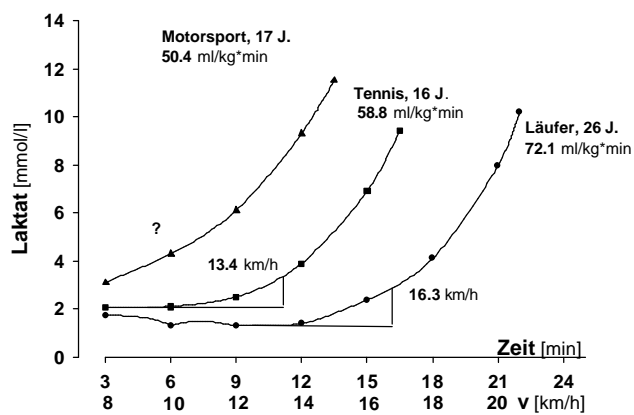
Trainingshinweise für einen Mittel- und Langstreckenläufer der deutschen Spitzenklasse

Trainingsform	% Schwelle	Intensität		
		Km/h	Min/min	Puls (1/min)
Tempo-DL	100	16.4	3:40	172
Intensiver DL	95	15.6	3:50	165
Extensiver DL	85 – 90	13.9 – 14.8	4:05 – 4:20	154 – 160
Regeneration	< 80	<13.1	> 4:35	< 146

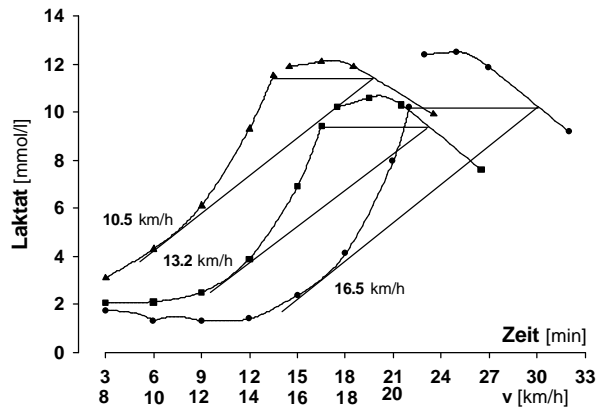
Laktatleistungskurven unterschiedlich trainierter Sportler



Laktatleistungskurven unterschiedlich trainierter Sportler



Laktatleistungskurven unterschiedlich trainierter Sportler



Beispiel für den Trainingplan eines Mittel- und Langstrecklers

Tag	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Training I	15 km extensiver Dauerlauf	8 km intensiver Dauerlauf	8 km regen. Dauerlauf	8 km extensiver Dauerlauf	10 km regen. Dauerlauf	12 km intensiver Dauerlauf	20 km extensiver Dauerlauf
Training II	-----	5x2000 m (Schwelle)	Athletik	Fahrtspiel (DL mit Tempo- steiger.)	-----	Athletik	-----
Training I	10 km regen. Dauerlauf	8 km intensiver Dauerlauf	6 km regen. Dauerlauf	10 km extensiver Dauerlauf	6 km regen. Dauerlauf oder -----	12 km intensiver Dauerlauf	15 km extensiver Dauerlauf
Training II	-----	2x4000 m (95% Schwelle)	Athletik	-----	-----	Athletik	-----

Beispiel eines Trainingsplans für einen Mittel- und Langstreckenläufer

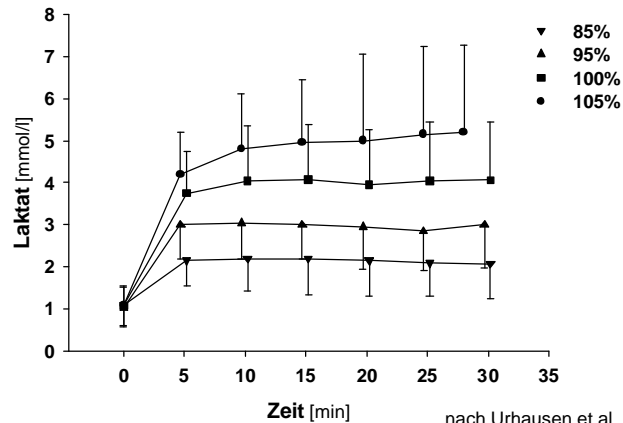
Tag	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Training	8 – 10 km extensiver Dauerlauf	2x500 m Wettkampf -tempo	6 km regen. Dauerlauf	2 – 3 x 200/300m > Wett- kampf- tempo	20 – 30 min. regen. Dauerlauf	Vorlauf	Endlauf

Trainingshinweise für Freizeitsportler

Intensität (% der Schwellenbelastung)		Belastungsdauer (min)		Bezeichnung	
Laufen	Rad	Laufen	Rad	Laufen	Rad
100	100	20-30		Tempo-DL	Entwicklung
95	90	30-45	+ 50- 100 %	Intensiver DL	GA2
85-90	70-80	45-60		Extensiver DL	GA1
< 80	< 60	30		Regeneration	

Sportmedizin: Leistungsdiagnostik

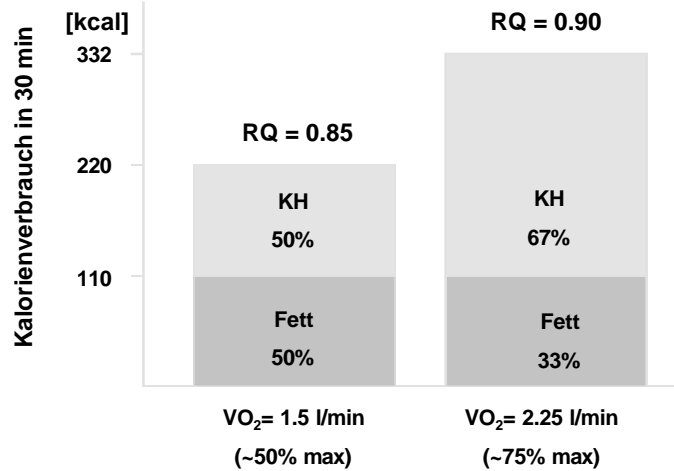
Ausdauerbelastungen auf dem Fahrradergometer mit Intensitäten von 85%, 95%, 100% und 105% der individuellen anaeroben Laktatschwelle



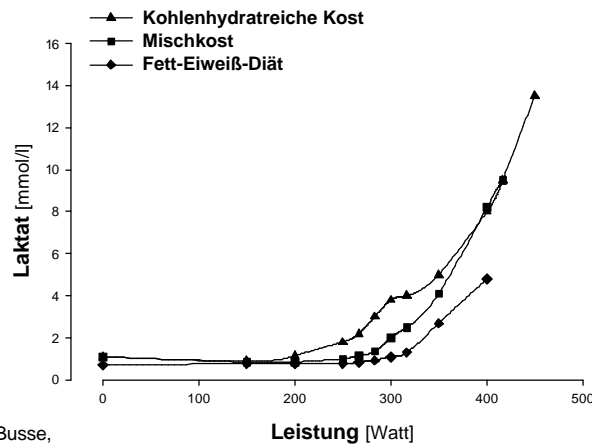
nach Urhausen et al.,
Int. J. Sports Med. 14, 1993

Sportmedizin: Leistungsdiagnostik

Fettverbrennung bei Belastung



Beeinflussung des Verlaufs der Laktatleistungskurve durch unterschiedliche Kostformen



nach Maassen u. Busse,
Eur.J. Appl. Physiol. 58, 1989

Zusammenfassung

- Belastungsuntersuchung unter standardisierten Bedingungen
- Messung der Ventilationsparameter (und Laktatbestimmung)
- Objektivierung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit
- Ableitung konkreter Trainingshinweise
- DD Dyspnoe