Spi… …port- und Präventivmedizin

EXCERPT/AUSZUG

Dr. Ralph Schomaker & Dr. Andreas Greiwing

Spiroergometrie-Führerschein Theorie

Exklusives Begleitbuch zum Theoriekurs Spiroergometrie

4. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

SPIROERGOMETRIE | KURS

ZfS | Verlag für Sport und Medizin

Willkommen zum Spiroergometrie-Führerschein Theorie!

Seit über 10 Jahren vermitteln unsere zertifizierten Spiroergometriekurse die theoretischen Grundlagen und praktischen Fertigkeiten, um in Klinik und Praxis sport- und präventivmedizinisch standardisiert untersuchen und eine sichere Befundung aus der 9-Feldergrafik nach Wasserman herleiten zu können.

Unser Konzept des „Spiroergometrie-Führerscheins“ bedeutet eine exakte Fokussierung der Kurse auf anwenderbezogenes beratungsrelevantes Praxiswissen anhand aktuellster Studien und Leitlinien aus Sportmedizin, Kardiologie, Pneumologie, Trainings- und Ernährungswissenschaft!

Im Mittelpunkt stehen Ihr Gewinn von Sicherheit in der Anwendung der Spiroergometrie und ein maximaler Informationsgewinn aus der Auswertung der 9-Feldergrafik nach Wasserman.

Der Wert jeder Fortbildung misst sich am Wissen, welches man unmittelbar nach Kursteilnahme in den eigenen Praxisalltag integrieren kann. Unsere Kurse bieten Ihnen eine optimal auf den Beratungsalltag abgestimmte Synthese aus sportmedizinischem Grundlagenwissen und hochaktueller Trainings- und Ernährungswissenschaft um Sie topfit im sport- und präventivmedizinischen Beratungsalltag von Sportlern und Patienten zu machen!

Der „Spiroergometrie-Führerschein Theorie“ vermittelt Einsteigern und erfahrenen Anwendern an zwei Kurstagen die Grundlagen zum klaren Verständnis der Spiroergometrie und baut darauf einen standardisierten Algorithmus zur Auswertung der 9-Feldergrafik nach Wasserman auf. Jede Grafik wird anhand von sieben Fragen analysiert und in acht Schritten die ventilatorischen Schwellen sicher bestimmt. Die Anwendung des erlernten Algorithmus zur Interpretation der 9-Feldergrafik wird anhand von Testbeispielen aus der Praxis wiederholt und eingeübt. In Exkursen werden Trainingsempfehlungen für gesunde und Kranke, Grundlagen der Laktatmessung, begleitende Ernährungsempfehlungen („low carb“ & Ausdauertraining) sowie Interpretationhilfen für EKG und Blutdruck unter Ergometriebedingungen angesprochen. Neben Kontraindikationen, Abbruch- und Ausbelastungskriterien runden Empfehlungen zu Aufklärung und zum Befundbericht den Kurs ab.

Wir wünschen Ihnen erfolgreiche Kurstage und hoffen, dass Ihnen das vorliegende Kursbuch mit den Präsentationen aus dem Kurs eine wertvolle Hilfe bei der Vertiefung und Repetition der Kursinhalte im Praxisalltag ist

Ihre Referenten

Dr. med. Ralph Schomaker

Dr. phil. Andreas Greiwing

INHALTSVERZEICHNIS ZUM BEGLEITBUCH „SPIROERGOMETRIE-FÜHRERSCHEIN THEORIE“

1. Einführung: Spiroergometrie in der Sportmedizin 6

a. Was ist Spiroergometrie? 7
- I. Gemessene und berechnete Datenkanäle 8
- II. Ergometrieformen Und Ergometrieprotokolle 9

b. Das Zahnradmodell nach Wasserman 12

c. Das dritte Zahnrad nach Wasserman: die Muskulatur 15
- I. Muskuläre Energiebereitstellung 15
- II. Zonenbasierte Trainingszonenmodelle („range-based“) 16

d. Ventilatorische Schwellen 18
- I. Ventilatorische und laktatbasierte Schwellenmodelle: „VT 1+2“, „LT 1+2“ 18
- II. Darstellung ventilatorischer Schwellen als Atemantriebe in spiroergometriebasierten Datenkanälen 20
- III. Standardisierte Bestimmung von VT1 und VT2 (Übersicht) 22

e. Trainingszonen basierend auf ventilatorischen Schwellen 23
- I. Dreizoniges schwellenbasiertes Trainingszonenmodell („threshold-based“) 23
- II. Borg Skala (RPE) 24
- III. Polarized Training Model & „black hole of training intensity“ 25
- IV. Transfer trainingswissenschaftlicher Trainingszonenkonzepte in kardiologische und pneumologische Prävention, Therapie und Rehabilitation 27
- V. VT1: atemfrequenzbasierte Trainingssteuerung - „Laufen ohne zu Schnaufen“ 31

f. Indikationen, Kontraindikationen und Komplikationen 33
- I. Praetest-Kriterien und Testindikationen 33
- II. Vorbeugung von Untersuchungskomplikationen 34
- III. Kontraindikationen und Abbruchkriterien 35
- IV. Ausbelastungskriterien und Komplikationen 37

2. Standardisierte Auswertung der 9Feldergrafik nach Wasserman 41

a. Die 9Feldergrafik nach Wasserman – Grundlage zur „Blickdiagnose“ 41
- I. Datenmittelung, Zuordnung der 9Felder, „customizing“ der 9Feldergrafik 42
- II. Normwerte in der Spiroergometrie 45
  - 1. Normwertformeln 46
  - 2. Studienbasierte Normwerte 48
  - 3. Slopes 50
  - 4. Übersicht: Standardalgorhythmus zur Interpretation 52

b. Schritt 1.1: FELD 3 - V`O2(P)-Slope; V`O2Peak oder Max? 53
- I Pitfall „crossing method“ → RER=1 ist keine Schwelle! 54
- II. Die Kurve von $V`O_2$ gegen die Last: $V`O_2$(P)-Slope [$\Delta O_2/\Delta$Watt] 56

Fallbeispiel I: Dilatative Kardiomyopathie nach Chemotherapie 59

- III. „Double Slope Sign“ nach Belardinelli und [$V`E/V`CO_2$]/ rel $V`O_2$ peak nach Rozenbaum 60
- IV. Maximale Last (Pmax) und $V`O_2$max 62
  - 1. Sollwerte für Pmax und $V`O_2$max 62
  - 2. Plateaubildung von $V`O_2$ und „Slow Component of Oxygen Consumption“ 65
  - 3. Die relative gewichtsbezogene $V`O_2$max und allometrische Konvertierung 67

EXKURS I: $V`O_2$max, Sport und Lebenserwartung 69

  - 4. Das MET (Metabolic Equivalent of Task) 74

EXKURS II: OUES – Oxygen Uptake Efficiancy Slope 81

c. Schritt 2: FELD 8 – Substratutilisation: Fett oder Kohlenhydrat? 82
- I. RQ, RER und kalorisches Äquivalent 83
- II. Indirekte Kalorimetrie, Grund- und Ruheumsatzmessung 86
- III. Proteinkatabolismus und BCAA als Nahrungsergänzung 90

Fallbeispiel II: Langstreckenläufer mit extremem Trainingsumfang 91

- IV. Mean Response Time [MRT], „Oxygen Delay“ 93

d. Schritt 3: FELD 5 – VT1-Bestimmung **96**
I. Definitionen und Bestimmung von VT1 97
1. Feld 5 → V-Slope nach Beaver 99
2. Feld 6 →↑EQO_2 99
3. Feld 9 → ↑$PetO_2$ 100
4. Funktion Excess CO_2 nach Volkov 100
5. Feld 1 → ↑V`E 101
6. Feld 8 → ↓Plateau FatOx 102
7. Feld 7 → ↑Atemfrequenz 103
8. Laktat → ≈2mmol/l oder >+0,5mmol/l 103

Exkurs III: Laktatmessung 104

Exkurs IV: Bikarbonat als Nahrungsergänzung 109

e. Schritt 4: FELD 6 – Atemökonomie, Spiegel der Totraumventilation **109**

f. Schritt 5: FELD 4 – V`E-Slope: Hyper- oder Hypoventilation? **111**
I. Definitionen und Bestimmung von VT2 112
1. Feld 4 → V`E-Slope nach Whipp 113
2. Feld 6 → ↑$EQCO_2$ 114
3. Feld 9 → ↓$PetCO_2$ 114
4. Feld 5 → ↑↑V-Slope 115
5. Feld 1 → ↑↑V`E 115
6. Feld 8 → ØFatOx 116
II. Steuerung der Fettoxidation durch Laktat und Insulin 117

Fallbeispiel III: Breitensportler unter Ausdauertraining und „Low Carb" 119

EXKURS V: „Low Carb" & Insulinresistenz 122

Fallbeispiel IV: Triathlet unter ketogener Ernährung 126

Exkurs VI: Ketogene Ernährung 127

Exkurs VII: Sport und Gewichtsreduktion - „Jeder Gang macht schlank?" + Female Athlete Triad 131

7. Feld 7 → ↑↑Atemfrequenz 136
8. Laktat → ≈4mmol/l 137

Fallbeispiel V: Undine Syndrom 137

g. Schritt 6: Feld 2 – O_2-Puls, Herzfrequenzreserve und Herzfrequenzerholung **138**
I. Heart Rate Reserve und Heart Rate Recovery 140
II. Cardiac Drift und Conconi-"Schwelle" 142

Exkurs VIII: VT1 und Marathongeschwindigkeit „from lab to field" 141

Fallbeispiel 6: Marathonläufer mit Zielzeitwunsch 143

EXKURS IX: Belastungs-EKG und Ergometrie 1 147

Fallbeispiel 7: Triathlet mit R-Zacken-Artefakten unter Laufbandergometrie 154

Fallbeispiel 8: Breitensportler mit chronotroper Inkompetenz 156

EXKURS IX: Belastungs-EKG und Ergometrie 2 157

Fallbeispiel 9: Seniorensportler mit salvenartiger Vorhoftachykardie 159

EXKURS IX: Belastungs-EKG und Ergometrie 3 161

Fallbeispiel 10: Nichtsportler mit KHK (LAD- und Marginalaststenose LCX) 162

EXKURS X: Blutdruckmessung unter Ergometriebedingungen 164

III. Ergometrievariablen und Grenzwerte zur diagnostischen Abklärung (AHA, EACPR Empfehlungen) 169

Fallbeispiel 11: Nichtsportler mit KHK und ACVB-Indikation vor Bypass-OP 170

h. Schritt 7: Feld 1 – Atemreserve und MVV **174**
I. FEV1, MVV und Atemreserve 175
II. Die „Neunerregel" nach Rühle 176

Fallbeispiel 12: Nichtsportler mit COPD 177

i. Schritt 8: Feld 7 – Atemmuster: Obstruktion oder Restriktion? **180**

EXKURS XII: EIB und Intrabreathkurven 181

Fallbeispiel 13: Ausdauerläufer mit COPD / Abklärung Exercise Induced Bronchoconstriction EIB 181

Fallbeispiel 14: Leistungstriathlet mit auffälligem Atemmuster 185

Fallbeispiel 15: Ausdauerläufer mit Kopplung der Atem- an die Schrittfrequenz 186

EXKURS XIII: Atem- und Schrittfrequenz bei Bipeden und Quadrupeden 187

Fallbeispiel 16: Ausdauerläufer mit auffälligem Atemmuster 188

j. Schritt 9: Feld 9 – Gasaustausch **189**

Fallbeispiel 17: Nichtsportler mit Alpha-1-Antitrypsinmangel 191

3. Dyspnoeabklärung in der Praxis: Herz oder Lunge? 195

a. Befundungshilfen zur Dyspnoediagnostik: Herz, Lunge oder Trainingsmangel? **196**

b. Spiroergometriebasierte Risiko- und Prognoseabschätzung bei Herzinsuffizienz **199**

4. Befundung eines ReTests, interindividuelle Verlaufsbeurteilung 200

Glossar/Abkürzungsverzeichnis **202**

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Welche Informationen liefert die Spiroergometrie?

→ *Vereinfachter Überblick der auszuwertenden Datenkanäle*

- Was ist Spiroergometrie?
- Wasserman´s Gearmodel
- Das dritte Zahnrad
- Ventilatorische Schwellen
- Trainingszonen
- Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

➢ **Volumensensor**
≈ *„schwarze Leitung"*
✓ **VT** = Atemzugvolumen
✓ **AF** = Atemfrequenz
➢ **VT** x **AF** = **V`E** (Atemminutenvolumen)

➢ **Absaugstrecke**
≈ *„transparente Leitung"*
✓ **$V`O_2$** = O_2-Aufnahme / min
✓ **$V`CO_2$** = CO_2-Abgabe / min
➢ **RER** = **$V`CO_2/V`O_2$**

Zusatzinformationen:

➢ **EKG / Brustgurt**
✓ Herzfrequenz [**HF**]

➢ **Ergometer**
✓ Last [Laufband: km/h; Radergometer: Watt]

➢ Die gemessenen Werte für **$V`O_2$** und **$V`CO_2$** hängen wesentlich von den „Endverbrauchern" (≈ unter der gewählten Ergometrieform beanspruchten Muskelgruppen) ab, die am Messsystem hängen
➢ Die beanspruchten Muskelgruppen werden durch die gewählte Ergometrieform festgelegt
➢ Ergometrieform und ergometriebezogener Trainingszustand bestimmen, ob vor dem Erreichen der kardiovaskulären Ausbelastung eine lokale muskuläre Leistungsbegrenzung den Test beendet

2006 Hollmann W et al., „Spiroergometrie – Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken" (1st Ed.), Schattauer Verlag, S. 110-115

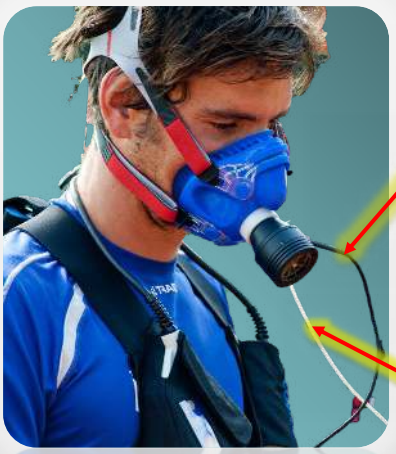
SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Rohdaten & berechnete Datenkanäle

→ *Detaillierte Darstellung gemessener und berechneter Datenkanäle*

- Was ist Spiroergometrie?
- Wasserman´s Gearmodel
- Das dritte Zahnrad
- Ventilatorische Schwellen
- Trainingszonen
- Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen



Modifiziert nach 2018 Meyer FJ et al. Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie – Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.2018; 72: 687–731, Tabelle 10

Gemessene Kanäle

➢ **Volumensensor**
✓ Volumen und Dauer eines Atemzuges [V`(t), T]
➢ **VT** = ∫V´(t) dt [=Integral über Flow(t)]
✓ Atemfrequenz **AF** [1/T (min)]

➢ **Absaugstrecke**
✓ $FIetO_2$, $FIetCO_2$
✓ $FEetO_2$, $FEetCO_2$
(E=Exspiration, I=Inspiration, et=endtidal)

➢ **EKG / Brustgurt**
✓ Herzfrequenz [**HF**]

➢ **Ergometer**
✓ Last [Laufband: km/h; Radergometer: Watt]

Berechnete Kanäle

✓ **V`E** = VT * AF
✓ **$V`O_2$** = V`E ($FIO_2$-$FEO_2$) →[*Mischkammer*]
✓ **$V`CO_2$** = V`E ($FECO_2$ - $FICO_2$) →[*Mischkammer*]
✓ **RER** = $V`CO_2$ / $V`O_2$
✓ **EQ O_2** = V`E / $V`O_2$
✓ **EQ CO_2** = V`E / $V`CO_2$
✓ **O_2-Puls** = $V`O_2$ / HF
✓ **$PetO_2$** = berechnet aus $FEetO_2$
✓ **$PetCO_2$** = berechnet aus $FEetCO_2$
✓ Atemreserve (BR)

→ Die Berechnungsformeln hängen von der verwendeten Messtechnik ab [Mischkammersysteme, BxB = „breath-by-breath", etc.]

➢ Ein Auswahl gemessener und berechneter Kanäle wird in der 9-Feldergrafik nach Wasserman gegeneinander aufgetragen → **$V`O_2$, $PetO_2$, $V`CO_2$, $PetCO_2$, V`E, VT, O_2-Puls, HF, Last, *ggf. Laktat***
➢ Die Darstellung in Form von „slopes" ermöglicht es auf einen Blick dysproportionale Abweichungen verschiedener Messgrößen gegeneinander zu erkennen
➢ Einzelne Kanäle werden gegen die Zeit als Linie während verschiedene Volumina gegeneinander als Punkte („BxB"-messung) dargestellt

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Was ist Spiroergometrie?

Wasserman´s Gearmodel

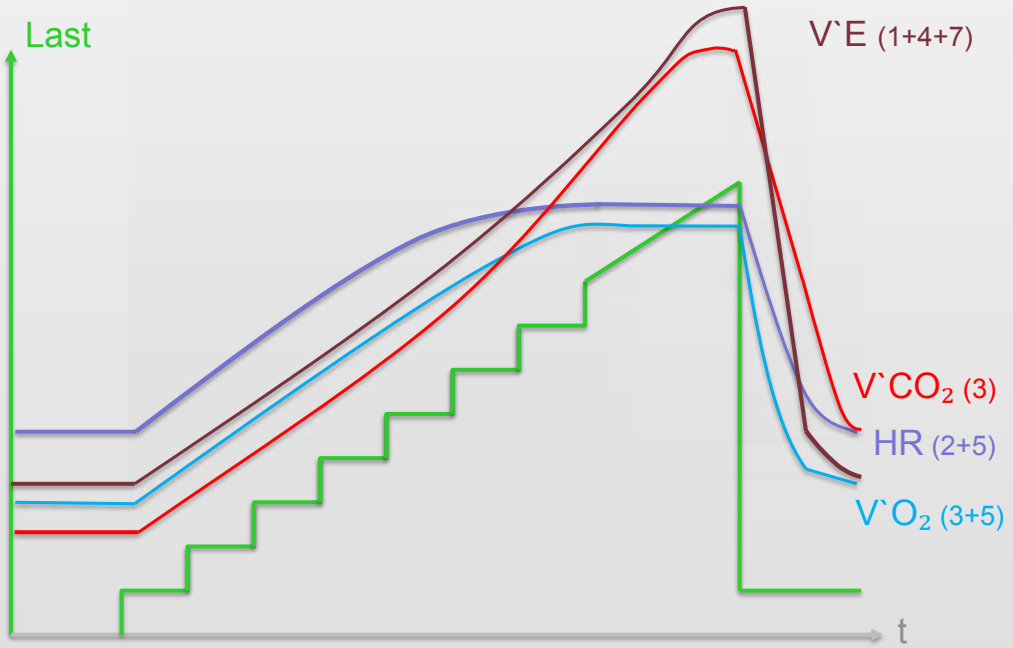
Das dritte Zahnrad

Ventilatorische Schwellen

Trainingszonen

Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

PHYSIOLOGICAL AND VENTILATORY RESPONSES TO A PROGRESSIVE INCREASE IN WORKLOAD EXERCISE TEST



Empfehlungen der AG Spiroergometrie zu farblichen Darstellung:
V`E: braun, V`O_2: mittelblau, V`CO_2: rot, HR: violett, O_2-Puls: hellblau, Zeit: grau, Last: grün. In Klammern die zugehörigen Felder der 9-Feldergrafik

Modifiziert nach 2005 Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ „Principles of exercise testing and interpretation“ S. 34, Fig. 2.29

Modifiziert nach 2013 Raven PB, Wasserman DH, Squires WG, Tinker DM „Exercise Physiology – an integrated approach“, S. 348, Fig. 10.11

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Was ist Spiroergometrie?

Wasserman´s Gearmodel

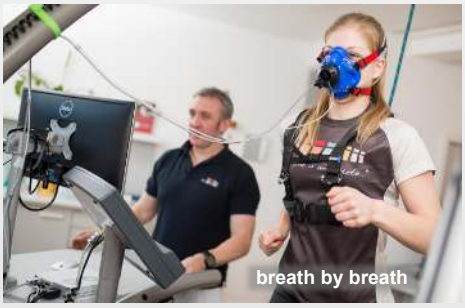
Das dritte Zahnrad

Ventilatorische Schwellen

Trainingszonen

Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

LAUFBANDERGOMETRIE: LAUFTRAININGSPULS ≠ *RADPULS + 20 SCHLÄGE?*



- ✓ Röcker et al. (n=371) stellen signifikante Abweichungen der HR an VT1 zum Wert **„+20Schläge für Laufband“** versus Radergometer fest [keine Korrelation bei 4mmol/l]; die Durchführung von Rad- und Laufbandtest wird anstelle einer formelbasierten Schätzungen (wie z.B.: *Radpuls PLUS 20 = Laufpuls*) empfohlen
- ✓ Formel zur Abschätzung der Ergometeräquivalentleistung in Watt (Fa. Woodway):
  - ➢ $P = (1{,}065 + 0{,}0511*g + 9{,}322*10\text{-}4*g^2) *v* BM/4$

    [P = workload (W); g = Grade (%), v = Speed (km/h), BM = body mass (kg)]
  - ➢ $WR = (1{,}065 + 0{,}0511 * G + 9{,}322 * 10\text{-}4 * G^2) * (v * 3{,}6) *mPat/4$

    → Alternative: Rückrechnung über V`O_2/RER mittels indirekter Kalorimetrie [1 Kcal/h = 1,1628 Watt]
- ✓ Der mit steigender Geschwindigkeit zunehmende **Luftwiderstand** bei Outdoor-Laufen [→ 7,5% bzw. 13% der Gesamt-V`O_2 l/min bei Mittelstrecken- bzw. Sprintgeschwindigkeit] wird auf dem Laufband über eine **1%-Steigung** während des gesamten Lastverlaufes näherungsweise abgebildet

2003 Roecker K et al., Heart-Rate Recommendations: Transfer Between Running and Cycling Exercise?, Int J Sports Med 2003;24:173-178

1996 Jones AM, A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running, *Journal of Sports Sciences*, 1996, 14, 321-327

1971 Pugh LGCE, THE INFLUENCE OF WIND RESISTANCE IN RUNNING …, J Physiol. 1971;213(2):255–76

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Ergometrieprotokolle

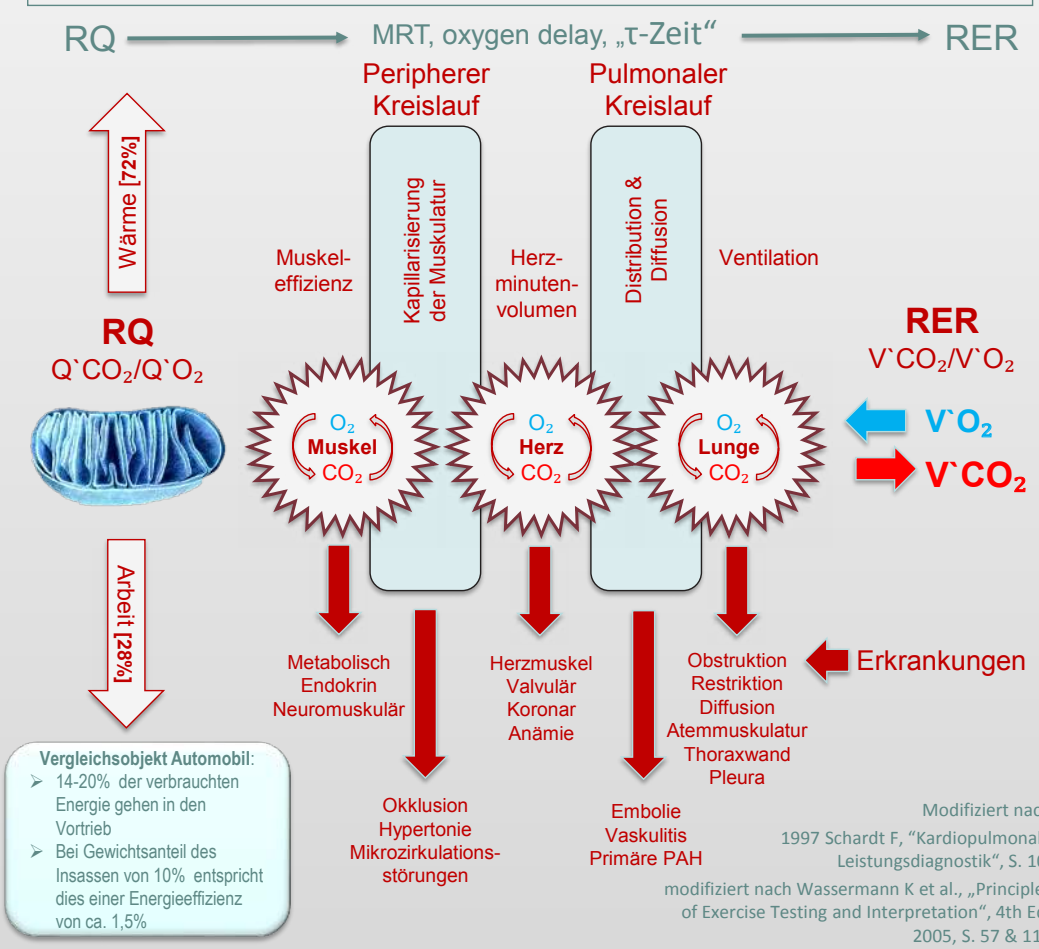
- **Probandenfitness, Untersuchungsindikation und die gewünschten Informationen bestimmen die Auswahl des Testprotokolls**
- ✓ **Dauer der Lastphase**: Hollmann 2006 „im Allgemeinen 10min"; Löllgen 2009 „8-12min", DGSP 2002 „nicht länger als 15min", **Midgley 2008 „5-26min"** erlauben valide $V`O_2max$ Verifizierung beim Gesunden
- **Rampenprotokoll:** kürzere Testdauer, 5-25W/min Laststeigerung
- **Stufenprotokoll** (Definition: >1min Stufendauer):
- ✓ ermöglicht die Erfassung „steady state"-abhängiger trainingsrelevanter Parameter (Laktat, Oxygen Delay, HR bei definierten Laststufen) bei vergleichbarer Auswertbarkeit der „slopes" im Vergleich zur Rampe (→ sog. „Ausschneidefunktion" der Software)
  - Kompromiss **„steady state"**: zwischen wissenschaftl. Anspruch und Machbarkeit
    - Spiroergometrie: Wahlund 1948: 6min; Hollmann&Venrath 1955, Blohmke 1996: **3min** (seit den 1950er Jahren bis heute an der SpoHo etabliert)
    - Laktat: signifikanter Anstieg >0,5mmol/l bei **3min**-Stufen, Mader 1967: 5min Stufen MaxLass
  - Inkremente (= Lastanstieg pro Stufe)
    - Laufband: 1km/h (Nonathlete), 2km/h (Athlete); Steigung 1%, +30s „Pause" zum Stufenende für: Laktatabnahme, RR-Messung, Kurvenmorphologie EKG
    - Fahrradergometer: 20Watt BDR-Protokoll (Bund Deutscher Radfahrer) und Beginn bei 80W bzw. 100W; 25 Watt (DGSP) Beginn bei 25W, 50W, 100W

2018 Meyer FJ et al. Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie – Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.2018; 72: 687–731
2006 Hollmann W et al, „Spiroergometrie – Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken" (1st Ed.), Schattauer Verlag, S. 59
2009 Löllgen H et al, Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis, 3. Auflage, Springer Verlag, ISBN-13: 978-3540927297

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

Wasserman´s Gearmodel (1965)



Vergleichsobjekt Automobil:
- 14-20% der verbrauchten Energie gehen in den Vortrieb
- Bei Gewichtsanteil des Insassen von 10% entspricht dies einer Energieeffizienz von ca. 1,5%

Modifiziert nach 1997 Schardt F, "Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik", S. 10, modifiziert nach Wassermann K et al., „Principles of Exercise Testing and Interpretation", 4th Ed. 2005, S. 57 & 112

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Welches Zahnrad ist Ausdauerleistungsbegrenzend?

	Schlagvolumen in Ruhe	HZV in Ruhe	Max. Schlagvolumen unter Belastung	HZVmax unter Belastung
Nichtsportler	60-80ml	5-6l	120ml	20-25l
Sportler	60-80ml	5-6l	200ml	>40l

Die V`O_2max gilt als Hauptkriterium für die Ausdauerleistungsfähigkeit

- **Als limitierender Faktor der V`O_2max beim gesunden trainierten Breitensportler und Laufbandergometrie gilt das <u>Herzzeitvolumen</u>**
  - Das Schlagvolumen bildet ein Plateau bei ≈ 50% von V`O_2max
  - Eine HZV-Steigerung oberhalb von 50% V`O_2max basiert weitestgehend auf einer Steigerung der Herzfrequenz
- ✓ Eine gesunde **<u>Lunge</u>** ist beim Breitensportler auf Meeresspiegelhöhe (bzw. >3000m Höhe) keine leistungslimitierende Größe. Bei Elitesoldaten unter maximalem HZW wurden pulmonale Limitationen beobachtet, die auf eine zu kurze Gasaustauschzeit zurückzuführen sind, diese pulmonalen Limitationen konnten durch eine Erhöhung des O_2-Anteils (20,95% auf 26%) in der Einatemluft umgangen werden
- ✓ Die Möglichkeiten unserer **<u>Muskulatur</u>** zur Verarbeitung des Blutes liegen **2-3x über der maximalen Pumpleistung** des Herzens
  - Im Falle eines Trainingsmangels v.a. bei Ergometrieformen, die kleine Muskelgruppen beanspruchen (Handkurbelarbeit im Stehen, Fahrradergometrie) kann die oxidative Kapazität der beanspruchten Muskulatur der leistungsbegrenzende Faktor sein

2020 Berrisch-Rahmel S, Rost C, Stumpf C, Sportherz und Herzsport: Empfehlungen für die sportkardiologische Praxis, Thieme Verlag, ISBN-13: 978-3131751010

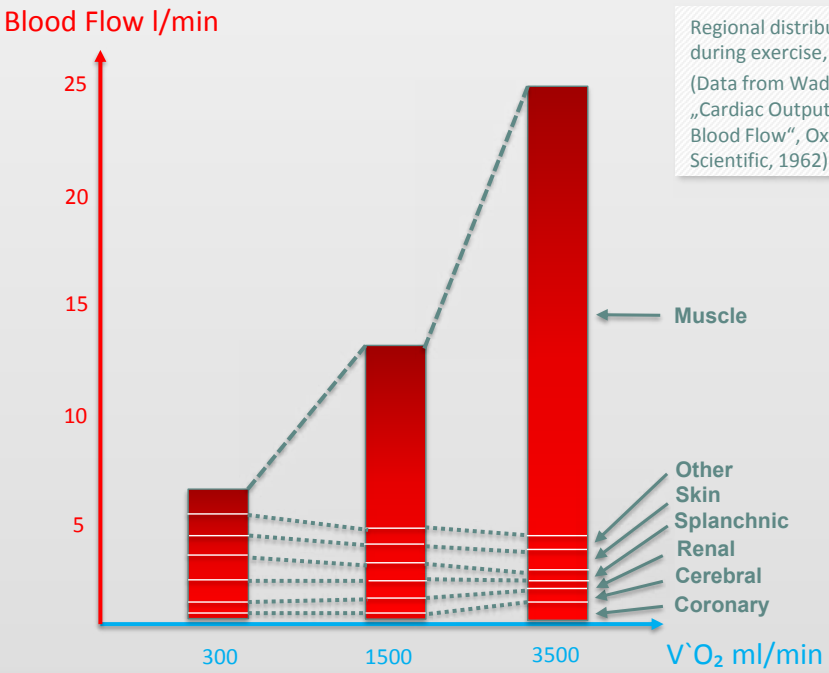
2020 Xiao J, Physical Exercise for Human Health (Advances in Experimental Medicine and Biology (1228), Band 1228), Springer Verlag, ISBN-13: 978-9811517914, S. 6

2000 Bassett DR, Howley ET, Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance, Med Sci Sports Exerc 2000 Jan;32(1):70-84

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Regionale Verteilung des Herzminutenvolumens unter körperlicher Belastung



Regional distribution of blood flow during exercise,
(Data from Wade OL, Bishop JM, „Cardiac Output and Regional Blood Flow“, Oxford, Blackwell Scientific, 1962)

- Die Muskulatur ist das größte endokrine Gewebe und Stoffwechselorgan des Menschen und von zentraler Bedeutung in der Genese des MetS
- 10kg Muskelmasse führen zu durchschnittlich 100Kcal tägl. Energieumsatz in Ruhe (dies entspricht etwa 4,7kg Fettmasse/Jahr)

1997 Jones NL, „Clinical Exercise Testing“ S. 33

2006 Wolfe R, „The underappreciated role of muscle in health and disease“

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

SPIROERGOMETRIE

1964 Wasserman K, McIlroy MB „threshold of anaerobic metabolism“, („vAT“, „lactate threshold“)

1959 Hollmann „PoW“
„Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung“
„Sauerstoffdauerleistungsgrenze“

VCP / „RCP“
1982 Whipp BJ, Wasserman K

Fettsäureoxidation (obligat aerob)	Aerobe Glykolyse	↑ Lokale metabolische Azidose *„Aerob-anaerober Übergangsbereich“*	↑ Systemische metabol. Azidose

1978 Kinderman, Simon, Keul.:
„aerobe Schwelle (AS)“ 2 mmol/l
„anaerobe Schwelle (ANS)“ bei 4 mmol/l

1976 Mader: MaxLaSS
„4 mmol/l-Lactatschwelle“ (V4)

1981 Simon, Berg, Dickhuth:
IAS „minimales Laktatäquivalent“
erster Anstieg des Basislaktats

1986 Simon, Dickhuth: IANS
Basislaktat plus 1,5 mmol

Laktatkinetik

2014 Schomaker R, Congress Presentation

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

SPIROERGOMETRIE

VT1 → lokal aerob *(Muskel)*

VT2 → ↑ **Lokale** metabolische Azidose ***(Muskel)***

systemisch aerob *(Blut)*

↑ **Systemische** metabolische Azidose ***(Blut)***

LT1 LT2

Laktatkinetik

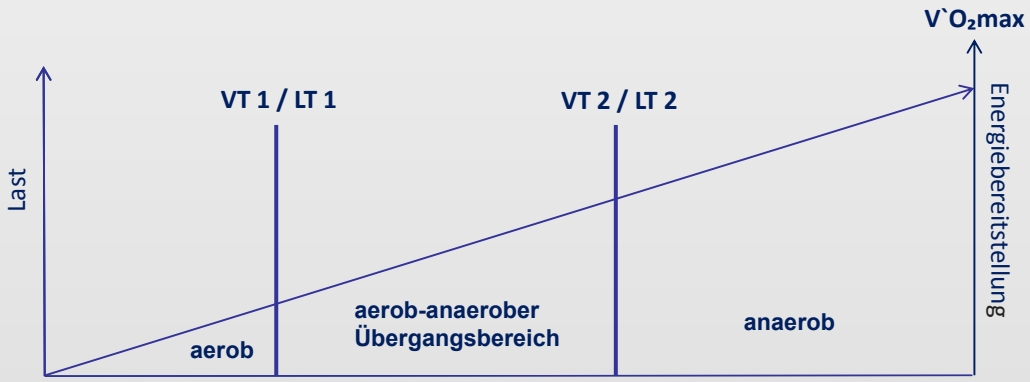
2013 Westhoff M, Rühle KH, Greiwing A, Schomaker R, Eschenbacher H, Siepmann M, Lehnigk B, „Ventilatorische und metabolische (Laktat-)Schwellen“, Dtsch Med Wochenschr 2013; 138(06): 275-80
2013 Tschakert G, Hofmann P, „High-Intensity Intermittent Exercise: Methodological and Physiological Aspects“, Int J Sports Physiol Perform, 2013 Nov;8(6):600-10

Anteil anaerober Energiebereitstellung

in Abhängigkeit von Belastungsintensität und Belastungsdauer

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

→ Veraltete Darstellung nach 1978 Kindermann W, Metabolic acidosis. Its significance under physiological and pathological conditions, deutschsprachiger Artikel, Fortschr. Med. 1978 Feb 2;96(5):221-6.



Belastungs-dauer	10s	30s	60s	2min	4min	10min	30min	60min	120min
% anaerob	90	80	70	50	35	15	5	2	1
% aerob	10	20	30	50	65	85	95	98	99

Abbildung modifiziert nach 1978 Kindermann W, Metabolic acidosis. Its significance under physiological and pathological conditions, deutschsprachiger Artikel, Fortschr. Med. 1978 Feb 2;96(5):221-6.
Tabelle: 2015 McArdle WD, Katch FI, Katch VL, Exercise Physiology, 8th Ed., p. 169, Fig 7.7

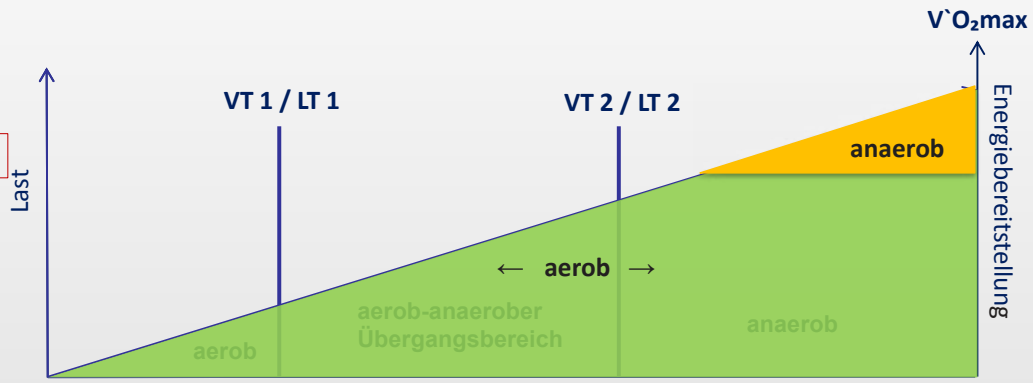
SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

Anteil anaerober Energiebereitstellung

in Abhängigkeit von Belastungsintensität und Belastungsdauer

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen



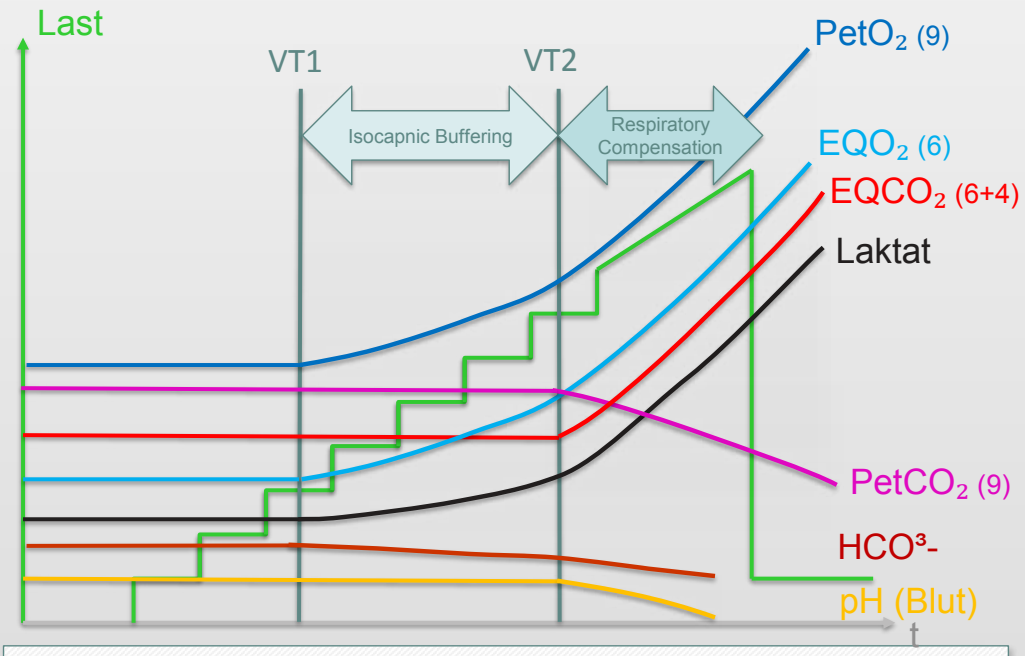
Belastungs-dauer	10s	30s	60s	2min	4min	10min	30min	60min	120min
% anaerob	90	80	70	50	35	15	5	2	1
% aerob	10	20	30	50	65	85	95	98	99

Abbildung modifiziert nach 1978 Kindermann W, Metabolic acidosis. Its significance under physiological and pathological conditions, deutschsprachiger Artikel, Fortschr. Med. 1978 Feb 2;96(5):221-6.
Tabelle: 2015 McArdle WD, Katch FI, Katch VL, Exercise Physiology, 8th Ed., p. 169, Fig 7.7

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

PHYSIOLOGICAL AND VENTILATORY RESPONSES TO A PROGRESSIVE INCREASE IN WORKLOAD EXERCISE TEST



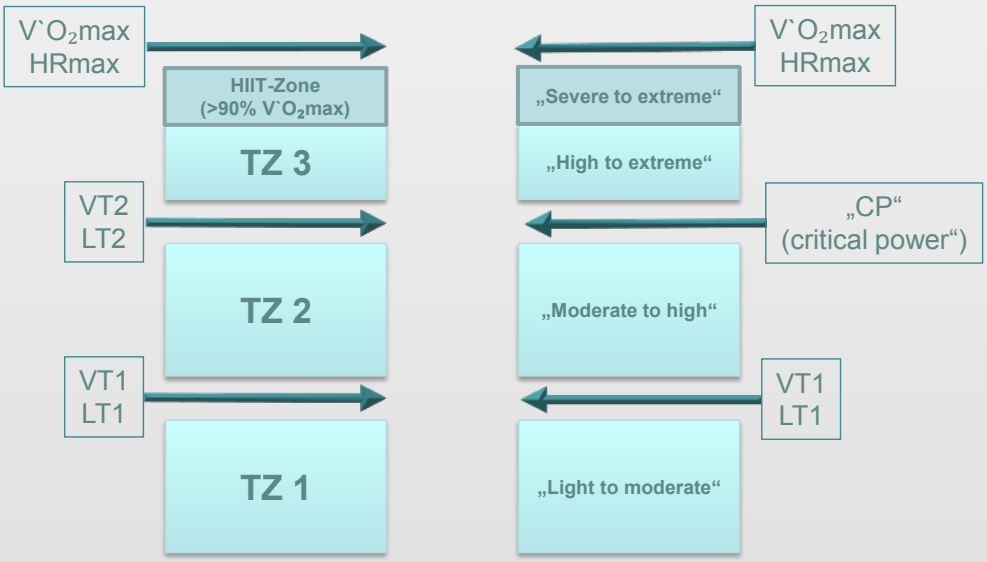
Empfehlungen der AG Spiroergometrie zu farblichen Darstellung:
Pet O_2: dunkelblau, Pet CO_2: magenta, EQO_2: wie $V`O_2$, $EQCO_2$: wie $V`CO_2$.
Ergänzt: Laktat; schwarz, HCO^3-: bordeaux, ph(Blut): orange

Modifiziert nach 2005 Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ, „Principles of exercise testing and interpretation“ S. 34, Fig. 2.29

Modifiziert nach 2013 Raven PB, Wasserman DH, Squires WG, Tinker DM, „Exercise Physiology – an integrated approach“, S. 348, Fig 10.11

Was ist Spiroergometrie?
Wasserman´s Gearmodel
Das dritte Zahnrad
Ventilatorische Schwellen
Trainingszonen
Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

SCHWELLENBASIERTE TRAININGSZONENMODELLE



- Ein „Position Stand“ der Amerikanischen, Kanadischen und Europäischen Kardiologischen und Pneumologischen Fachorganisationen empfiehlt ein Training nach ventilatorischen / laktatbasierten Schwellen anstelle „range-basierter“ Konzepte (% $V`O_2$max, % Hrmax, etc.)
- Anstelle der „VT2“ wird als „CP“ (critical power) diejenige Belastungsintensität definiert, welche gerade noch unter $V`O_2$- und Laktat-“steady-state“ aufrecht erhalten werden kann
- Es werden evidenzbasierte Trainingsempfehlungen basierend auf den o.g. Trainingszonen bei kardiologischen Krankheitsbildern gegeben (→ nächste Folie)

2006 Seiler KS, Kjerlan GØ, Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes:is there evidence for an ‘‘optimal’’ distribution?, Scand J Med Sci Sports 2006: 16: 49–56

2012 Mezzani A, Hamm LF et al., „Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitaion: a joint position statement …“; European Journal of Preventive Cardiology 20(3) 442-467

Spiroergometrie in der Sportmedizin

Was ist Spiroergometrie?

Wasserman´s Gearmodel

Das dritte Zahnrad

Ventilatorische Schwellen

Trainingszonen

Indikationen, Kontraindikationen, Komplikationen

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Pause

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Spiroergometrie in der Sportmedizin

Standardisierte

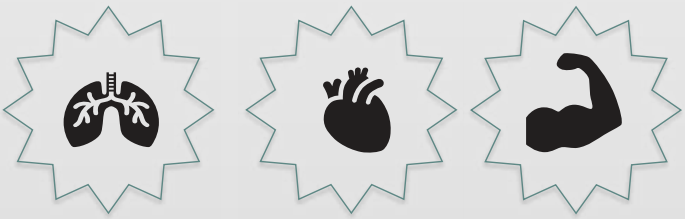
Auswertung der „9-Felder-Grafik“

nach Karlman Wasserman (1st Ed., 1978)

in der Sportmedizin

Zahnradmodell → Transfer in die 9Feldergrafik

nach Wasserman



SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Normwerte in der Spiroergometrie

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

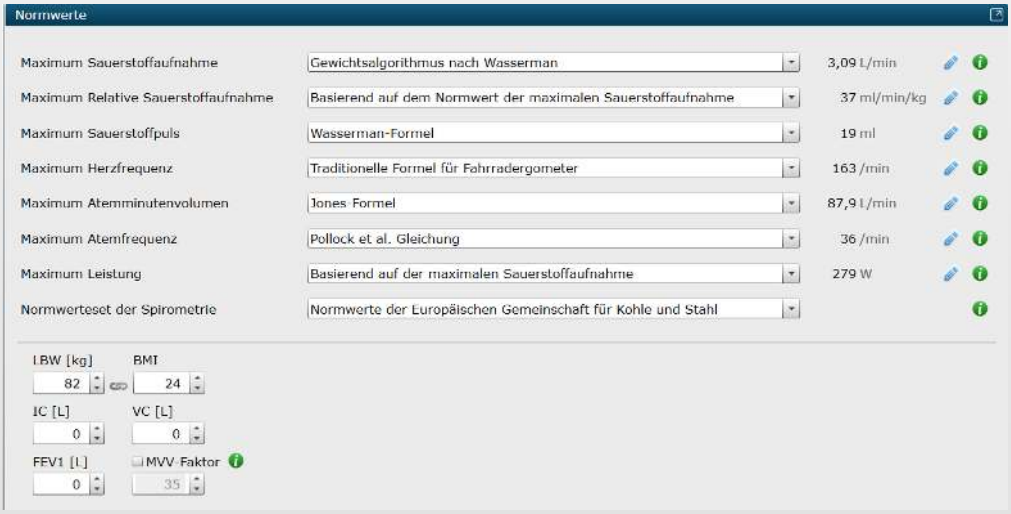
Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

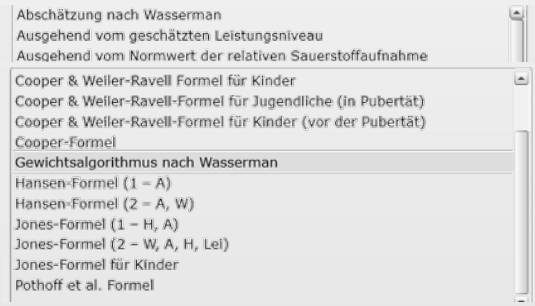
Normwerte am Beispiel der Software Metasoft Studio®



- ✓ Eine Zusammenstellung der in der Metasoft Studio® hinterlegten kollektiven Sollwerte lässt sich über die Toolbox in den Auswertungs-workflow integrieren
- ✓ Per Klick auf die zugehörige Sollwertzeile lässt sich das zugrunde liegende Sollwertkollektiv verändern
- ✓ Ein Klick auf das grüne Ausrufezeichen gibt Informationen zu Formel oder Sollwertkollektiv und den zugrundeliegenden Literaturquellen
- ➢ Die Eingabe von Größe und Gewicht sowie FEV1, IC und VC (Messung vor Testbeginn) ermöglichen die Kalkulation individueller Sollwerte

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Normwertoptionen für die absolute V`O_2max in l/min



- Auswahl verschiedener Formeln für Sollwert V`O_2max in l/min:

✓ Hansen & Wasserman (1984)
- Männer: [Größe - Alter] x 20
- Frauen: [Größe - Alter] x 14
- Adipöse: V`O_2max (Normgewicht) + 6ml O_2/kg Übergewicht

✓ Hansen (1984)
- V`O_2max l/min (♂): 4,2 - (0,032 x Alter) x 0,9 für Radtest
- V`O_2max l/min (♀): 2,6 - (0,014 x Alter) x 0,9 für Radtest

✓ Jones (1985)
- V`O_2max l/min (♂): (3,45 X KH[m]) – (0,028 x Alter) + (0,022 X KG) – 3,76
- V`O_2max l/min (♀): (2,49 X KH[m]) – (0,018 x Alter) + (0,01 X KG) – 2,26

✓ SHIP I (2013, Auswahl):
- V`O_2max ml/min (♂): 254,761 – 22,6925 x Alter + 17,2463 x KH [cm] + 4,4114 x KG
- V`O_2max l/min (♀): 54,739 – 9,8085 x Alter + 9,9172 x KH [cm] + 8,0557 x KG

2015, Kroidl R, Schwarz S, Lehnigk B, „Kursbuch Spiroergometrie, 3. Auflage“, S. 502 & 503
2018 Meyer FJ et al, Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie – Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.2018; 72: 687–731, S. 700

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Normwertoptionen für O_2-Puls

Wasserman-Formel
Jones-Formel

Normwertoptionen für HFmax

Formel für Kinder
Linearer altersabhängiger Abfall
Traditionelle Formel für Fahrradergometer
Traditionelle Formel für Laufband

Normwertoptionen für V`E max

Jones-Formel

Normwertoptionen für BR max

Pollock et al. Gleichung

Normwertoptionen für Spirometrie

Basierend auf der maximalen Sauerstoffaufnahme

Basierend auf der maximalen Sauerstoffaufnahme
Berechnet aus Gewicht und Alter
Jones-Formel (1 – A, H)
Jones-Formel (2 – A, H)
Jones-Formel (3 – A, H, W)

Normwertoptionen für die relative V`O_2max in l/kg/min

Basierend auf dem Normwert der maximalen Sauerstoffaufnahme

- Ausgehend vom geschätzten Leistungsniveau
- Basierend auf dem Normwert der maximalen Sauerstoffaufnahme
- Davis et al. Formel
- Hansen-Formel
- Jones-Formel
- Linearer altersabhängiger Abfall
- Shvartz & Reibold-Formel

- Auswahl verschiedener Formeln für Sollwert V`O_2max in ml/kg/min:
  - ✓ Jones-Formel
    - V`O_2max (♂) ml/kg/min: 60- (0,55 x Alter)
    - V`O_2max (♀) ml/kg/min: 48- (0,37 x Alter)
  - ✓ Cooper-Formel
    - V`O_2max (♂) ml/kg/min: 50,02- (0,394 x Alter)
    - V`O_2max (♀) ml/kg/min: 42,83- (0,371 x Alter)
  - ✓ Cooper(Weiler-Ravell 1984:
    - ✓ Kinder vor der Pubertät
      - V`O_2peak [ml/kg/min] = $\frac{37{,}1\ x\ Größe\ [cm] - 3770{,}6}{Gewicht\ [kg]}$
    - ✓ Jungen in Pubertät
      - V`O_2peak [ml/kg/min] = $\frac{42{,}6\ x\ Größe\ [cm] - 4847{,}1}{Gewicht\ [kg]}$
    - ✓ Mädchen in Pubertät
      - V`O_2peak [ml/kg/min] = $\frac{22{,}5\ x\ Größe\ [cm] - 1837{,}8}{Gewicht\ [kg]}$

2015, Kroidl R, Schwarz S, Lehnigk B, „Kursbuch Spiroergometrie, 3. Auflage“, S. 503

2018 Meyer FJ et al, Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie – Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.2018; 72: 687–731, S. 700

2001, Cooper CB, Storer TW, „Exercise Testing and Interpretation – A practical approach“, Cambridge University Press, S. 220

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik
Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9
Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

Referenzwerte rel. V`O_2max im Laufbandtest: 3 Studien

	Alter					
Studie	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
	Männlich					
FRIEND, 2015	47,6±11,3	43,0±9,9	38,8±9,6	33,8±9,1	29,4±7,9	25,8±7,1
Loe et al., 2013	54,4±8,4	49,1±7,5	47,2±7,7	42,6±7,4	39,2±6,7	35,3±6,5
Edvardsen et al, 2013	48,9±9,6	46,2±8,5	42,7±9,3	36,8±6,6	32,4±6,4	30,1±4,8
	Weiblich					
FRIEND, 2015	37,6±10,2	30,9±8,0	27,9±7,7	24,2±6,1	20,7±5,0	18,3±3,6
Loe et al., 2013	43,0±7,7	40,0±6,8	38,4±6,9	34,4±5,7	31,1±5,1	28,3±5,2
Evardsen et al, 2013	40,3±7,1	37,6±7,5	33,0±6,4	30,4±5,1	28,7±6,6	23,5±4,1

- **The FRIEND Study**: 01.01.2014 -01.02.2015 Laufbandtests an 7783 herz- und lungengesunden Männern und Frauen zwischen 20 und 79 Jahren in 8 Laboren
- Die rel. V`O_2max nahm im in diesem Kollektiv (20-79J) im Mittel um 10% pro Lebensdekade ab: von im Mittel 47 ml/kg/min im 20. LJ auf 25 ml/kg/min im 70. LJ

2015 Kaminsky LA et al, Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database, Mayo Clin Proc, 2015 Nov;90(11):1515-23

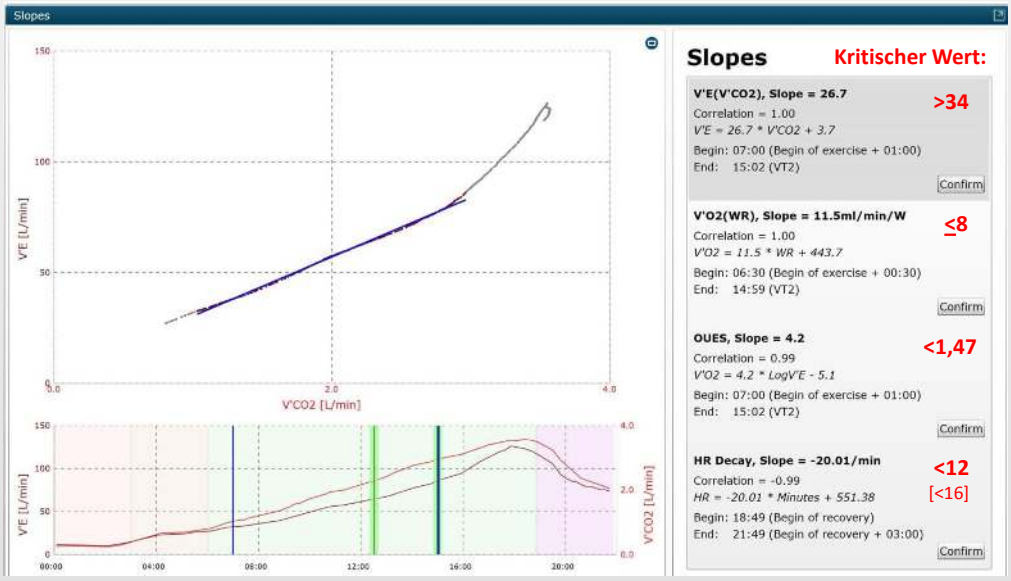
2013 Edvardsen E, et al, Reference values for cardiorespiratory response and fitness on the treadmill in a 20- to 85-year old population, Chest. 2013;144(1):241-248

2013 Loe H et al, Aerobic capacity reference data in 3816 healthy men and women 20e90 years. PLoSOne, 2013;8(5)

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Was ist ein „Slope“?



- ✓ **„Slope“ ≈ Anstieg, Steigungsmaß, Steigung, Steilheit, Neigung**
- ✓ y(x)-Abhängigkeiten (xy-Darstellungen) unterscheiden lineare / nichtlineare Zusammenhänge
- ✓ **y = m * x + b**; (m = Slopewert, Gradient; x = unabhängige Variable, b = y-Abschnitt der Linie)
- ✓ Der Korrelationskoeffizient sagt aus, wie streng der lineare Zusammenhang (Korrelation) der gegeneinander aufgetragenen Variablen x und y ist ausgeprägt ist
- ➢ **„Slopes“ ermöglichen „Blickdiagnosen“**
- ➢ **Kritische Werte korrelieren mit einer deutlich erhöhten kardiovaskulären Ereignisrate, Interventionsrate, Mortalität und Hospitalisierungsrate bei definierten Probandengruppen** (z.B. Patienten mit Herzinsuffizienz [CHF])
- ✓ [Der ExcessCO_2 Slope **$(V'CO_2)^2/V'O_2 - V'CO_2 = (RER - 1) * V'CO_2$** nach Volkov kann als weiterer – *oben nicht berücksichtigter* - Slope in der Spiroergometrie gelten]

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

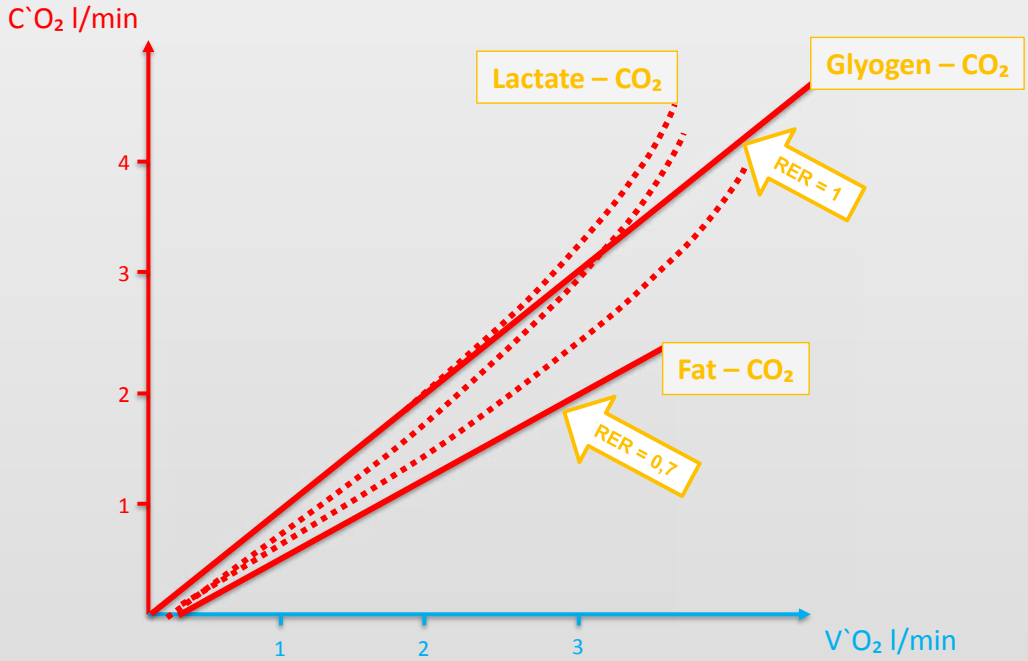
Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Wie funktioniert der „V-Slope“ in Feld 5?



„Schematic graph showing theoretical effects of different metabolic fuels on the relationship of CO_2output to O_2uptake. CO_2output is the lowest when only fat is used and increases with increasing use of carbohydrate and with the production of lactate.“

- ➢ **RER = 1** → 45° Tangente durch den Nullpunkt → $V`O_2$ ist = $V`CO_2$ an jedem Punkt der Geraden ≈ „aerobe Kohlenhydratverstoffwechselung“

Modifiziert nach 1997 Jones NL, „Clinical Exercise Testing“, S. 23, Fig. 2-4.

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Spiroergometrie in der Sportmedizin

Auswertung der 9-Felder-Grafik nach Wasserman in der Praxis

- *Standardisiertes Vorgehen*
- *Pitfalls & Fehlerquellen*
- *Befundung und Interpretation*

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

ZfS-Standardalgorhythmus zur Interpretation der 9-Felder-Grafik nach Karlman Wasserman (1st Ed., 1978)

ZfS | Zentrum für Sportmedizin

ZfS-Standard: Auswertung der 9-Felder-Grafik (1st Ed., 1978):

- **Feld 3/8**: V`$O_2$max/peak; RER: Metabolismus / Substratutilisation; maximale Leistungsfähigkeit (METmax, Watt/kg); „Aerobe Kapazität“ = V`O_2(P) Slope (ΔV`O_2/ ΔWR) „Slope 1“ <8ml/min/Watt?; „Slope 2“ <4ml/min/Watt?; Ausbelastung / Kooperation
- **Feld 5**: V`$O_2$max; V`CO_2max; HRmax; max. O_2-Puls; VT1; ggf. auch Validierung von VT2; HR, V`$O_2$ und Last an VT1 und an V`O_2max; Höhe der eingegangenen Laktatazidose (Mitarbeit); HRR 1 (heart rate reserve), Verlauf HR und Verlauf O_2-Puls
- **Feld 6**: Bestimmung von VT1 nach EQO_2 und VT2 nach EQCO_2; Atemarbeit / Atemökonomie/ Atemeffizienz; EQCO_2 + EQO_2 = dimensionslose Zahlen ebenso wie V`E
- **Feld 4**: V`E*-Slope V`E(V`CO_2) Slope [bis VT2]: Verlauf & absoluter Wert: Hyper- (>34) oder Hypoventilation (<25); Bestimmung von VT2 (=RCP); Atemeffizienz
- **Feld 2**: HR; O_2-Puls: Verlauf, max. O_2-Puls <80% Sollwert?; Ruhe- und Ausbelastungs-HR, HRR 1 (heart rate reserve); HRR 2 (heart rate recovery → HR-Decay Slope)
- **Feld 1:** V`Emax und dessen Bezug zu individuell ermittelten und kollektiven Sollwerten (MVV + V`Epredict); „Neuner-Regel“ (9l V`E/25Watt); VT1 & VT2 sind als Atemantriebe ggf. sichtbar; Aufbrauchen der Atemreserve (<20% von MVV oder <15l?)
- **Feld 7**: Atemmuster (Obstruktion oder Restriktion?); Atemrhythmus (z.B. Kopplung der Atem- an die Schrittfrequenz); Atemarbeit
- **Feld 9**: Höhe und Verlauf der endtidalen O_2- und CO_2-Partialdrücke; Validierung VT1+ VT2; ggf. Bezug zu aufgetragenen BGA-Werten (arterialisiertes Kapillarblut des Ohrläppchens) oder SpO_2
- ***Am Messplatz wird vorgehalten**: „Bronchospasmolyseset“: Salbutamol + Ipratropium Spray (→ Reversibilität einer bronchospastischen endobronchialen Obstruktion), Nitrospray (→ Reversibilität einer typischen Angina pectoris)*

Systematik der Befundung: 7Fragen pro Feld

- ***Welche Aussagen sind möglich?***
  - ✓ Welche Befundparameter können aus dem Feld erkannt werden?
- ***Was ist dargestellt?***
  - ✓ Welche Daten sind im Feld gegeneinander aufgetragen?
- ***Welche Normwerte liegen zugrunde?***
  - ✓ Für welche Kanäle sind Normwerte sind im Feld hinterlegt, woher stammen sie und bilden Sie den untersuchten Probanden ab?
- ***Was bedeuten die eingeblendeten Isoplethen?***
  - ✓ Wofür stehen die Isoplethen, die im Feld eingetragen sind und die Orientierung erleichtern sollen?
- ***Was muß befundet werden?***
  - ✓ Gibt es einen befundungsrelevanten „Slope“?
  - ✓ Welche relevanten Informationen aus dem Feld gehören in den Befundbericht?
- ***Zusätzlich einblenden:***
  - ✓ Welche zusätzlichen Informationen können sinnvoll in das Feld eingeblendet werden und die Befundung bereichern?
- ***Redundanz:***
  - ✓ Welches der anderen Felder beinhaltet die gleichen Informationen?

2014 Schomaker R, Congress Presentation

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik
Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9
Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest
SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Schritt 1: Feld 3

- ✓ **V`$O_2$** (Y1-Achse links) und **V`CO_2** (Y2-Achse rechts) sind in l/min gegen die Zeit (min; X-Achse) aufgetragen; *ggf. zusätzlich die **Last** in Watt (Rad) oder km/h (Laufband) auf der X-Achse auftragen*
- ✓ Je größer der Abstand von **V`$O_2$** über **V`CO_2**, umso näher ist **RER** an **0,7** d.h. umso höher ist der Anteil der Fettverbrennung an der Gesamtenergiebereitstellung (**RER** = **V`$CO_2$** / **V`O_2**)
- ✓ ***RER = 1** entspricht keiner definierten „Schwelle“; vielfach kommen im Testverlauf mehrere Kreuzungspunkte „**RER = 1**“ vor*
- ✓ **RER ist *im Normalfall* an VT1 <1 und an VT 2 >1. → CAVE! Es gibt Ausnahmen (z.B. unter ketogener Ernährung kann VT2 bei RER <1 nachweisbar sein)**

Feld 3: V`$O_2$(P) (ΔV`O_2/ ΔWR), V`O_2max/peak, FatOx

- ***Welche Aussagen sind möglich?***
  - ✓ V`$O_2$max oder V`O_2peak (Hinweise für kardiale Limitierung?)
  - ✓ METmax, maximale Last (Rad: Watt, Laufband: km/h), mean response time
  - ✓ Leistungsfähigkeit, „Aerobe Kapazität“ V`$O_2$(P) = ΔV`O_2/ ΔWR („work rate“)
  - ✓ Substratutilisation (Metabolismus): Fett- und Kohlenhydratoxidation
  - ✓ Mitarbeit / Ausbelastung
- ***Was ist dargestellt?***
  - ✓ Verlauf von V`$O_2$ und V`CO_2 über die Zeit
- ***Welche Normwerte liegen zugrunde?***
  - ✓ Formeln nach SHIP, Wasserman, Cooper, Hansen, Jones, Potthoff [V`O_2]
- ***Was bedeuten die Isoplethen?*** -
- ***Was muß befundet werden?***
- ✓ **SLOPES**: V`$O_2$(P) Slope (ΔV`O_2/ ΔWatt); OUES (oxygen uptake efficiancy Slope); ExcessCO_2: ExCO_2 = [(V'CO_2)^2/V'O_2) – V'CO_2]-Slope
- ✓ Anstieg und Morphologie der Kurve V`$O_2$ (Peak oder Plateau? Bezug zum Normbereich? Abstand zu V`CO_2 = RER), Anstieg V`$CO_2$ + Bezug zu V`O_2
- ✓ V`O_2peak/max *„**absolut**“* in l/min und *„**relativ**“* in ml/min/kg
- ✓ V`$O_2$ an VT1 in %V`O_2max und in %V`O_2predict, maximale Last (Pmax)
- ✓ mean response time [MRT, oxygen delay]
- ***Zusätzlich einblenden:***
  - ✓ Last in Watt oder km/h → ΔV`$O_2$/ ΔWR, V`O_2(P): Norm 9-11ml/Watt (Rad)
- ***Redundanz:***
  - ✓ V`$O_2$ und V`CO_2 in Feld 5; V`$CO_2$ in Feld 4, V`CO_2/VO_2 in Feld 8 (RER)

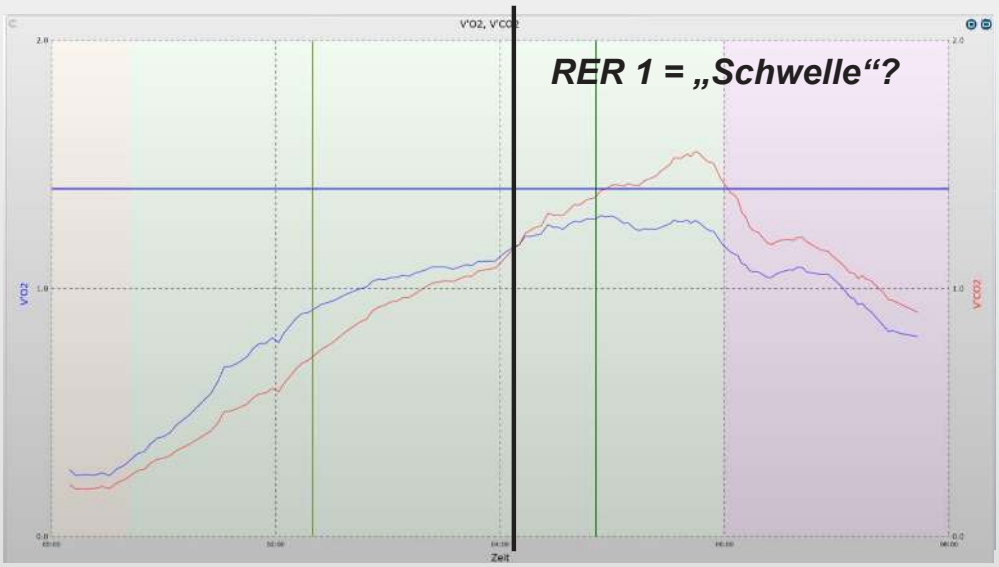
Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

Pitfall: Schwelle bei RER = 1?

→ „crossing method“ / RER-AT: → „objective and readily obtainable“?



- 54jährige Frau, 54,5kg, 171cm,
- Radergometertest: 50 - 128Watt, Rampenprotokoll mit Laststeigerung von 15Watt/min

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

RER = 1 „The Crossing Method“ oder „RER-AT“

1924 Archibald Hill et al: „a study of the RQ … may throw light on the acid-base changes occurring as a result of exercise“

1930 Harrison, Pilcher, Clark finden hohe „respiratory gas exchange ratio“ bei niedriger Belastung von herzinsuffizienten Patienten

1964 Wasserman & McIlroy beschreiben den Anstieg der „respiratory gas exchange ratio R“ ($PetCO_2/PetO_2$) „to detect the onset of anaerobic metabolism during exercise”

1973 Wasserman et al. beschreiben die ExcessCO_2-Bildung aus der Bikarbonatpufferung des Laktats als AT und relativieren „R” als Abbildung der einsetzenden lokalen metabolischen Azidose

1985 Beaver, Wasserman und Whipp publizieren die „V-Slope-Methode” zu Detektion des Beginns der ExcessCO_2-Bildung aus der Bikarbonatpufferung des Laktats

1924 Hill A et al, Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen, 1 Proc Roy Soc London, Ser B96:438-475, 1924

1930 Harrison TR, Pilcher C, Studies in congestive heart failur II. Respiratory exchange during and after exercise, J Clin Invest 8:291-315, 1930

1964 Wasserman K, McIlroy MB, Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise, Am J Cardiol 1964 Dec;14:844-52

1973 Wasserman K, Whipp BJ, Joyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 1973; 35: 236-43

1985 Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ, Improved detection of lactate threshold during exercise using a log–log transformation. J Appl Physiol 1985; 59: 1936–1940

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

RER = 1 „The Crossing Method“ oder „RER-AT“

- 1983 Yeh et al definieren **RER= 1 als „RER-AT“**: „V`O_2 at the time when RER stabilized above 1.0 not returning to levels below”
- 1990 Dickstein et al beschreiben zur Validierung der AT hingegen den 1. Kreuzungspunkt von V`$CO_2$ und V`O_2 in Feld 3 (erster Atemzug im Testverlauf, an dem RER = 1 ist) bei einem Laktatwert von 2mmol/l mit der Einschränkung ***„objective and readily obtainable but arbitrary and cannot be expected to correspond to the onset of anaerobiosis as accurately as methods based on physiological transitions in the pattern of gas exchange”***
- *1991 Cohen-Solal beschreibt* das o.g. Verfahren als „crossing method“ mit der Einschränkung ***„tended to overestimate the mean VT”***
- *2016 Peinado et al untersuchten RER = 1 in Relation zum MaxLass an 12 Amateurradsportlern: die Leistung bei RER = 1 (347 ±35W) lag deutlich über der Leistung an MaxLass (284 ±30w) und an VT 1 (253 ±37W)*

1983 Yeh MP et al, “Anaerobic threshold”: problems of determination and validation. Journal of Applied Physiology 55, 1178-1186

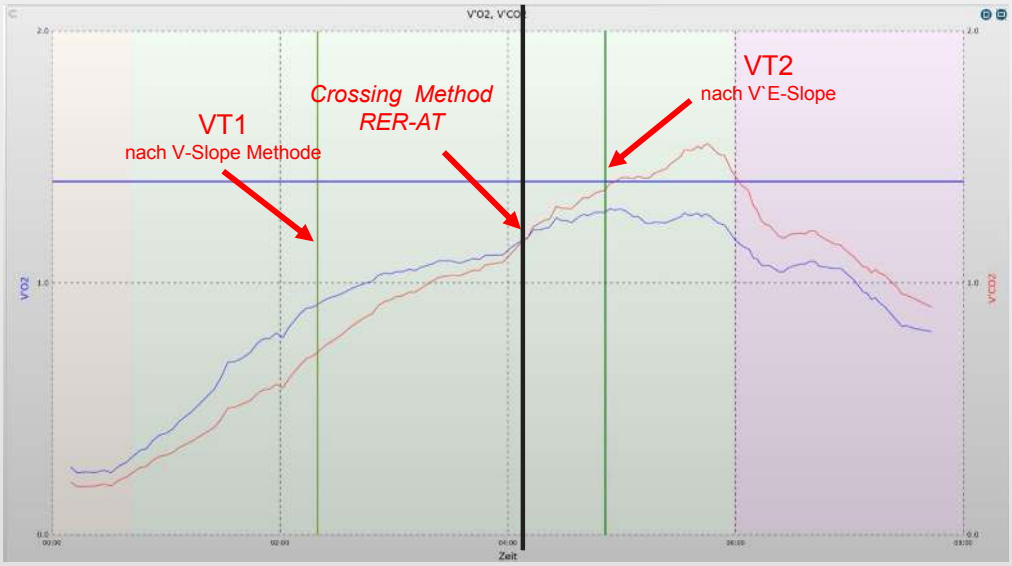
1990 Dickstein K, Barvik S, Aarsland T, Snapinn S, Kalsson J, A comparison of methologies in detection of the anaerobic threshold. Circulation 1990; 81 (Suppl II): II-38-II-46

1991 Cohen-Solal A et al, Multicentre study of the determination of peak oxygen uptake and ventilatory threshold during bicycle exercise in chronic heart failure, Comparison of graphical methods, interobserver variability and influence of the exercise protocol, *Eur Heart J*(1991) 12, 1055-1063

2005 Solberg G et al, Respiratory Gas Exchange Indices for Estimating the anaerobic threshold, J Sprtso Sci Med (2005) Mar 1;4(1):29-36

2016 Peinado AB et al, The midpoint between ventilatory thresholds approaches maximal lactate steady state intensity in amateur cyclists, Biol. Sport 2016;33:373-380

VT1, VT2 und „*Crossing Method*“ / *RER-AT*



- 54jährige Frau, 54,5kg, 171cm,
- Radergometertest: 50 - 128Watt, Rampenprotokoll mit Laststeigerung von 15Watt/min

[Mader und Heck beschrieben 1986 das Model eines „crossing points“ als Gleichgewicht von Laktatbildung und Abbau. Dieses Konzept steht zur o.g. „crossing method“ von $V`CO_2/V`O_2$ in keinem Bezug]

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Indirekte Kalorimetrie über $V`O_2$

Grundumsatz- und RuheumsatzBedingungen

Ruheumsatzmessung über Maske an Cortex Biophysik Metalyzer 3B

Ruheumsatzmessung über Canopy-Option an Cortex Biophysik Metalyzer 3B

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Indirekte Kalorimetrie: Maske ≠ Canopy

- **Beide Systeme liefern valide Daten, die miteinander nicht vergleichbar sind**
- ✓ *Zwischen **Maske und Canopy werden für V`$CO_2$ +4,1% und für V`O_2 +7,1%** Messabweichung beschrieben (bei Mundstück: +7,9% und +10,2%)*
  - *Abweichungen ergeben sich u.a. aus dem Verhältnis von Totraumvolumen zu Tidalvolumen/Lungengröße: u.a. für Frühgeborene werden daher Masken empfohlen*
  - CANOPY = geschlossenes System → Hyperkapniegefahr (→ akustisches Alarmsignal!)
- ✓ Eine 5minütige Gewöhnungsphase geht einer 20-40minütigen Messphase voraus
- ✓ Unter Canopy-Messung scheinen sich bei bestimmten Patientengruppen schneller Entspannung und **„steady-state"**-Bedingungen **einzustellen [20min bei Canopy versus 40min bei Maske]**
- ✓ *Maskensysteme sind in der Anschaffung günstiger, scheinen aber längere Messzeiten bis zum Erreichen eines „steady states" von V`E und RQ zu benötigen*

2005 Isbell T et al, Measurement Reliability and Reactivity Using Repeated Measurements of Resting Energy Expenditure with a Face Mask, Mouthpiece, and Ventilated Canopy, J Par Entr Nutr, Vol 29, No 3, 212-217

1993 Forse RA , Comparison of Gas Exchange Measurements With a Mouthpiece, Face Mask, and Ventilated Canopy, J Par Entr Nutr, Vol 17, No 4, 388-391

Grundumsatz- und RuheumsatzBedingungen

- **Grundumsatz (basal metabolic rate)**
  - = Teil des täglichen Energieverbrauches, der für die Aufrechterhaltung lebenswichtiger Funktionen benötigt wird → Umsatz in absoluter körperlicher Ruhe bei Nahrungskarenz, Inaktivität und Indifferenztemperatur (21-24°C)
  - ✓ Praetestbedingungen: 12-18h nüchtern, 2h zuvor keinerlei körperliche Anstrengung, 48h Trainingspause, praetest 30min komfortables Liegen in thermoneutraler Umgebung, praetest Meidung von Koffein und Nikotin
  - ✓ Messdauer ≥ 10min (bis 40min), Ziel: steady-state von V`E, RER, V`O_2, V`CO_2
- ✓ **Ruheumsatz (resting metabolic rate)** = „GU unter vereinfachten Laborbedingungen"
  - = Kompromiss hinsichtlich der Durchführbarkeit im Laboralltag
  - ✓ Praetestbedingungen: 3-4h nüchtern, davor nur „leichte Mahlzeit", keine vorausgehende körperliche Anstrengung, 30-60min Ruhephase vor Test
- **Die Vorlastphase in der Spiroergometrie erfüllt weder RU- noch GU-Kriterien!**
- ✓ **Steady-State Bedingungen** als Validitätskriterien: über ≥15min <15% Schwankung von V`E und <5% Schwankung von RER [bei Cortex voreingestellt: 5min bei ≤10% für V`O_2, ≤6% V`CO_2, ≤3% RER]
- **Normwertbezug** täglicher Energieverbrauch: Abschätzung der RDDE (resting daily energy expenditure) über **Harris-Benedict-Formel (1905):**
  - ✓ RDDE (kcal/24h) ♀ = 655 + (9,6 x KG [kg]) + (1,85 x Grösse [cm]) – (4,7 x Alter [J])
  - ✓ RDDE (kcal/24h) ♂ = 66,0 + (13,7 x KG [kg]) + (5,0 x Grösse [cm]) – (6,8 x Alter [J])

2015 McArdle WD, Katch FI, Katch VL, Exercise Physiology", 8th Ed., S. 192-199
2015 Powers SK, Hawley ET, Exercise Physiology – Theory and Application to Fitness and Performance, 9th. Ed., S. 423
2019 Pujia A et al., Lipid Oxidation Assessed by Indirect Calorimetry Predicts Metabolic Syndrome and Type 2 Diabetes, Front Endocrinol, Jan 2019 Vol 9, Article 806

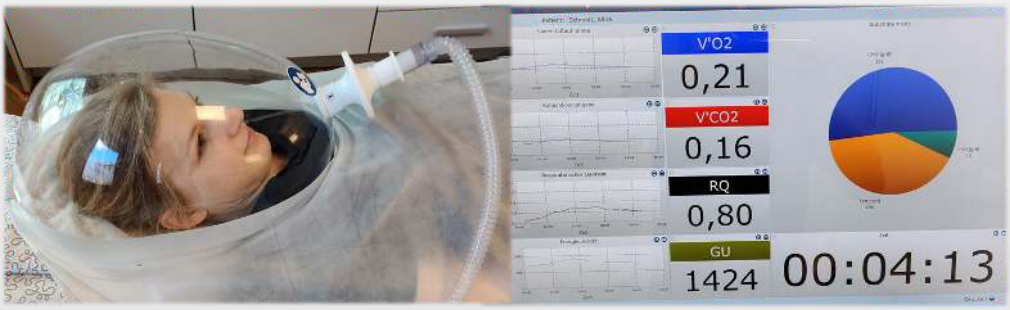
Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Grundumsatz: *wer braucht wieviel O_2? [♂, 65kg]*



Organ	O_2-Verbrauch [ml/min]	% Grundumsatz
Leber	67	27
Gehirn	47	19
Herz	17	7
Nieren	26	10
Skelettmuskulatur	45	18
Restbestand	48	19
Gesamt	**250**	**100**

2015 McArdle WD, Katch FI, Katch VL, Exercise Physiology, 8th Ed.,Table 9.3, S. 193

Metabolische Flexibilität: RER und ΔRER als Risikoparameter

- ➢ **↑RER nüchtern, ↓ΔRER [Varianz nüchtern/postprandial] = ↓metabolische Flexibilität → ↑Insulinresistenz, ↑Diabetesrisiko, ↑Übergewicht, ↑Alterung**
- ✓ Ein hoher RER unter Ruheumsatz-Bedingungen (= ↓postprandiale FettOX) gilt als Risikofaktor für eine Zunahme der Körperfettmasse binnen über 3-24 Monate sowie einer Wiederzunahme von Körpergewicht nach vorheriger Gewichtsreduktion
- ✓ Niedrige RER-Werte unter Ruheumsatz-Bedingungen gehen mit höherer Fettverbrennung und größerer Gewichtsreduktion (bei neg. Energiebilanz) unter Trainingsbelastung einher
- ✓ Ein niedriger RER unter GU/RU-Bedingungen gilt als „protektiver Faktor" gegen die Entwicklung von Übergewicht und Adipositas
- ➢ **Die 1Jahres-Inzidenz für DM Typ2 steigt ab RER >0,91 (GU-Bedingungen)**

2018 Rynders CA et al, Sedentary behaviour is a key determinant of metabolic inflexibility, J Physiol 2018 Apr 15; 596(8):1319-1330

2010 Ellis AC et al, Respiratory Quotient Predicts Fat Mass Gain in Premenopausal Women, Obesity (Silver Spring). 2010 December ; 18(12): 2255–2259

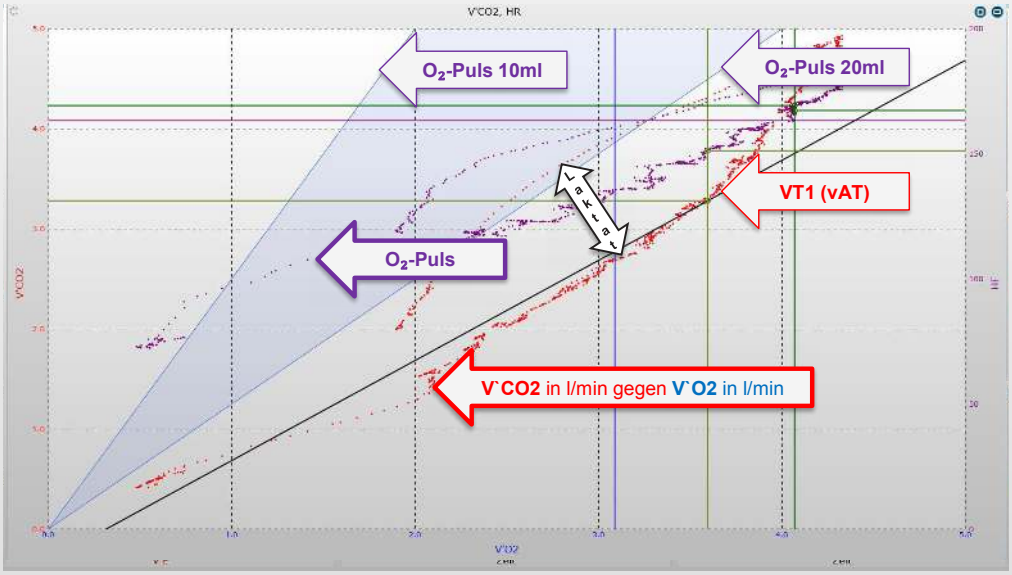
1990 Zurlo F et al, Low ratio of fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight-gain: study of 24-H RQ. Am J Physiol 1990;259:E650–7 **[Studie an 152 nichtdiabetischen Pima-Indianern]**

2004 Marra M et al., Fasting respiratory quotient as a predictor of long-term weight changes in non-obese women. Ann Nutr Metab 2004;48:189–92.

2016 Shook RP et al, High respiratory quotient is associated with increases in body weight and fat mass in young adults. Eur J Clin Nutr 2016;70:1197–202

2019 Pujia A et al, Lipid Oxidation Assessed by Indirect Calorimetry Predicts Metabolic Syndrome and Type 2 Diabetes, Front Endocrinol, Jan 2019 Vol 9, Article 806

Schritt 3 : Feld 5



- ✓ Darstellung **V`$CO_2$** (Y1-Achse, links) und **$O_2$-Puls** (Y2-Achse, rechts) in Datenpunkten („breath by breath"), da als X-Achse **V`O_2** und nicht die nicht Zeit aufgetragen ist
- ✓ Auftragen von **V`$CO_2$** (Y1-Achse links) gegen **V`O_2** (X-Achse) ermöglicht die Blickdiagnose einer Excess-CO_2-Entstehung aus der Laktatpufferung (VT1 = V-Slope > 1 d.h. Anstieg der Datenpunkte >45° bei gleicher Skalierung **V`$CO_2$** & **V`O_2**)
- ✓ Der Abstand zwischen Lastkurve **V`$CO_2$** und Nachlastkurve **V`CO_2** ist ein Maß für die Höhe der im Testverlauf eingegangenen Laktatazidose
- ✓ Eine 45°-Tangente (Slope = 1) mit Beginn im Nullpunkt entspricht RER= 1
- ✓ Zwei Isoplethen ermöglichen der **HF** (Y2-Achse, rechts) einen O_2-Puls zuzuordnen

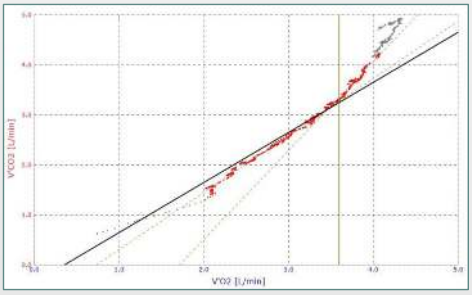
Feld 5: VT 1+2, O_2-Puls, HRR, Laktatbildung

- ***Welche Aussagen sind möglich?***
  - ✓ Verläufe und Maximalwerte von $V`O_2$, $V`CO_2$, HF, O_2-Puls
  - ✓ VT1 (ggf. auch Validierung von VT2); HF, $V`O_2$ und Last an VT1
  - ✓ Vorhandensein und Ausprägung einer eingegangenen Laktatazidose (Mitarbeit)
  - ✓ HRR (heart rate reserve), Verlauf HF und Verlauf O_2-puls
- ***Was ist dargestellt?***
  - ✓ O_2-Puls und $V`CO_2$ im Verlauf über $V`O_2$
- ***Welche Normwerte liegen zugrunde?***
  - ✓ $V`O_2$ wie in Feld 3: Formeln nach SHIP, Wasserman, Cooper, Hansen, Jones, Potthoff
- ***Was bedeuten die Isoplethen?***
  - ✓ Linke Isoplethe: O_2-Puls von 10ml O_2 / Herzschlag
  - ✓ Rechte Isoplethe: O_2-Puls von 20ml O_2 / Herzschlag
- ***Was muß befundet werden?***
  - ✓ **SLOPES:** „V-Slope“: $V`CO_2$ über V`O2 in Ruhe, unter Last (→ Slope) und nach Lastende; Höhe der Nachlastkurve $V`CO_2$ über V`O2 nach Lastende (→ Grad der eingegangen Laktatazidose = RER-anstieg nach Lastende)
  - ✓ HF, $V`O_2$ und Last an VT1; %-Bezug zu $V`O_2$ und V`O2predict
  - ✓ HRR (heart rate reserve) = HF in Ausbelastung – HF vor Lastbeginn
  - ✓ O_2-Puls in Relation zur Herzfrequenz in Ruhe, Verlauf und Ausbelastung
- ***Zusätzlich einblenden:***
  - ✓ 45°-Tangente zur Bestimmung der VT1 (vAT)
  - ✓ Ggf. Isoplethe für O_2-Puls von 5ml und 15ml
- ***Redundanz:***
  - ✓ HF, HRR + O_2-Puls in Feld 2, $V`O_2$ + $V`CO_2$ in Feld 3; $V`CO_2$ in Feld 4

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik
Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9
Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest
SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

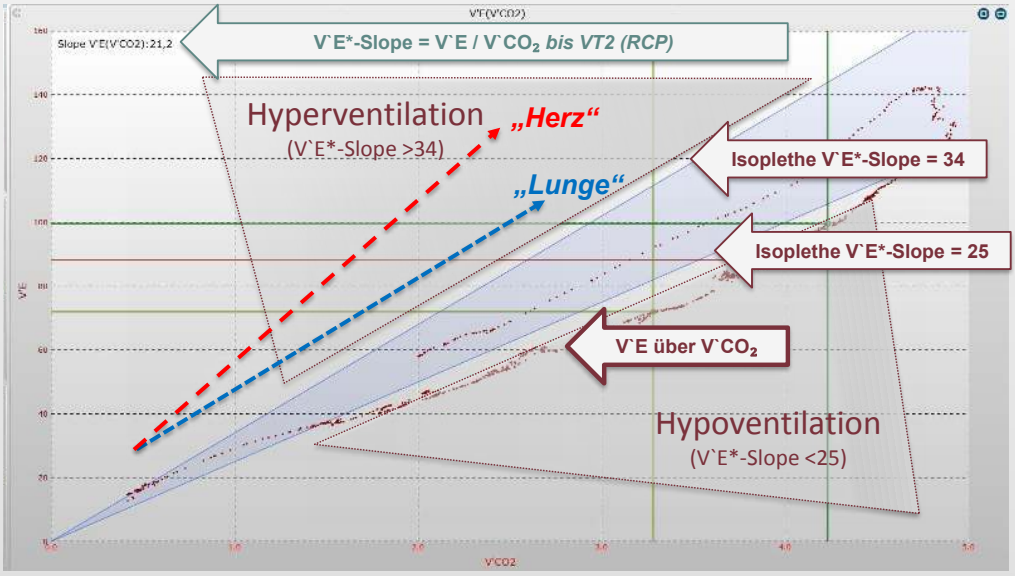
Definitionen von VT1

PoW, vAT, LT, LAT, AT, AAS (aerob-anaerobe Schwelle), ventilatory threshold



- ✓ „Erster messbarer Anstieg der Blutlaktatkonzentration; gleichzeitig erster Anstieg der nichtmetabolischen CO_2-Produktion“ *Röcker K in 2007 Dickhuth HH et al. „Sportmedizin für Ärzte“, S. 69*
- ✓ „Erster messbarer Anstieg der CO_2-Produktion aus der Bikarbonatpufferung [des ↑Laktats] „ *Röcker K in 2007 Dickhuth HH et al. „Sportmedizin für Ärzte“, S. 69*
- ✓ „Diejenige Größe von $V`O_2$ unter ↑Arbeit jenseits der die anaeroben energieliefernden Mechanismen zunehmen (Laktatbildung)“ *2006 Hollmann W et al. „Spiroergometrie“ (1st Ed.), Schattauer Verlag, S. 109*
- ✓ „Diejenige Größe von $V`O_2$ unter ↑Arbeit jenseits der eine [lokale] metabolische Azidose auftritt“ *2006 Hollmann W et al. „Spiroergometrie“, Schattauer Verlag, S. 109*
- ✓ „Diejenige Größe der Belastungsintensität unter ↑Arbeit jenseits der der Plasmabikarbonatgehalt abnimmt in umgekehrter Beziehung zur Lakatatzunahme“ *2006 Hollmann W et al. „Spiroergometrie“, (1st Ed.), Schattauer Verlag, S. 109*
- ✓ „The AT is defined as the level of exercise $V`O_2$ above which aerobic energy production is supplemented by anaerobic mechanisms reflected by an increase in lactate and lactate-to-pyruvate (L/P) ratio in muscle and arterial blood“ *2005 Wasserman K et al. „Principles of Exercise Testing and Interpretation“ 4th Ed., S. 86*

Schritt 5: Feld 4



- ✓ Darstellung von **V`E** in l/min (Y-Achse) als Datenpunkte, da auf der X-Achse **V`CO_2** in l/min und nicht die Zeit aufgetragen ist. Last- und Nachlastkurve sind zu unterscheiden
- ✓ Feld 4 zeigt das *„Verhältnis der **Regelgröße Atemminutenvolumen (V`E)** zu ihrem **Regler (V`CO_2)**“* und stellt bis zur VT2 eine lineare Funktion dar
- ✓ Das ansteigende Abknicken von **V`E** markiert die *„Entkopplung der regelgröße **V`E** von Regler **V`CO_2** zugunsten eines mächtigeren Reglers (systemische metabolische Azidose nach Erschöpfung der bluteigenen Puffersysteme) = VT2“*
- ✓ Den Anstieg von **V`E** über **V`CO_2** bis zur VT2 bezeichnet man als „V`E*-Slope“ (dimensionslos), synonym „V`E/V`CO_2-Slope“; die Angabe erfolgt links oben im Feld 4
  - ➢ *Werte >34 gelten bei herzinsuffizienten Patienten als prognostisch ungünstig*
- ✓ Zwei Isoplethen grenzen Hyper- (>34) und Hypoventilation (<25) ab

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs
9-Felder-Grafik
Feld 3 / 8 & Kalorimetrie
Feld 5 & VT1
Feld 6
Feld 4 & VT2
Feld 2
Feld 1
Feld 7
Feld 9
Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest
SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Feld 4: VT2, Hyper- oder Hypoventilation?

- ➢ ***Welche Aussagen sind möglich?***
  - ✓ V`E*-Slope (bis VT2), dimensionslos
  - ✓ Hyper- (V`E*-Slope >34 ) oder Hypoventilation (V`E*-Slope <25)
  - ✓ VT2 (=RCP)
- ➢ ***Was ist dargestellt?***
  - ✓ V`E (Atemminutenvolumen = Regelgröße) im Verhältnis zu V`CO_2 (Atemregler)
- ➢ ***Welche Normwerte liegen zugrunde?***
  - ✓ Ventilation: Kollektiver Sollwert V`Epredict; individueller Sollwert V`Emax (z.B.: 0,8xMVV; → *MVV zuvor über FEV1-Test bei Formel abgeschätzt*)
    - ➢ V`E*-Slope >34 = Hyperventilation
    - ➢ V`E*-Slope <25 = Hypoventilation
- ➢ ***Was bedeuten die Isoplethen?***
  - ✓ Linke obere Isoplethe: V`E*-Slope = 34
  - ✓ Rechte untere Isoplethe: V`E*-Slope = 25
- ➢ ***Was muß befundet werden?***
  - ✓ V`E*-Slope [= V`E(V`CO_2) Slope] bis zur VT2: Normo-, Hypo- oder Hyperventilation [aszendierend oder horizontal]?
  - ✓ VT2 (Last & HR an VT2): Entkopplung der Regelgröße V`E vom Regler V`CO2
- ➢ ***Zusätzlich einblenden: -***
- ➢ ***Redundanz:***
  - ✓ EQCO_2 in Feld 6, V`E in Feld 1+7, V`CO_2 in Feld 3+5

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

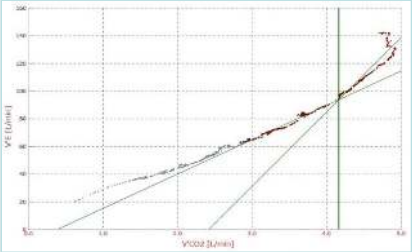
Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Definitionen von VT2 (RCP, VCP)

„CO_2 ist der Regler, die Ventilation (V`E) ist der Effektor“

2. Aufl. Kursbuch Spiroergometrie, S.138

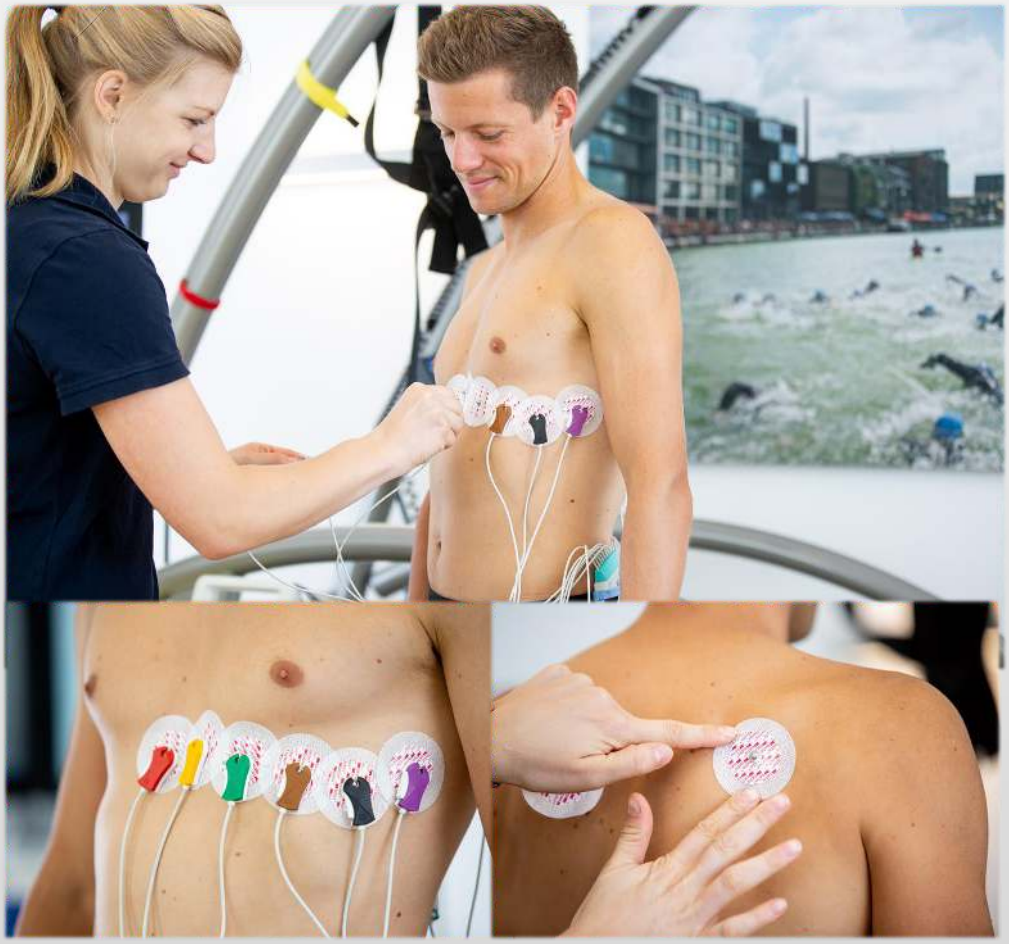


- **→ Entkopplung der Regelgröße (V`E) von Ihrem Regler ($PaCO_2 \approx PetCO_2$) zugunsten eines übergeordneten Reglers (↓pH-Wert durch ↑systemische metabolische Azidose nach Erschöpfung des Bikarbonatpuffers unter weiterer Laktatbildung)**
- ✓ Triggerung des Atemzentrums durch rapiden H^+-Ionen-Anstieg = pH-Abfall (systemische metabolische Laktatazidose) nach Erschöpfung der bluteigenen Puffersysteme (Bikarbonat, Phosphatpuffer, Eiweißpuffer); RER >1 *2004 Meyer T et al, Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point?, Br J Sports Med 2004;38:622–625*
- ✓ „Bei weiterer Steigerung der Belastungsintensität wirkt die im Blut akkumulierende Säure zusätzlich stimulierend auf den Atemantrieb ein. Oberhalb dieses Schwellenpunktes, den man respiratorischen Kompensationspunkt nennt („ventilatory compensation point“, VCP), wird der Atemantrieb überproportional gesteigert“ *2011 Dumitrescu D, Rosenkreuz S, „Atlas Spiroergometrie und pulmonale Hypertonie“, S. 16*
- ✓ „Beginn einer überproportionalen Hyperventilation durch die zunehmende systemische metabolische Azidose“ *Röcker K in 2007 Dickhuth HH et al. „Sportmedizin für Ärzte“, S. 69*
- ✓ „When ventilatory compensation for metabolic acidosis starts, the $V`O_2$ is well above AT, LT oder LAT. This $V`O_2$ is referred to as the ventilatory compensation point“ *2005 Wasserman K et al. „Principles of Exercise Testing and Interpretation“ 4th Ed., S. 89*

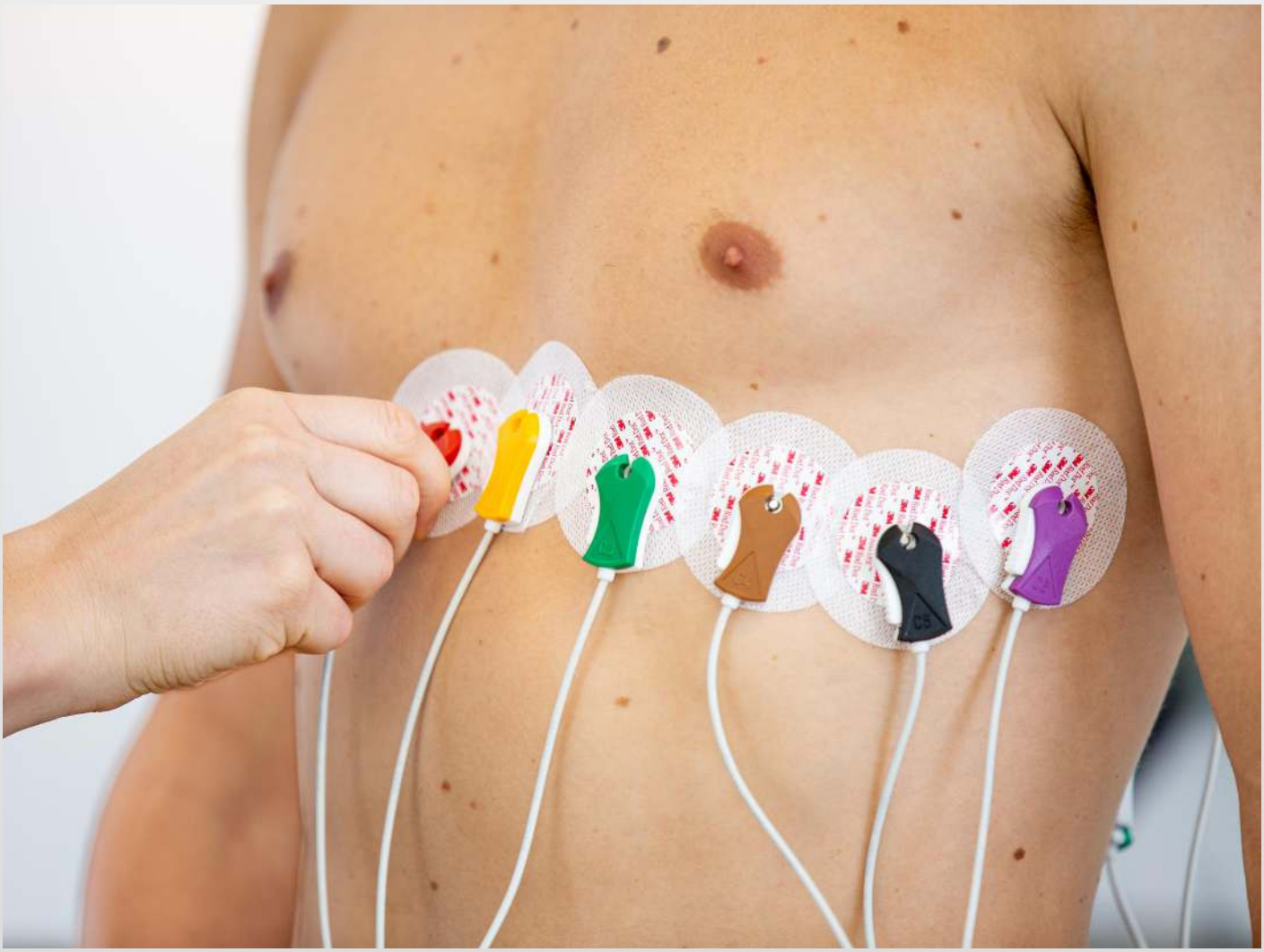
Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

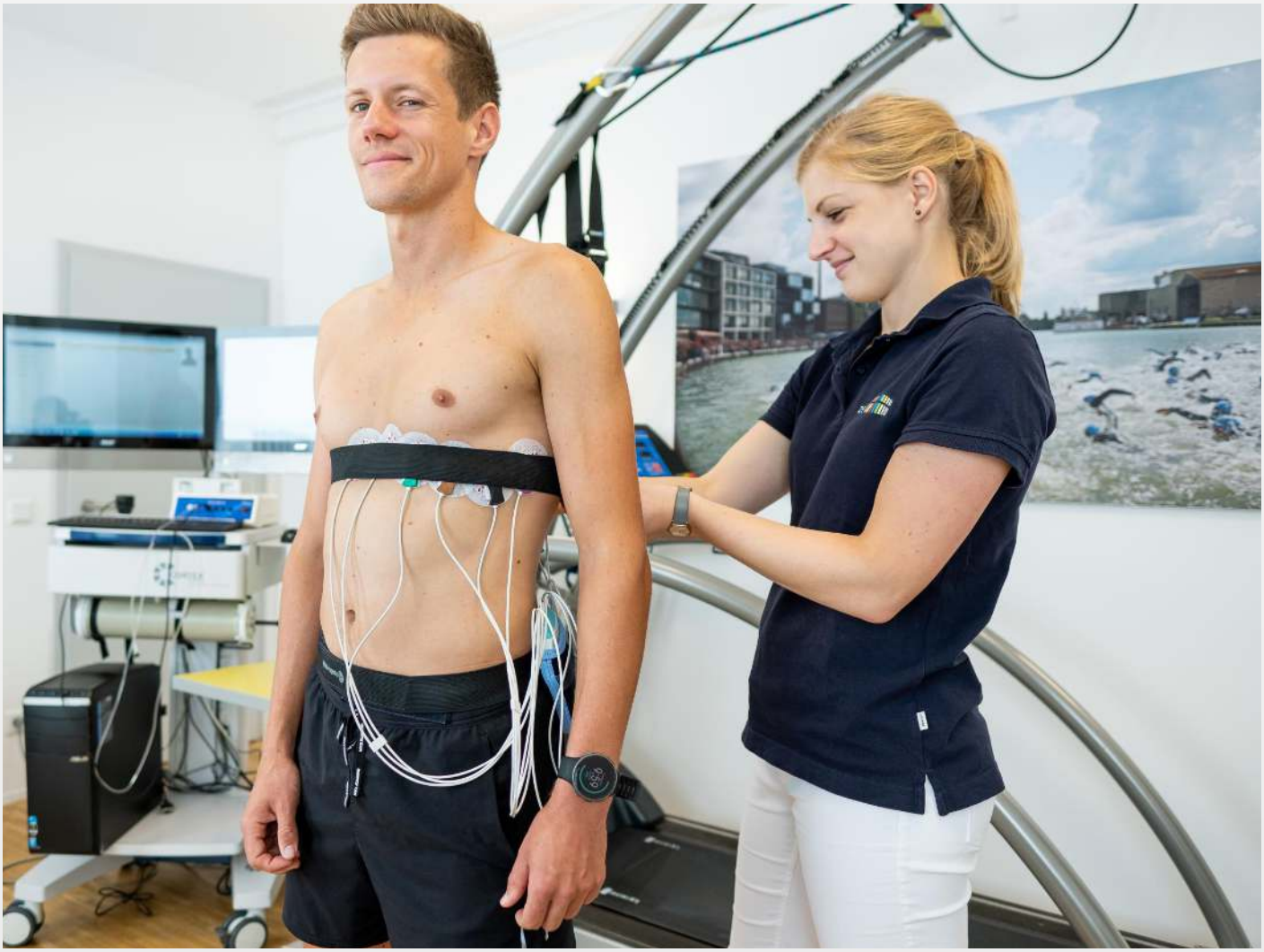
Exkurs IX – Belastungs-EKG & Ergometrie

Exkurs IX
Belastungs-EKG & Ergometrie



SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

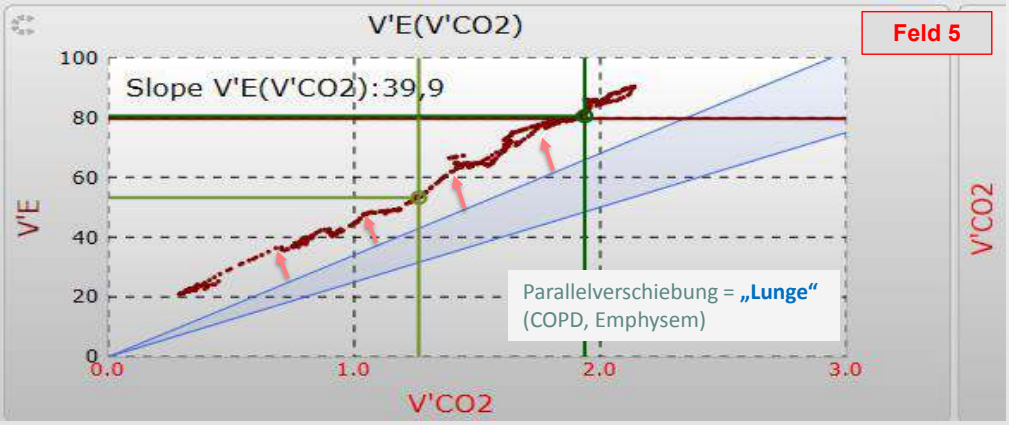




Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

DYSPNOEABKLÄRUNG (CHRONISCH = >1MONAT): HERZ ODER **LUNGE**?

→ *DIFFERENTIALDIAGNOSTISCHE HINWEISE FÜR PULMONALE LIMITATION*



Kriterien einer **pulmonalen** Limitation

Diagnostische Kriterien einer **pulmonalen Limitation** können sein:

- ✓ V`$O_2$(P) [ΔV`O_2/ ΔWR] >8ml/Watt; **↑V`E >9l/25Watt (→„Neuner-Regel“)**
- ✓ V`$O_2$ an VT1 <40% V`O_2max predict, **RERmax reduziert**
- ✓ O_2-Puls >80% des Sollwertes (Sollwert O_2-Puls = alters- und geschlechtsbasiert aus Sollwert für HRR und V`O_2max berechnet), auch erniedrigter O_2-Puls möglich
- ✓ Reduzierte / normale V`O_2max; OUES normal; **in Ruhe ↑EQO_2, unzureichende ↓EQO_2 unter Last**
- ✓ **V`E-Slope >34, Parallelverschiebung** bei Emphysem / COPD, ggf. aszendierender Anstieg
- ✓ **SpO_2 >4% Abfall** in Ausbelastung in Relation zum Ruhewert
- ✓ **Intrabreath-Kurven pathologisch, atemmechanische Limitierung in Feld 7**
- ✓ **Atemreserve <20% [<15l], $PetCO_2$ in Ruhe <33mmHg und/oder Anstieg >8mmHg unter Last**
- ✓ HRR2 (heart rate reserve) >15(12)/min (active recovery protocol)

2015 Kroidl R et al, Kursbuch Spiroergometrie, 3. Auflage, S. 72, Abb 2.35; S. 159, Tab 3.24

2016 Herdy AH et al., Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation, Arq Bras Cardiol. 2016; 107(5):467-481, S.474, Tab 1

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

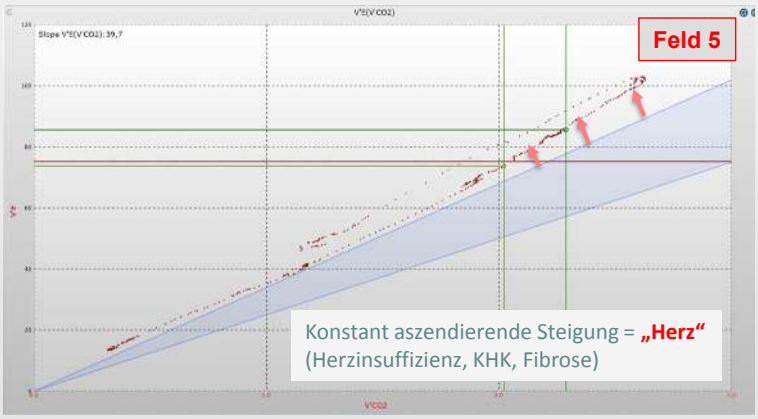
DYSPNOEABKLÄRUNG (CHRONISCH = >1MONAT): **HERZ** ODER LUNGE?

→ *DIFFERENTIALDIAGNOSTISCHE HINWEISE FÜR KARDIALE LIMITATION*

V`E-Slope als Prognosekriterium bei Herzinsuffizienz [CHF]

- ➢ Prognoseverschlechterung ab V`E-Slope >32,5 [>34]
  - Class I: ≤29,9
  - Class II: 30-35,9
  - Class III: 36-44,9
  - Class IV: >45
  - Transplantation bei >43

Chua et al.; Ritt et al.; Arena et al.; Ferreira et al. in: 2016 Herdy AH et al.



Kriterien einer **kardialen** Limitation

Diagnostische Kriterien einer **kardialen Limitation** können sein:

- ✓ **V`$O_2$(P) [ΔV`O_2/ ΔWR] ≤8ml/Watt,** V`E ≤9l/25Watt (→„Neuner-Regel“)
- ✓ **V`$O_2$ an VT1 <40% V`O_2max predict (→ *Weber Klassifikation*),** RERmax normal
- ✓ **Plateau des O_2-Puls <80% des Sollwertes oder Abfall des O_2-Pulses** (Sollwert O_2-Puls = alters- und geschlechtsbasiert aus Sollwert für HRR und V`O_2max berechnet)
- ✓ Reduzierte oder normale V`O_2max, **reduzierte OUES**
- ✓ **V`E-Slope >34, aszendierender Anstieg**
- ✓ SpO_2 normal; **mean response time [MRT] >60s**
- ✓ Intrabreath-Kurven nicht pathologisch, Feld 7 ohne Hinweis für atemmechanische Limitierung
- ✓ Atemreserve >20% [>15l], **periodische Atmungsformen (EOV, oszillierende Atmung)**
- ✓ **HRR2 (heart rate reserve) ≤ 15(12)/min (active recovery protocol)**

$$\frac{V`E/V`CO^2}{rel.V`O^2peak} => 2{,}7$$

2015 Kroidl R et al, Kursbuch Spiroergometrie, 3. Auflage, S. 72, Abb 2.35; S. 159, Tab 3.24

2016 Herdy AH et al, Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation, Arq Bras Cardiol. 2016; 107(5):467-481, S.474, Tab 1

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de
Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

Spiroergometrie in der Sportmedizin
Theoriekurs

9-Felder-Grafik

Feld 3 / 8 & Kalorimetrie

Feld 5 & VT1

Feld 6

Feld 4 & VT2

Feld 2

Feld 1

Feld 7

Feld 9

Herz oder Lunge?
Befundungshilfen, ReTest

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Dr. Schomaker & Dr. Greiwing

BLEIBEN SIE UP-TO-DATE – BESUCHEN SIE UNSERE ONLINE-TUTORIALS AUF YOUTUBE UND SPIROERGOMETRIE-KURS.DE

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Lernen Sie unsere weiteren Kursangebote kennen!
Besuchen Sie uns auf www.spiroergometrie-kurs.de und vertiefen Sie Ihr Wissen und die Kompetenz Ihres Assistenzpersonals mit unseren weiteren Kursangeboten:

"Anwenderkurs für medizinisches Assistenzpersonal"

Der Anwenderkurs für medizinisches Assistenzpersonal vermittelt medizinischen Fachangestellten an einem Tag das notwendige Rüstzeug, um Untersuchungen selbstständig durchführen und einen Messplatz kalibrieren und warten zu können. Nach kurzer theoretischer Einführung steht auch in diesem Kurs die praktische Ausbildung mittels „hands-on teaching" im Labor mit Live-Tests im Vordergrund.

Kursinformationen & Anmeldung unter
www.spiroergometrie-kurs.de

1 Tag | Fr. 9:00 - 16:30 Uhr

Spiroergometrie-Führerschein Praxis – „from lab to field":

Im Mittelpunkt steht die erfolgreiche Anwendung der Spiroergometrie in der sportmedizinischen Praxis. Tipps & Tricks aus der Messpraxis im Spiroergometrielabor und erfolgreiche Gründung eines leistungsdiagnostischen Instituts.
Der zweitägige Praxiskurs nimmt Sie mit ins Labor und vertieft die Inhalte des Theoriekurses durch zwei Praxistests an Triathleten („hands-on teaching") auf Rad- und Laufbandergometer sowie ausgewählten Sportlern und Krankheitsbildern. Vom Präventivpatienten über den Hobbyjogger bis zum IronMan-Triathleten: der Kurs vermittelt Ihnen hochaktuelles Wissen zur befundbezogenen Beratung und evidenzbasierten Trainings- und Ernährungsplanung im Praxisalltag. Auch die unternehmerischen Grundlagen zur erfolgreichen Gründung Ihres leistungsdiagnostischen oder präventivmedizinischen Instituts bzw. Praxisablegers werden vom Steuerrecht über Standesrecht und Präventionsgesetz bis zu Abrechnungsempfehlungen (GOÄ-Ziffernketten) und Behandlungsverträgen beleuchtet.
Der Kurs beginnt freitags um 10:00h und endet samstags um 19:00h (→ 19UE), zwischen den einzelnen Sessions besteht Zeit zum Austausch mit den Referenten und anderen Anwendern sowie für Ihre persönlichen Fragen.
Als Kursskript erhalten Sie auch hier ein exklusives vollfarbiges Buch mit allen Kursfolien und vielen Verweisen auf Primärliteratur, außerdem standardisierte Vorschläge für Behandlungsverträge mit GKV- und PKV-Patienten sowie Abrechnungswege (GOÄ-Ziffernketten).
Ebenso wie der Theoriekurs ist dieser Kurs je nach Bundesland des Kursortes 14-19 Punkten im Rahmen der Zertifizierung der Ärztlichen Fortbildung bewertet.

2 Tage | Fr. 10:00 - 18:00 Uhr + Sa. 9:00 - 17:00 Uhr

SPIROERGOMETRIE | KURS

Kursinformationen & Anmeldung
unter www.spiroergometrie-kurs.de

Dieses Begleitbuch ist urheberrechtlich geschützt, © ZfS-Verlag für Sport und Medizin, 2020
4. Auflage - vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, © 2020

Dr. Ralph Schomaker & Dr. Andreas Greiwing

Spiroergometrie Arbeitsgruppe

- *Tagungspräsidentschaft 2013 - Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Spiroergometrie*

- *Koautoren des „Kursbuches Spiroergometrie“ (3. Auflage, 2015) – Hrsg. Kroidl, Lehnigk et. al*

- *Lehrbeauftragte „Sportmedizin“ im europäischen Postgraduiertenstudiengang „Master of Preventive Medicine“ für Ärzte der Dresden International University*

DIU DRESDEN INTERNATIONAL UNIVERSITY
DIE WEITERBILDUNGSUNIVERSITÄT DER TU DRESDEN

SPIROERGOMETRIE | KURS
www.spiroergometrie-kurs.de

Ärztekammerzertifizierte Theorie- und Praxiskurse in Spiroergometrie bundesweit für Ärzte, Sportwissenschaftler und medizinische Fachangestellte