
EVALUIERUNG VON METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER VENTILATORISCHEN SCHWELLEN IN DER SPIROERGOMETRIE

Bachelorthesis

Julian-Marvin Lütten
Fachschule Lübeck, B.Sc. Biomedizintechnik

Angefertigt bei der
cardioscan GmbH

Inhalt

Einleitung

Methoden

1. Einleitung

Wissenschaftlicher Kontext

- Die cardioscan GmbH bietet Kunden Leistungsdiagnostik-Systeme zum Definieren von Trainingsbereichen
- Verfahren: nicht-invasive Spiroergometrie (aus lat. *spirare*: atmen, griech. *ergo*: Arbeit)
- 14,4 % Anstieg von Gesamtanzahl an Fitnessstudio-Mitgliedern zwischen 2014 und 2017 (44 % aller Betreiber im Sektor Gesundheits und Prävention)
- zukünftiges Setup: *cardioscan Checkpoint Software (CCPS)* + *metabolicscan* Spiroergometer + Fahrradergometer
- aktueller Auswertungsalgorithmus: $RQ = 1 \rightarrow$ anfällig für Fehler
- verbesserter Algorithmus für die CCPS notwendig

1. Einleitung

Physiologische Grundlagen: Atmung

- Trainingszonendefinition anhand zweier von Prof. Karlman Wasserman geprägter Schwellen
- „Schwellen“ basieren auf physiologischer Reaktion des Körpers auf erhöhte Belastung
- Ausgangspunkt: Atmung bzw. Gastransfer
- $RQ = \frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2}$ als zentraler Parameter der Atemfunktion
- RQ ist abhängig von Energiegewinnung und Stoffwechsellaage
Fettstoffwechsel in Ruhe: $RQ = 0,7$
Kohlenhydratstoffwechsel bei Aktivität: $RQ \geq 1$
- RQ ist jedoch auch akut abhängig von Ernährung → problematisch

1. Einleitung

Physiologische Grundlagen: Energiebereitstellung

- Bewegung des Körpers wird durch mechanische Kontraktionen der Skelettmuskulatur bedingt
- aufgeteilt in primäre und sekundäre Energiegewinnung
- Primär: hydrolytische ATP-Spaltung als Energiequelle
- ATP-Muskelanteil reicht für ca. 1-2 s körperliche Arbeit
- ATP-Resynthese durch CrP: CrP-Muskelanteil reicht für ca. 5-6 s
- CrP-Konzentration für andauernde Belastung zu niedrig
- Sekundär: aerobe und anaerob-laktazide Glykolyse
- Glukose wird enzymatisch zu Pyruvat verarbeitet
- genug O_2 : direkte ATP-Resynthese durch Citratzyklus
- zunehmende Belastung $\rightarrow O_2$ wird verbraucht: Reduktion des Pyruvats zu Milchsäure (HLA)

1. Einleitung

Physiologische Grundlagen: Laktatproduktion

- $Glukose \rightarrow 2HLa \rightarrow 2H^+ + 2La^-$
- steigende Belastung \rightarrow andauernde La^- - und H^+ -Produktion \rightarrow metabolische Azidose
- Kompensation der Azidose: Bicarbonat-Puffersystem
- Bicarbonat (HCO_3^-) bindet H^+ zu instabiler Kohlensäure, die direkt zu CO_2 und H_2O zerfällt
- anfallendes CO_2 muss über die Lunge eliminiert werden \rightarrow messbarer Anstieg von expiriertem CO_2
- Grundlage für ventilatorisches Schwellenkonzept

1. Einleitung

Spiroergometrie: Ventilatorische Schwellen

- „Schwellen“ = physiologisch bedingte Übergangsbereiche
- Ur-Begriff: Aerobe und anaerobe Schwelle (nach K. Wasserman, 1973)
- Heute: einheitliche Nomenklatur: 1. und 2. Ventilatorische Schwelle
- angegeben entweder in Form der Leistung (W) in W oder Herzfrequenz (HF) in s
- Pathophysiologische Indikatoren:

VT1

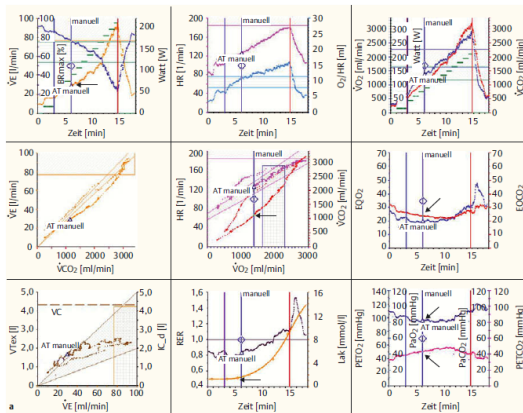
- Steigerung der Ventilation (\dot{V}_E)
- Zunahme der \dot{V}_{CO_2} gegenüber der \dot{V}_{O_2}

VT2

- Laktatexzess
- Metabolische Azidose
- überproportionale Ventilationszunahme

1. Einleitung

Spiroergometrie: 9-Felder-Grafik



Beispiel einer 9-Felder-Grafik nach einer Spiroergometrie mit einer jungen sportlichen Frau

1. Einleitung

Spiroergometrie: 9-Felder-Grafik

- grafisches Instrument der Spiroergometrie zum Vergleich vieler unterschiedlicher Messwerte
- Nummerierung von oben links nach unten rechts von eins bis neun
- kann je nach diagnostischem Schwerpunkt sehr komplex werden
- in der Sportmedizin sind nur bestimmte Felder relevant: Fokus auf Feld 4, 5, 6 und 9 (Scharhag-Rosenberger, 2013)
- Grafik muss auf Darstellung der ventilatorischen Schwellen reduziert werden
- mehrere existente Methoden zur Schwellenbestimmung

1. Einleitung

Spiroergometrie: Methoden zur Schwellenbestimmung

- wissenschaftlich renommierteste Methoden wurden von AG Spiroergometrie zusammengefasst (Westhoff et al., 2012)
- zwei Methoden für jede Schwelle werden in dieser Arbeit untersucht

VT1

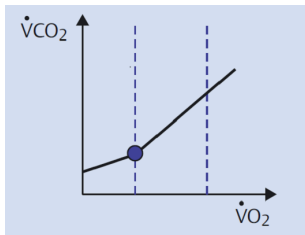
1. V-Slope: erster überproportionaler Anstieg der $\dot{V}CO_2$ gegenüber der $\dot{V}O_2$
2. alleiniger Anstieg des Sauerstoff-Äquivalents EQO_2

VT2

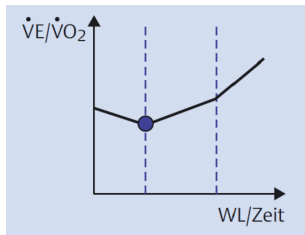
1. überproportionaler Anstieg der $\dot{V}E$ gegenüber der $\dot{V}CO_2$
2. Anstieg des Kohlenstoffdioxid-Äquivalents $EQCO_2$

1. Einleitung

Spiroergometrie: Bestimmung der VT1



Schematische Darstellung der V-Slope-Methode



Schematische Darstellung des EQO₂

1. Einleitung

Spiroergometrie: Bestimmung der VT1

V-Slope

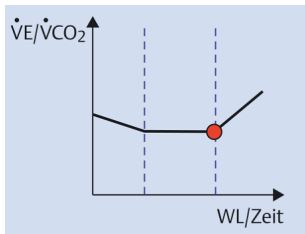
- grafischer Vergleich der $\dot{V}CO_2$ und $\dot{V}O_2$
- Identifizierung charakteristischer Knickpunkte in der Steigung (engl: *slope*)

EQO₂

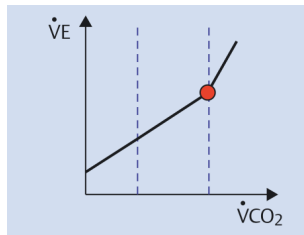
- grafischer Vergleich des Verhältnisses aus $\dot{V}E$ und $\dot{V}O_2$ zur Zeit in min oder Leistung in W
- Tiefpunkt der EQO₂-Kurve = POW (Hollmann, 1958) = VT1

1. Einleitung

Spiroergometrie: Bestimmung der VT2



Schematische Darstellung des EQCO₂



Schematische Darstellung von $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$

1. Einleitung

Spiroergometrie: Bestimmung der VT2

EQCO₂

- grafischer Vergleich des Verhältnisses aus $\dot{V}E$ und $\dot{V}CO_2$ zur Zeit in min oder Leistung in W
- charakteristische „Badewannenform“
- Anstieg der Kurve = VT2

$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$

- grafischer Vergleich der $\dot{V}E$ und $\dot{V}CO_2$, Analogie zum V-Slope
- überproportionale Steigungszunahme = VT2

1. Einleitung

Fazit zur Problemstellung

- $RQ = 1$ ist als Methode in Studien umstritten
- $RQ = 1$ ist beeinflussbar (z.B. durch Ernährung)
- $RQ = 1$ wird unzureichend bei muskulärer Erschöpfung
- CCPS muss mit einem neuen und besseren Algorithmus optimiert werden
- vier alternative Methoden zur Bestimmung der VT1 und VT2 sind zu untersuchen

1. Einleitung

Ziele der Arbeit

Forschungsfragen

1. Eignet sich der metabolic scan zur Durchführung der Spiroergometrie?
2. Mit welcher Methode können die Schwellen optimal bestimmt werden?
3. Ist eine genauere Bestimmung der VT2 mit den neuen Methoden möglich?

2. Methoden

Testprojekt

- spiroergometrische Testmessungen mit 28 internen und externen Probanden
- Personen zwischen 18 und 60 Jahren
- Sportler und Nicht-Sportler
- Raucher sowie Nichtraucher
- Messwerterfassung zur grafischen Auswertung mittels ausgewählter Methoden zur Schwellenbestimmung

2. Methoden

Material & Testaufbau

- Laptop mit CCPS + angebundenes Ergometer der Firma *Emotion Fitness*
- zur vorangehenden Abklärung der kardialen Gesundheit: *cardioscan cs-3 effect* für Ruhe-EKG
- kalibriertes Modell des *metabolicscan*
- für jeden Probanden ein unbenutzter antibakterieller Polypropylen-Filter + flexibles Elastomer-Mundstück

2. Methoden

Funktionsweise des metabolicscan

- Modularer Aufbau: Atemmodul + Analysemodul
- Atemmodul enthält einen Flowsensor
- Messung der Strömungsgeschwindigkeit der Inspirations- und Expirationsluft
- Berechnung des Strömungsvolumens durch mathematische Integration über die Zeit
- Analysemodul enthält CO₂/O₂-Sensormodul
- Pumpe saugt Luftanteil durch Probenschlauch zur Analyseeinheit
- CO₂-Messung durch Infrarotlichtabsorption
- Weiterleitung zum galvanischen O₂-Sensor

2. Methoden

Aufbau des metabolicscan



metabolicscan: Analyseeinheit (rechts), Atemmodul (oben links), Filter (unten links) und Mundstück (blau)

2. Methoden

Messbedingungen

- alle Messungen im selben Raum
- Raumtemperatur zwischen 18 °C und 22 °C
- vor jeder Messung Belüftung des Raumes zur Minimierung des CO₂-Anteils der Luft
- Ausschlusskriterien: akute fiebrige Infekte, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, chronische Atemwegserkrankungen und Schwangerschaft
- keine anstrengenden Sporteinheiten am Vortag
- zwei Stunden vor der Messung keine Mahlzeiten/kein Koffein mehr
- gleichbleibende Trittfrequenz während der Messung

2. Methoden

Vorbereitung einer Messung

- Risikoabklärung + Anamnesebericht
- Ermittlung von Körpergewicht und Körpergröße
- Abklärung des Trainings- und Gesundheitszustandes
- zweiminütiger Herz-Stress-Test mit cardioscan
- Anlegen des Pulsgurtes zur HF-Überwachung während der Messung
- Justierung des Ergometer-Sattels
- Berechnung der maximalen Soll-Leistung in W mittels zweier Formeln (Jones und SHIP)
- Bestimmung des individuellen Belastungsprotokolls nach WHO- oder BAL-Schema (abhängig vom Trainingszustand)

2. Methoden

Abbruchkriterien

- fallende HF trotz zunehmender Belastung
- allgemeine Herzbeschwerden, Engegefühl in der Brust
- Atemnot
- auffällige Blässe
- akute Kopfschmerzen
- Schwindel oder Sehstörungen
- starke subjektive Erschöpfung
- Beinschwäche oder Muskelkrämpfe
- andauernder Abfall der Trittfrequenz