
EVALUIERUNG VON METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER VENTILATORISCHEN SCHWELLEN IN DER SPIROERGOMETRIE

Kolloquium zur Bachelorthesis

Julian-Marvin Lütten

Fachschule Lübeck, B.Sc. Biomedizintechnik

angefertigt bei der
cardioscan GmbH
2018

Inhalt

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

Diskussion

Literatur

1. Relevanz des Themas

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

Diskussion

Literatur

1. Relevanz des Themas

- Anstieg der Mitgliederzahl in deutschen Fitnessstudios zwischen 2014 und 2017 um 14,4 %
- größter Sektor: Gesundheit & Prävention (DSSV, 2018) = Hauptabnehmer der cardioscan GmbH
- cardioscan bietet u.a. Spiroergometrie an (bisher mit Dritthersteller-Geräten und eigener *cardioscan Checkpoint Software (CCPS)*)
- Zweck: Definition von individuellen Trainingsbereichen
- neues Spiroergometer *metabolicscan* soll künftige Hardware darstellen
- Stand der Forschung: Detektion von Stoffwechselübergängen durch Bestimmung der ventilatorischen Schwellen (Westhoff u. a., 2012)
- veralteter CCPS-Spiroergometrie-Algorithmus: $VT2 \doteq RQ = 1$
→ akut beeinflussbar → anfällig für Fehler und wissenschaftlich umstritten
- Vielzahl an möglichen Alternativen → Welche ist am besten geeignet?

2. Ventilatorisches Schwellenkonzept

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

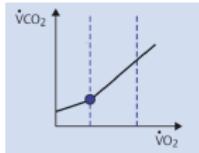
Resultate

Diskussion

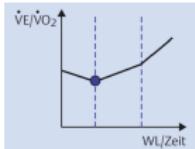
Literatur

2. Ventilatorisches Schwellenkonzept

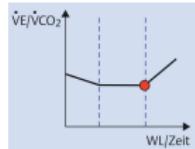
- „Spiroergometrie“: lat. *spirare*: atmen, griech. *ergo*: Arbeit und *metrein*: messen
- zunehmende körperliche Arbeit → erhöhter Energiebedarf → metabolische Reaktion: Stoffwechselumstellungen: aerob → aerob-anaerob → anaerob
- erhöhte Glykolyse-Rate → Laktatproduktion → metabolische Azidose → anfallendes CO_2 → messbare Zunahme der $\dot{\text{VCO}}_2$ und $\dot{\text{VE}}$
- Prinzip: Messung der Atemgase in festen Abständen → grafische Darstellung der Parameter
- von AG Spiroergometrie werden einige Methoden empfohlen (Westhoff u. a., 2012)
- Bestimmung der ventilatorischen Schwellen mit jeweils zwei ausgewählten Methoden (VT1: V-Slope, EQO_2 ; VT2: EQCO_2 , $\dot{\text{VE}}/\dot{\text{VCO}}_2$)



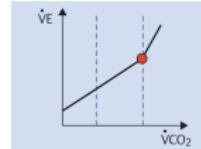
a) V-Slope



b) EQO_2



c) EQCO_2



d) $\dot{\text{VE}}/\dot{\text{VCO}}_2$

3. Herausforderungen und Aufgabenstellung

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

Diskussion

Literatur

3. Herausforderungen und Aufgabenstellung

Unternehmensziele

- optimale Methode zur Schwellenbestimmung für optimierten Algorithmus erarbeiten
- neue Basis für eine zuverlässigere Definition der Trainingsbereiche erstellen

Forschungsfragen

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

4. Methode

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

Diskussion

Literatur

4. Methode

Versuchsreihe

- spiroergometrische Testmessungen mit 28 internen und externen Probanden unter gleichen Bedingungen (räumliche Gegebenheiten, Ernährungszustand etc.)
- Varianz der Probanden: m/w, 19 bis 58 Jahre, Sportler und Nicht-Sportler, Raucher und Nichtraucher
- Anamnesegespräch + Ruhe-EKG + Bestimmung der ungefähren Soll-Belastung und des individuellen Belastungsprotokolls
- Leerlastphase → Ruhestoffwechselmessung → Belastungsphase
- Speichern der Rohdaten in CSV-Dateien
- Weiterverarbeitung + Auswertung durch ein MATLAB-Programm
- Schwellenbestimmung: manuell durch zwei Rater + algorithmisch
- statistische und methodenkritische Analyse der Ergebnisse
- Vergleich mit Referenzstudie HUNT 3 (Loe; Steinshamn; Wisløff, 2014)

4. Methode

Funktionsweise des metabolicscan

- Modularer Aufbau: Atemmodul mit Flowsensor + Analysemodul mit CO₂/O₂-Sensormodul
- Atemmodul: Messung der Strömungsgeschwindigkeit der Inspirations- und Exspirationsluft
- Berechnung des Strömungsvolumens durch mathematische Integration über die Zeit
- Pumpe saugt Luftanteil durch Probenschlauch zum Analysemodul
- Analysemodul: CO₂-Messung durch Infrarotlichtabsorption
- Weiterleitung zum galvanischen O₂-Sensor → O₂-Konzentration ist proportional zu fließendem Strom



metabolicscan: Analysemodul, Atemmodul, Filter und Mundstück

5. Resultate

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

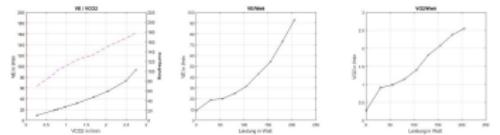
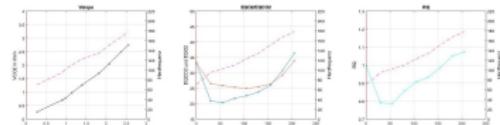
Diskussion

Literatur

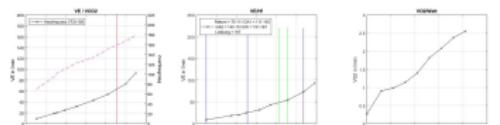
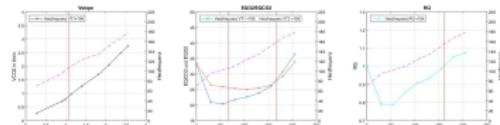
5. Resultate

„6-Felder-Grafiken“

- Keine Störungen oder Fehler während der Messungen
- „6-Felder-Grafiken“ für jeden Probanden generiert: eine für manuelle Bestimmung, eine mit algorithmischen Schwellenbestimmungen
- teilweise nicht-differenzierbare Plots; vorwiegend bei den VT1-Methoden
- Differenzen zwischen den einzelnen Ergebnissen der Rater und Software → statistische Auswertung



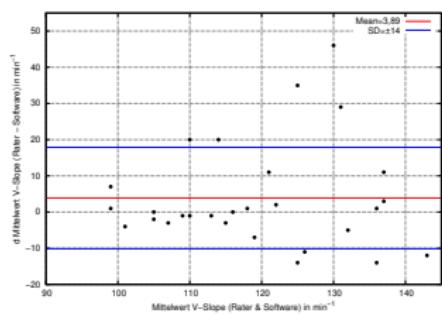
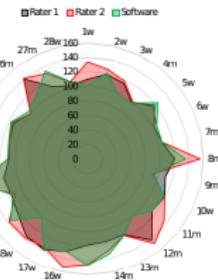
Manuell



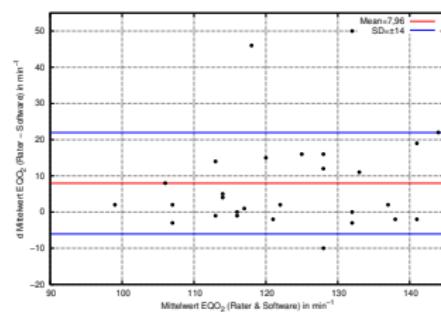
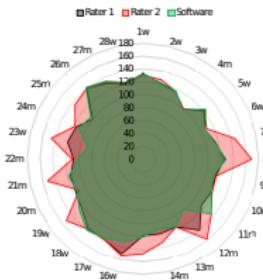
Algorithmisch

5. Resultate

VT1-Ergebnisse



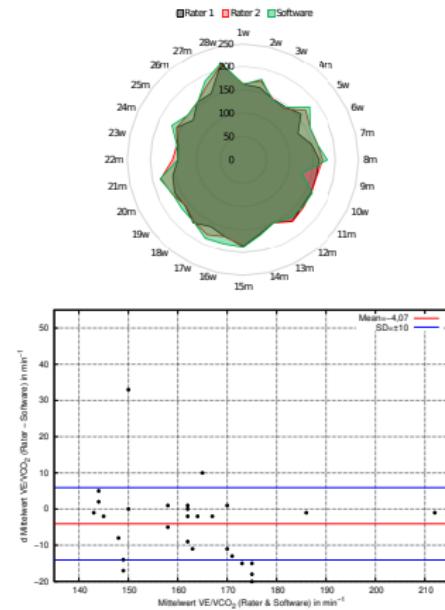
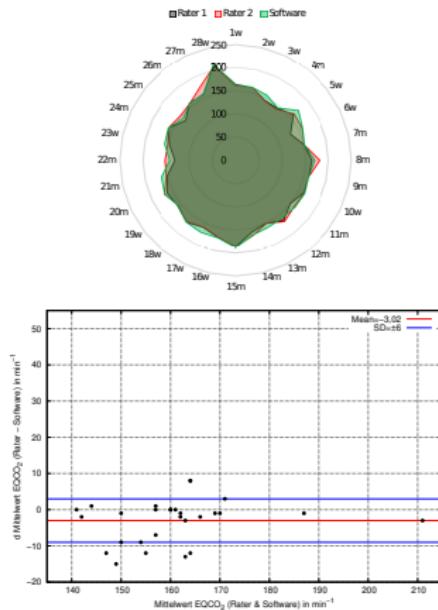
V-Slope



EQO_2

5. Resultate

VT2-Ergebnisse



6. Diskussion

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

Diskussion

Literatur

6. Diskussion

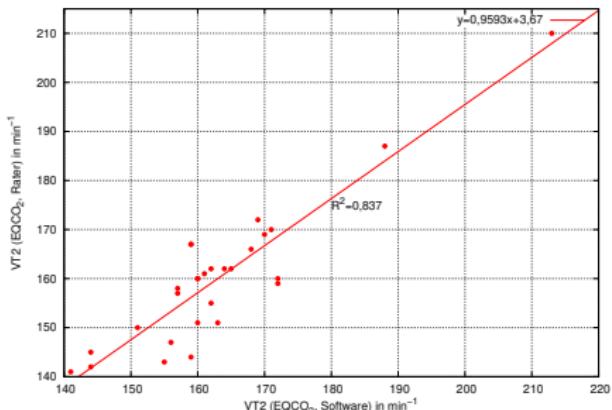
Evaluation der Tests

- kritische Plots bzw. Schwankungen in den ersten Stufen → VT1-Bestimmung erschwert (siehe Differenzen der Ergebnisse)
- Analyse der Felder 5 und 6: Plausibilitätsprüfung des Verlaufs der $\dot{V}E$ bzw. der $\dot{V}CO_2$ zur W
→ Annahme: idealerweise lineare Zunahme (Röhle u. a., 2012)
- Erkenntnis: Schwankungen zurückzuführen auf Fehler im Algorithmus bei Berechnung der Atemfrequenz
- neue Messungen bzw. eine erneute Auswertung könnte veränderte Ergebnisse liefern
- für alle Testmessungen konnten charakteristische Graphen generiert werden
- alle erhobenen Messwerte lagen innerhalb der Genauigkeitsgrenzen der Sensoren

→ Hypothese: Der metabolicscan kann für die Spiroergometrie genutzt werden.

6. Diskussion

Evaluation der Methoden



Regressionsanalyse der EQCO₂-Ergebnisse

EQCO₂ ist die Methode mit den geringsten Abweichungen → optimale Methode

Korrelationskoeffizient $r = 0,912$

VE/VCO₂ als geeignete Referenzmethode mit $r = 0,816$

6. Diskussion

Evaluation der Methoden

- V-Slope-Plots häufig nicht differenzierbar → fehlerhafter Algorithmus zur Bestimmung der Atemfrequenz (AF) → viele Differenzen: $r = 0,526$
- Schwankungen der EQO_2 -Kurve bzw. kein eindeutiger Tiefpunkt → häufiger große Differenzen zwischen den Ergebnissen: $r = 0,464$
- mit einem Modell nach W. Kindermann ist die Trainingszonendefinition nur von VT2 abhängig (Kindermann, 2004) → VT1 zum Erreichen des Ziels nicht zwingend erforderlich
- 9 von 28 Tests mit RQ=1-Methode nicht auswertbar; bei auswertbaren Plots: häufig hohe Differenzen zu anderen Methoden
- Vergleich mit HUNT 3: 15 von 28 Ergebnissen befinden sich innerhalb des altersspezifischen Durchschnitts (trotz unterschiedlicher Belastungsprotokolle)

6. Diskussion

Fazit & Handlungsempfehlung

- mit EQCO₂ wurde eine genauere Methode zur VT2-Bestimmung erarbeitet
- mit dieser Methode können realistische Trainingszonen nach dem Modell von Kindermann definiert werden
- der Software-Algorithmus zur grafischen Verarbeitung sollte noch weiter optimiert werden
- Mittelung der Messwerte über die Gesamtanzahl der Atemzüge pro Stufe wegen des Algorithmusfehlers problematisch → evtl. Alternative: gleitende Mittelung
- Alternativen zum Mundstück könnten Atmung des Probanden optimieren/erleichtern → evtl. Reduktion von Messfehlern
- einige Einflussfaktoren sind bei der Durchführung zu beachten: probandenbedingt, anwenderbedingt, umweltbedingt
→ Produkt- und Konzept-Schulungen durch cardioscan Academy sind wichtig
- EQCO₂-Algorithmus wird in die CCPS implementiert

6. Diskussion

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

7. Literatur

Relevanz des Themas

Ventilatorisches Schwellenkonzept

Herausforderungen und Aufgabenstellung

Methode

Resultate

Diskussion

Literatur

8. Literatur

-  DSSV, e.V., 2018. *2018 - Eckdaten der deutschen Fitness-Wirtschaft.*
-  KINDERMANN, W., 2004. Anaerobe Schwelle. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. Jg. 55, Nr. 6, S. 161–162.
-  LOE, H.; STEINSHAMN, S.; WISLØFF, U., 2014. Cardio-Respiratory Reference Data in 4631 Healthy Men and Women 20-90 Years: The HUNT 3 Fitness Study. *PLoS One*. Jg. 9, Nr. 11.
-  RÜHLE, K. H. u. a., 2012. *Plausibilitätsprüfungen in der Spiroergometrie*. Auch verfügbar unter: <http://www.ag-spiroergometrie.de/uploads/media/Plausibilit%C3%A4tCPXKorrekturen.pdf>. zuletzt abgerufen am 25.05.2018.
-  WESTHOFF, M. u. a., 2012. *Positionspapier der AG-Spiroergometrie zu ventilatorischen und Laktatswellen*. Auch verfügbar unter: https://www.mesics.de/fileadmin/user/literature/Spiroergometrie/AG-Spiroergometrie_Positionspapier-Schwellen.pdf. zuletzt abgerufen am 25.04.2018.