
Die Validierung der Nachatmungsmethode im breath-by-breath-Modus

Marc Ziegler, Ole Guderjahn, Rüdiger Reer
& Klaus-Michael Braumann (Projektleiter)

Universität Hamburg, Arbeitsbereich Sport- und Bewegungsmedizin
FB Bewegungswissenschaft in der Fakultät für Erziehungswissenschaft,
Psychologie und Bewegungswissenschaft

1 Problem

Die Sauerstoffaufnahme [VO₂] ist in der Leistungsphysiologie seit vielen Jahren ein wichtiger Parameter zur Einschätzung sowohl der individuellen Ausdauerleistungsfähigkeit als auch der Bewegungsökonomie v. a. in koordinativ anspruchsvollen Sportarten [z. B. Schwimmen] (vgl. Bassett & Howley, 1997; Carre et al., 1994; Pendergast et al., 1977; Toussaint & Hollander, 1994).

Zur Messung der Sauerstoffaufnahmefähigkeit finden prinzipiell zwei Methoden Anwendung:

1. Die Online-Methode, wie bei der Fahrrad- oder Laufbandergometrie.
2. Die Nachatmungsmethode

Bei der Nachatmungsmethode lässt sich aus der Kinetik des Abfalls der O₂-Aufnahme in der Nachbelastungsphase der Wert der Sauerstoffaufnahme bei Belastungsabbruch extrapolieren. Diese Extrapolation geschieht mit Hilfe der Gleichung $y = ae^{-bx}$. Diese Nachatmungsmethode gilt als genauso valide wie die Online-Messung (vgl. Carre et al., 1994; Costill et al., 1985; Lavoie et al., 1983; Leger, Seliger & Brassard, 1980; Montpetit et al., 1981).

Führt man die Nachatmungsmethode mit Spirometrie geräten der neueren Generation [breath-by-breath-Modus] und einer sehr kurzen Latenzzeit [< 3 sec] durch, so kann man mit Hilfe der Nachatmungsmethode einen teilweise biphasischen Verlauf der O₂-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase [unmittelbar nach Belastungsabbruch] darstellen (vgl. Di Prampero, Peeters & Margaria, 1973). Da die Beschreibung einer biphasischen Kinetik durch eine monoexponentielle Funktion problematisch ist, stand die Beantwortung nachfolgender Fragestellungen im Mittelpunkt der Studie:

1. Lässt sich bei der breath-by-breath-Erfassung der respiratorischen Parameter im Online- bzw. Nachatmungsmodus ein systematischer Unterschied dieser Methoden

darstellen, der auf ein unterschiedliches Ansprechverhalten des Spirometrieerätes in den jeweiligen Modi hinweisen würde?

2. Inwiefern stimmen bei einer breath-by-breath-Spirometrie ab der neunten Sekunde der Nachbelastungsphase die mit Hilfe der Extrapolation anhand der Gleichung $y = ae^{-bx}$ erhobenen VO_2 -Werte mit den tatsächlichen VO_2 -Werten der vergleichbaren Online-Messung [Mittelwert der letzten 30 sec einer Belastungsstufe] überein?
3. Lassen sich in Bezug auf die Zielgenauigkeit der breath-by-breath-Nachatmungsmethode Unterschiede zwischen Sportlern unterschiedlicher Ausdauerleistungsfähigkeit finden?

2 Methode

Folgende männliche Probandengruppen führten in randomisierter Reihenfolge je einen Stufentest auf einem Laufbandergometer [Laufbandsteigung 2 %, Beginn nach 5 min. Eingehen mit 8 km/h, Steigerung der Laufgeschwindigkeit um jeweils 2 km/h alle 3 min. mit 60 sec Pause zur Blutentnahme) im breath-by-breath-Onlinemodus und breath-by-breath-Nachatmungsmodus durch:

Gruppe A [VO_2 peak: < 50ml O₂/min/kg]:

n = 21 [Alter: 27,7 Jahre (\pm 3,8); Größe: 182 cm (\pm 6,3);

KG: 78,3 kg (\pm 8,8); BMI: 23,6 kg/m² (\pm 1,8); Körperfett: 17,7 % (\pm 4,2)]

Gruppe B [VO_2 peak: 50-60ml O₂/min/kg]:

n = 34 [Alter: 27,4 Jahre (\pm 3,6); Größe: 183,5 cm (\pm 5,9);

KG: 75,4 kg (\pm 6,1); BMI: 22,4 kg/m² (\pm 1,75); Körperfett: 13,2 % (\pm 2,8)]

Gruppe C [VO_2 peak: > 60ml O₂/min/kg]:

n = 12 [Alter: 27,3 Jahre (\pm 5); Größe: 181,7 cm (\pm 4,2);

KG: 73 kg (\pm 5); BMI: 22,1 kg/m² (\pm 1,3); Körperfett: 11,7 % (\pm 3)]

Zwischen zwei Testterminen lag ein Zeitraum von sieben Tagen (\pm 2). Die Aufzeichnungsdauer des Sauerstoffverbrauchs in der Nachbelastungsphase betrug jeweils 60 sec nach Belastungsabbruch. Folgende Parameter wurden zu Beginn der Tests zum Ausschluss eines unterschiedlichen Regenerationszustands erhoben: Ruhe-RQ, Ruhe-CK, Ruhe-HF und Ruhe-Laktat.

Zielparameter waren: VO_2 im Online- und Nachatmungsmodus [wobei in der Nachbelastungsphase die Intervalle auf 3 sec geglättet wurden, um den paarweisen Vergleich der jeweiligen Intervalle zu ermöglichen], Laktat und HF, sowie das subjektive Belastungsempfinden [Borg-Skala] auf den jeweiligen Belastungsstufen.

Die Bestimmung der spirometrischen Daten erfolgte mit Hilfe des transportablen Spirometriesystems K4b2 [Cosmed S.r.l, Rom, Italien].

Statistik

Die statistische Auswertung erfolgt mit dem wissenschaftlichen Statistikprogramm „STATISTICA für Windows“, Version 6.0 [Firma StatSoft, Tulsa, USA]. Mittelwerte der Stichprobe und die Standardabweichung dienen als Ausgangsbasis zur Überprüfung der Grundgesamtheit.

Der Kolmogoroff-Smirnoff-Test wird zur Prüfung auf Normalverteilung angewandt.

Bei verbundenen Stichproben finden bei normalverteilten Ausgangsdaten der t-Test für verbundene Stichproben und bei nicht normalverteilten Daten der Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon Anwendung. Unverbundene Stichproben werden bei Normalverteilung mittels des t-Tests für unverbundene Stichproben, bei nicht normalverteilten Grundgesamtheiten mittels des U-Tests nach Wilcoxon, Mann und Whitney evaluiert. Für den Vergleich von Mittelwerten wird die Varianzanalyse (ANOVA, MANOVA) angewendet. Das Signifikanzniveau wurde bei einem $p < 0,01$ festgelegt.

3 Ergebnisse

Als wesentliche Befunde wurden festgestellt:

1. In Vergleich zur Online-Spirometrie lassen sich im Nachatmungsmodus keine signifikanten Unterschiede beim paarweisen Vergleich der jeweiligen Nachbelastungsintervalle [Sek. 9 bis Sek. 60] finden.
2. Der Unterschied zwischen der tatsächlichen, in den vergleichbaren Online-Spirometrien ermittelten VO_2 [Mittelwert der letzten 30 sec der letzten Belastungsstufe] und der mittels Nachatmungsmethode mit Hilfe der Gleichung $y = ae^{-bx}$ ermittelten VO_2 war bei allen drei Probandengruppen statistisch signifikant [$p < 0,001$].
3. Bezogen auf die einzelnen Gruppen ließen sich folgende Abweichungen feststellen:

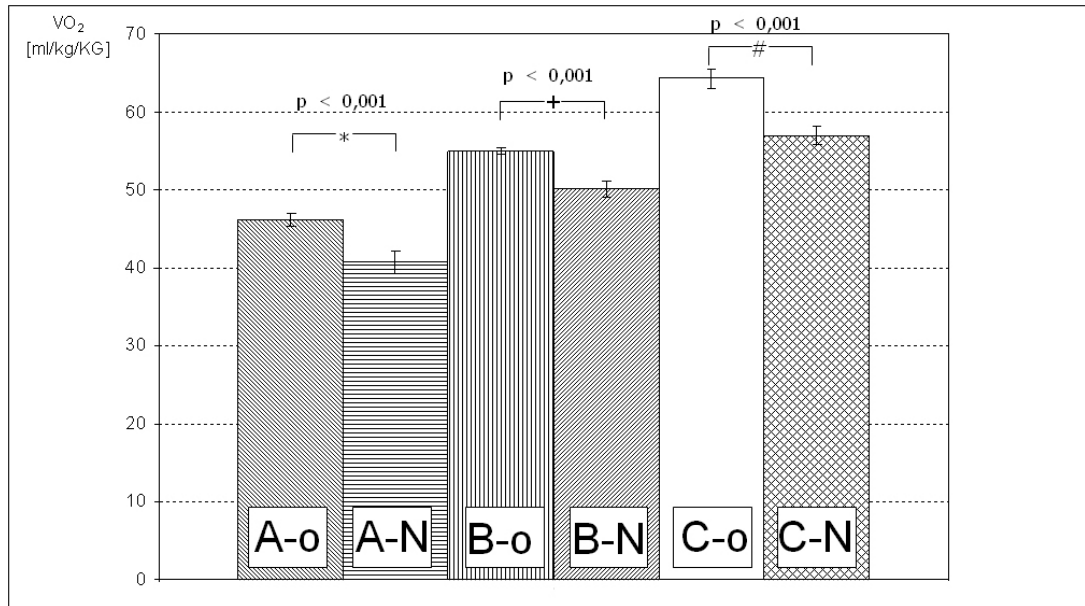


Abb. 1: Abweichungen der erhobenen VO₂-Werte der Nachtatmungs-Untersuchungen in Bezug auf die VO₂-Werte der vergleichbaren Online-Messung. (A-o = Gruppe A [$< 50 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$]/ online; A-N = Gruppe A [$< 50 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$]/ Nachtmung; B-o = Gruppe B [$50\text{-}60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$]/ online; B-N = Gruppe B [$50\text{-}60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$]/ Nachtmung; C-o = Gruppe C [$> 60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$]/ online; C-N = Gruppe C [$> 60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$]/ Nachtmung)

Es zeigt sich, dass in allen drei Probandengruppen die tatsächliche, in den vergleichbaren Online-Spirometrien ermittelte VO₂ im Mittel um $10,2 \% \pm 11,4$ unterschätzt wurde [Gruppe $< 50 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$: $11,8 \% \pm 11,4$, Gruppe $50\text{-}60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$: $8,8 \% \pm 12$, Gruppe $> 60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$: $11,3 \% \pm 5,8$].

Es ließ sich in den jeweiligen Gruppen unterschiedlicher Ausdauerleistungsfähigkeit kein signifikanter Unterschied in der jeweiligen prozentualen Abweichung zum tatsächlichen VO₂-Wert feststellen [$p = 0,589$].

4 Diskussion

Das Ansprechverhalten des benutzten Spirometrieerätes im Nachtatmungsmodus kann wegen der fehlenden signifikanten Unterschiede beim paarweisen Vergleich der jeweiligen Nachbelastungsintervalle mit dem der Online-Spirometrie als weitestgehend identisch bezeichnet werden.

Der o. g., schon von Di Prampero publizierte biphasische Verlauf der O₂-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase (vgl. Di Prampero, Peeters & Margaria, 1973) folgt vor allem zu Beginn der Nachbelastungsphase nicht der Funktion $y = ae^{-bx}$. Die von McMahon und Jenkins (vgl. McMahon & Jenkins, 2002) ebenso wie von Harris et al. (vgl. Harris et al.,

1976) beschriebene schnelle Komponente der Kreatin-Resynthese [oxidative Phosphorylation, Dauer: ca. 20 Sekunden, abhängig von der Sauerstoffverfügbarkeit] könnte als Erklärungsmodell für dieses Phänomen dienen. Der durch Extrapolation errechnete Wert der Sauerstoffaufnahme bei Belastungsabbruch wird durch den biphasischen Verlauf der O₂-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase wie in Abbildung 1 ersichtlich im Sinne einer falsch niedrigen Darstellung verfälscht.

Der mittels Nachatmungsmethode bestimmte VO₂-Wert liegt unabhängig von der Ausdauerleistungsfähigkeit des Athleten ca. 10 % unter dem tatsächlichen VO₂-Wert [mittels Online-Methode bestimmt]. Dies sollte der Anwender dieser Methode bei zukünftigen Untersuchungen mit berücksichtigen.

Ausblick

Weitere Untersuchungen sollten klären, ob mit Hilfe eines modifizierten Algorithmus, welcher der biphasischen Kinetik der O₂-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase angepasst ist, die VO₂-Bestimmung mittels Nachatmungsmethode im breath-by-breath Modus eine höhere Messgenauigkeit erzielt.

5 Literatur

- Bassett, D. R. Jr. & Howley, E. T. (1997). Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc*, 29, 591-603.
- Carre, F., Dassonville, J., Beillot, J., Prigent, J. Y. & Rochcongar, P. (1994). Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 69, 258-261.
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R. & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*, 6, 266-270.
- Di Prampero, P. E., Peeters, L. & Margaria, R. (1973). Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J Appl Physiol*, 34, 628-632.
- Harris, R. C., Edwards, R. H. T., Hultman, E., Nordesjö, L.-O., NYIIND, B. & Sahlin, K. (1976). The Time Course of Phosphorylcreatine Resynthesis during Recovery of the Quadriceps Muscle in Man. *Pflügers Arch.*, 367, 137-142.
- Lavoie, J.-M., Léger, L. A., Montpetit, R. & Chabot, S. (1983). Backward extrapolation of VO₂ from the O₂ recovery curve after a voluntary maximal 400m swim. In A. P. Hollander, P. A. Huijing, and G. de Groot (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming* (pp. 222-227). Champaign, Ill: Human Kinetics.
- Leger, L. A., Seliger, V. & Brassard, L. (1980). Backward extrapolation of VO₂max values from the O₂ recovery curve. *Med Sci Sports Exerc*, 12, 24-27.
- McMahon, S. & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med*, 32, 761-784.

- Montpetit, R. R., Leger, L. A., Lavoie, J. M. & Cazorla, G. (1981). VO_2 peak during free swimming using the backward extrapolation of the O_2 recovery curve. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 47, 385-391.
- Pendergast, D. R., Di Prampero, P. E., Craig, A. B., JR., Wilson, D. R. & Rennie, D. W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol*, 43, 475-479.
- Toussaint, H. M. & Hollander, A. P. (1994). Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. *Sports Med*, 18, 384-405.