

---

## **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 [VO<sub>2</sub>] 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 O<sub>2</sub>-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 O<sub>2</sub>-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 O<sub>2</sub>/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/m<sup>2</sup> ( $\pm$  1,8); Körperfett: 17,7 % ( $\pm$  4,2)]

*Gruppe B [ $VO_2$  peak: 50-60ml O<sub>2</sub>/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/m<sup>2</sup> ( $\pm$  1,75); Körperfett: 13,2 % ( $\pm$  2,8)]

*Gruppe C [ $VO_2$  peak: > 60ml O<sub>2</sub>/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/m<sup>2</sup> ( $\pm$  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 Spirometrysystems 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:

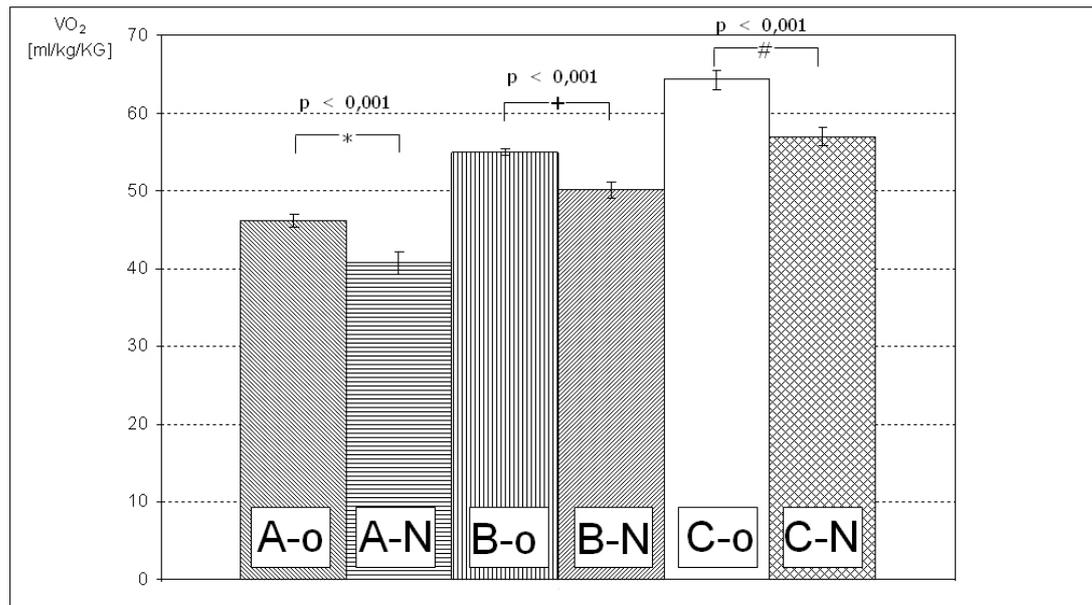


Abb. 1: Abweichungen der erhobenen VO<sub>2</sub>-Werte der Nachtatmungs-Untersuchungen in Bezug auf die VO<sub>2</sub>-Werte der vergleichbaren Online-Messung. (A-o = Gruppe A [ $< 50 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$ ]/ online; A-N = Gruppe A [ $< 50 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$ ]/ Nachtatmung; B-o = Gruppe B [ $50\text{-}60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$ ]/ online; B-N = Gruppe B [ $50\text{-}60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$ ]/ Nachtatmung; C-o = Gruppe C [ $> 60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$ ]/ online; C-N = Gruppe C [ $> 60 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$ ]/ Nachtatmung)

Es zeigt sich, dass in allen drei Probandengruppen die tatsächliche, in den vergleichbaren Online-Spirometrien ermittelte VO<sub>2</sub> 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 VO<sub>2</sub>-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 O<sub>2</sub>-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 O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase wie in Abbildung 1 ersichtlich im Sinne einer falsch niedrigen Darstellung verfälscht.

Der mittels Nachatmungsmethode bestimmte VO<sub>2</sub>-Wert liegt unabhängig von der Ausdauerleistungsfähigkeit des Athleten ca. 10 % unter dem tatsächlichen VO<sub>2</sub>-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 O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase angepasst ist, die VO<sub>2</sub>-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 O<sub>2</sub> 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 VO<sub>2</sub> from the O<sub>2</sub> 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 VO<sub>2</sub>max values from the O<sub>2</sub> 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).  $\text{VO}_2$  peak during free swimming using the backward extrapolation of the  $\text{O}_2$  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.