

Schwimmstil und Luftverbrauch

Leistungsphysiologische Aspekte des Flossenschwimmens

Andreas Koch, M. Holzum, H. Rieckert
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine, Kiel-Kronshagen

NOTFALL & HAUSARZTMEDIZIN 2006; 32: 438–440



Andreas Koch

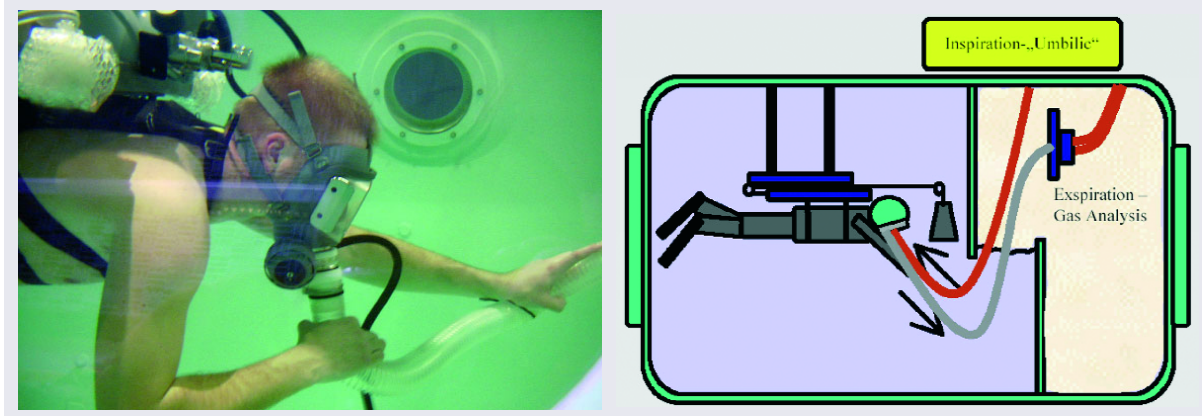
Die leistungsphysiologischen Aspekte des Gerätetauchens sind bis heute wenig untersucht worden, was nicht zuletzt daran liegt, dass eine Leistungsdiagnostik unter realen Tauchbedingungen nur sehr schwer durchzuführen ist. Da das Tauchen jedoch neben seiner Professionalität auch zunehmend zu einem Volkssport geworden ist, der nicht nur von jungen, sondern auch von älteren Menschen ausgeübt wird, gibt es Untersuchungsbedarf hinsichtlich der körperlichen Belastung beim Tauchen, insbesondere vor dem Hintergrund der erforderlichen Fitness.

Mehrere Aspekte sind bei einer Leistungsdiagnostik des Gerätetauchens von besonderer Bedeutung: auf Tauchtiefe führt die Atmung verdichteter Luft aus dem Lungenautomaten zu einer erschwerten Atemarbeit, das Flossenschwimmen stellt eine eigenständige Sportdisziplin dar, und der Luftvorrat, der dem Taucher zur Verfügung steht, ist extrem begrenzt. Gerade der letzte Aspekt ist für die „Sportart“ Tauchen von besonderer Tragweite, da der individuelle Luftverbrauch entscheidend für das Auftreten schwerer und noch dazu vermeidbarer Unfälle durch so genanntes „Running out of Air“ sein kann.

Tauch-Ergospirometrie in der Tauchkammer

Zur Untersuchung der Leistungsphysiologie beim Tauchen wurde in Anlehnung und in Erweiterung vorheriger Teillösungen (1, 4, 5, 7) deshalb eine Tauch-Ergospirometrie in der Tauchkammer des Druckkammerzentrums HYDRA2000 des Schiffahrtsmedizinischen Instituts der Marine eingerichtet. Das Kernstück bildet eine „suspended weights“-Ergometrie mit Ähnlichkeiten zum so genannten „tethered swimming“: der Taucher wird von



Abb. 1 Schematischer Aufbau der Unterwasser-Ergospirometrie

einem einstellbaren Gewicht rückwärts gezogen und schwimmt gegen den Widerstand an. Eine vollständige Spirometrie unter Wasser bis zu einer Tauchtiefe von 50 m wurde mit Hilfe einer Vollgesichtsmaske und einer computerisierten Spirometrie-einheit verwirklicht (Abb. 1).

Das Ziel der ersten Pilotstudie war die Klärung der Frage, inwieweit die Belastungsstufen einer Tauch-Ergospirometrie mit denen der üblichen Fahrrad-Ergometrie zur Leistungsdiagnostik beim Tauchen vergleichbar sind, inwieweit also die Ergebnisse beider Leistungstests zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

In der Anschlussstudie galt es zu klären, wie sich das Flossenschwimmen auf Tiefe mit der hiermit verbundenen erhöhten Atemarbeit, der jeweilige Schwimmstil und die Effekte der Erschöpfung auf den Atemgasverbrauch des Tauchers auswirken und möglicherweise ein unerwartetes „Running-out-of-Air“ nach sich ziehen können.

■ Methodik Pilotstudie

- 25 erfahrene Taucher, 24,6 ± 4,1 Jahre, 181,6 ± 6,9 cm, 77,5 ± 8,7 kg, > 100 Tauchgänge (TG)
- Normobare Fahrrad-Ergospirometrie: 75–125–175–225 W (3 min. Stufen)
- Fahrrad-Ergospirometrie bei 20 m „Tiefe“ (0,3 MPa): 75–125–175–225 W
- Tauch-Ergospirometrie bei 20 m „Tiefe“ (0,3 MPa): 5–6–7–8 kg Blei, Standardflossen.

Abb. 2 Wirkungsgrad des Flossenschwimmens nach der indirekten Kalorimetrie

$$W_{\text{Eff}} [\%] = (A \times 100) / (E - e)$$

W_{Eff} = Wirkungsgrad

A: Gesamtarbeit während Belastung [kJ] (12 min.): 75–125–175–225 [W] auf dem Fahrrad und 5–6–7–8 [kg] Blei in der Flossenschwimmergometrie

E: Gesamtenergieaufnahme während Belastung [kJ] (berechnet aus der Sauerstoffaufnahme [l/min] und Körpergewicht)

e: Basaler Energieumsatz [kJ] (berechnet aus der Sauerstoffaufnahme [l/min] und Körpergewicht)

Anschlussstudie

20 junge und gesunde Taucher, 25,5 ± 7,5 Jahre, 181 ± 16 cm, 79 ± 2,5 kg, große Unterschiede in der Taucherfahrung von 16 – 831 TG, Standardflossen. Die großen Unterschiede in der Taucherfahrung erlaubten eine Unterteilung der Taucher in eine Gruppe „< 100 TG“ (n=13) und „> 100 TG“ (n=7).

In beiden Gruppen wurde der Wirkungsgrad (W_{Eff}) des Flossenschwimmens auf jeder Belastungsstufe aus der jeweiligen Sauerstoffaufnahme nach dem Verfahren der indirekten Kalorimetrie berechnet (Abb. 2).

In der Anschlussstudie Beurteilung der Schwimmstilentwicklung und der Effekte der Erschöpfung bei zunehmender Belastung. Eine Videodokumentation diente der Analyse des Schwimmstils; eine Score-Berechnung des Schwimmstils wurde nach Videoauswertung durchgeführt: drei unabhängige Untersucher bestimmten unabhängig voneinander in jeder Minute der gesamten Belastung den Flossenschlag, wobei ein Punkt für reinen Knie-/Unterschenkel-Stil, zwei

Punkte für gemischter Stil und drei Punkte für reinen Hüfte-/Oberschenkel-Stil vergeben wurden. Nicht mehr beendete Belastungsmi-nuten wurden mit Null bewertet.

Bei allen Probanden erfolgte eine kontinuierliche Messung von Herzfrequenz, Ventilation, VO_2 , VCO_2 und RQ in allen Belastungsphasen.

■ Ergebnisse Pilotstudie

Die Belastungen auf dem Fahrrad-ergometer von 75–225 W erwiesen sich sowohl unter normobaren als auch unter den hyperbaren Bedingungen hinsichtlich Herzfrequenzverlauf und VO_2 als gut vergleichbar zur Tauch-Ergometrie mit Rückzugslasten von 5–8 kg. Einzig die jeweilige Ventilation war sowohl bei der Fahrradbelastung als auch unter Tauchbedingungen unter hyperbaren Bedingungen gegenüber der normobaren Belastung signifikant ($p < 0,001$) reduziert.

Anschlussstudie

Es zeigte sich bei allen Tauchern generell ein höherer Wirkungsgrad beim Flossenschwimmen, wenn der

Beinschlag primär aus der Hüfte kam (Hüfte-/Oberschenkel-orientierter Stil), wohingegen der mit zunehmender Belastung vorherrschende Knie-/Unterschenkel-orientierte Stil einen deutlich niedrigeren Wirkungsgrad erreichte. So konnte speziell bei 5 kg Rückzugsgewicht bei den Tauchern primär der Hüfte-/Oberschenkel-orientierte Stil mit signifikant höherem Wirkungsgrad ($13,4 \pm 7,8\%$) nachgewiesen werden. Bei hoher Belastung fand sich bei fast allen Tauchern primär der Knie-/Unterschenkel-orientierte Stil mit geringerem Wirkungsgrad ($9,5 \pm 2,3\%$ bei 8 kg Rückzugslast). Besonders deutlich war die belastungsabhängige Abnahme der W_{Eff} bei den erfahrenen Tauchern messbar, die bei 5 kg eine besonders hohe W_{Eff} von $18,1 \pm 1\%$ aufwiesen.

Entsprechend der deutlich höheren W_{Eff} gerade bei geringer Belastung (5 kg) lag nicht nur die notwendige Sauerstoffaufnahme (VO_2) bei den erfahrenen Tauchern signifikant unter derjenigen der unerfahreneren ($1,16 \pm 0,3$ l/min vs $1,55 \pm 0,3$ l/min, $p=0,012$), sondern auch die Ventilation lag sowohl bereits in Ruhe ($13 \pm 2,21$ l/min vs. $18,27 \pm 4,69$ l/min; $p=0,011$) als auch bei 5 kg Belastung ($23,69 \pm 5,87$ l/min vs. $31,53 \pm 1$ l/min; $p=0,022$) in der Gruppe „>100 TG“ signifikant niedriger als bei den Tauchern „<100 TG“.

■ Diskussion und Folgerungen Pilotstudie

Es traten keine technischen Probleme mit der Tauch-Ergospirometrie auf. 5–6–7–8 kg Blei (im Gleichgewicht) erwiesen sich als vergleichbar mit 75–125–175–225 W Fahrrad-Last bei normalgewichtigen jungen Männern.

Die Ventilation war sowohl beim Radfahren als auch beim Tauchen unter hyperbaren Bedingungen hochsignifikant vermindert, was auf einen umgebungsdruckabhängigen Gewöhnungseffekt bei erfahrenen Tauchern hindeutet (2, 6). Für diesen wird bei geübten Tauchern eine zunehmend erhöhte Toleranz gegenüber erhöhten CO_2 -Werten im Blut verantwortlich gemacht, was den Atemantrieb reduziert. Eine leichte bis moderate Neigung zur CO_2 -Re-

tention (3) hilft demnach Atemluft zu sparen und reduziert die Atemarbeit bei erhöhter Luftviskosität. Allerdings ist auch zu bedenken, dass eine übermäßige Neigung zur CO_2 -Retention und die damit verbundene Minderventilation mit einem erhöhten Risiko für Dekompressionserkrankungen in Zusammenhang gebracht wird.

■ Anschlussstudie

Die unterschiedliche Taucherauf-fahrung der Taucher der zweiten Gruppe legte eine Unterteilung in „unerfahren“ (<100 TG) und „erfahren“ (>100 TG) nahe, was in der weiteren Auswertung der Ergebnisse Berücksichtigung fand.

Für alle Probanden der zweiten Gruppe galt gemeinsam, dass ein Hüft-/Oberschenkel-orientierter Flossenschwimmstil generell mit einem höheren Wirkungsgrad (W_{Eff}) bei Belastung vergesellschaftet war, und dass mit zunehmend höherer Belastung der Schwimmstil hochsignifikant ungünstiger wurde und der Wirkungsgrad sank. Die erfahrenen Taucher erreichten mit dem günstigen Schwimmstil bei 5–6 kg Belastung einen besonders hohen Wirkungsgrad, bei hoher Belastung unterschied sich deren Wirkungsgrad jedoch nicht mehr wesentlich von den unerfahreneren Tauchern. Parallel hierzu lag die notwendige Sauerstoffaufnahme bei den Tauchern mit >100 TG bei 5 kg Belastung signifikant niedriger als bei den anderen Probanden. Noch deutlicher wurde der Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei Betrachtung der Ventilation: hier verbrauchten die erfahrenen Taucher bereits in Ruhe erwartungsgemäß weniger Pressluft als die Taucher mit <100 TG und der signifikante Unterschied im Luftverbrauch setzte sich auch bei geringer Belastung fort (5 kg). Da gerade die niedrige und die moderate Belastung beim Sporttauchen eine wesentliche Rolle spielen, ist die gemessene deutliche Differenz im Pressluftverbrauch zwischen unerfahrenen und erfahreneren Tauchern speziell vor diesem Hintergrund zu sehen.

Gerade körperlich gut trainierte Anfänger im Tauchen mit hoher

aerober Leistungsfähigkeit, die deshalb trotz eines ineffektiven Flossenschwimmstiles mit einer erfahreneren Tauchergemeinschaft mithalten wollen und können, laufen nach den vorliegenden Daten Gefahr, ihre Pressluftflaschen vorzeitig zu entleeren, wenn sie nicht genau auf ihren Luftverbrauch achten.

■ Literatur

1. Almeling M, Witten F, Niklas A. Methodenentwicklung zur Kontrolle des Vorhergesagtes einer Fahrradergometrie für die Leistungsfähigkeit von Tauchern. *Zbl Arbeitsmed* 2004; 54: 108–114
2. Delapille P, Verin E, Tourny-Chollet C, Pasquis P. Ventilatory responses to hypercapnia in divers and non-divers: effects of posture and immersion. *Eur J Appl Physiol* 2001; 86 (1): 97–103
3. Kerem D, Daskalovic YI, Arieli R, Shupak A. CO_2 retention during hyperbaric exercise while breathing 40/60 nitrox. *Undersea Hyperb Med* 1995; 22 (4): 339–346
4. Pendergast DR, Tedesco M, Nawrocki DM, Fisher NM. Energetics of underwater swimming with SCUBA. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28 (5): 573–580
5. Pendergast DR, Mollendorf J, Zamparo P, Termin A 2nd, Bushnell D, Paschke D. The influence of drag on human locomotion in water. *Undersea Hyperb Med* 2005; 32 (1): 45–57
6. Tetzlaff K, Neubauer B, Buslaps C, Rummel B, Bettinghausen E. Respiratory responses to exercise in divers at 0.4 MPa ambient air pressure. *Int Arch Occup Environ Health* 1998; 71 (7): 472–478
7. Thalmann ED, Sponholtz DK, Lundgren CE. Effects of immersion and static lung loading on submerged exercise at depth. *Undersea Biomed Res* 1979; 6 (3): 259–290

■ Anschrift für die Verfasser

Flottillenarzt Dr. med. Andreas Koch
Schiffahrtsmedizinisches Institut der
Marine Kiel-Kronshagen
Abteilung Sportmedizin
Christian-Albrechts-Universität Kiel
Kopperpähler Allee 120
24119 Kronshagen