

B. Schuler und M. Gassmann

Institut für Veterinärphysiologie, Vetsuisse-Fakultät und Zürcher Zentrum für Integrative Humanphysiologie (ZIHP), Universität Zürich, Zürich, Schweiz

# Optimale Ankunftszeit vor einem Wettkampf auf moderater Höhe

## Zusammenfassung

In diesem Artikel möchten wir auf unsere kürzlich veröffentlichte Studie «Timing the arrival at 2340 m altitude for aerobic performance» hinweisen und einige praktisch relevante Punkte diskutieren. Wir untersuchten, ob die maximale Sauerstoffaufnahme und die entsprechende Leistung mit zunehmender Akklimatisation auf 2340 m Höhe ansteigen. Dies war der Fall und hat einen praktischen Nutzen für Athleten, die auf moderater Höhe einen Wettkampf bestreiten möchten.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 55 (3), 107–108, 2007

## 1. Studiendesign

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ), ein wichtiger Parameter zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit, nimmt mit zunehmender Höhe ab. Wie stark sich  $\dot{V}O_2\text{max}$  auf den verschiedenen Höhen im Laufe der Zeit ändert, ist noch nicht vollständig geklärt. Für Athleten, die einen Wettkampf in der Höhe bestreiten möchten, ist es entscheidend zu wissen, ob und wie sich  $\dot{V}O_2\text{max}$  während der Höhenakklimatisation ändert, damit sie sich optimal auf den Wettkampf vorbereiten können. Denn oftmals entscheiden nur kleine Details in der Vorbereitung zwischen Gewinn oder Niederlage.

In hoher bis extremer Höhe scheint  $\dot{V}O_2\text{max}$  während der Höhenakklimatisation konstant reduziert zu bleiben. Auf moderater Höhe sind die Daten jedoch kontrovers. Um diesen Widerspruch aufzuklären, untersuchten wir in unserer Studie, ob  $\dot{V}O_2\text{max}$  und die entsprechende Leistung während der Akklimatisation auf moderater Höhe ansteigen. Acht Eliteradfahrer wurden auf Meereshöhe sowie nach 1, 7, 14 und 21 Tag(en) auf 2340 m untersucht. Die Athleten trainierten gemäss dem «live high-train low»-Konzept unterhalb 1100 m. Die Testpersonen hielten sich so täglich während rund 19 Stunden auf 2340 m auf. Um ein Eisendefizit zu vermeiden, bekamen die Athleten zwei Wochen vor und während der ganzen Studie Eisen-Supplemente. Gleichzeitig wurde in dieser Periode das Trainingsregime konstant gehalten, damit ein Trainingseffekt ausgeschlossen werden konnte. Nach einer Ruheblutentnahme absolvierten die Probanden an jedem Versuchstag einen  $\dot{V}O_2\text{max}$ -Test auf dem Veloergometer. Mindestens 6 Stunden später, aber am gleichen Versuchstag, wurde die Ausdauerzeit («time to exhaustion») eines Constant-load-Tests bei einer Belastung von 80% der erreichten maximalen Leistung auf Meereshöhe gemessen. Entsprechend war die Belastung  $92.7 \pm 1\%$ ,  $89.8 \pm 1.3\%$ ,  $85.1 \pm 0.8\%$ , bzw.  $84.3 \pm 1.6\%$  der maximalen Leistung an Tag 1, 7, 14 oder 21.

Das Erythropoietin (Epo) erreichte im Plasma im Vergleich zu Meereshöhe seinen Höchststand am ersten Tag in der Höhe und blieb danach in den folgenden Tagen leicht erhöht. Akute Hypoxie rief keine Änderungen der Hämoglobinkonzentration [Hb] hervor.

## Abstract

We would like to refer in this article to our recently published study entitled «Timing the arrival at 2340 m for aerobic performance» and give some practical information. In this study, we examined whether maximal oxygen uptake and the corresponding performance rises with the increasing acclimatization at 2340 m altitude. As this was the case, our results are of practical use for athletes who would like to compete at moderate altitude.

Allerdings kam es mit zunehmender Akklimatisation zu einem linearen Anstieg der [Hb] um 15.1% nach 21 Tagen in der Höhe. Dementsprechend erhöhte sich auch der Hämatokrit um 13.4%. Im Vergleich zur Meereshöhe war der arterielle Sauerstoffgehalt ( $\text{CaO}_2$ ) um 8.7% am Tag 1 reduziert. Nach 21 Tagen in der Höhe stieg  $\text{CaO}_2$ , verglichen zu Tag 1, um 15.6% an.

Mit dem Aufstieg auf die moderate Höhe verschlechterten sich  $\dot{V}O_2\text{max}$  und «time to exhaustion» der Athleten um 12.8% bzw. 25.8% (Abb. 1). Mit zunehmender Akklimatisationszeit verbesserten sich  $\dot{V}O_2\text{max}$  und «time to exhaustion» allerdings wieder. Dabei stieg, verglichen zu Tag 1,  $\dot{V}O_2\text{max}$  um 8.9% und «time to exhaustion» um 13.6% an. Beide Parameter verbesserten sich hauptsächlich in den ersten zwei Wochen. Die Änderungen von  $\dot{V}O_2\text{max}$  und «time to exhaustion» korrelierten zudem mit der Änderung der [Hb].

## 2. Resultate

Die zwei wichtigsten Resultate unserer Studie sind: 1.  $\dot{V}O_2\text{max}$  und «time to exhaustion» verbesserten sich aufgrund der Akklimatisation auf einer Höhe von 2340 m; 2. die Verbesserung erfolgte hauptsächlich innerhalb der ersten 14 Tage nach Beginn der Höhenexposition.

## 3. Diskussion/praktische Anwendung

Die Höhentrainingsmethode «live high-train low» wurde ursprünglich empfohlen, um die Leistung auf Meereshöhe nach der Höhenexposition zu verbessern. Bei dieser Methode trainieren die Athleten unterhalb von 1100 m Höhe und verbringen die restliche Zeit in der Höhe. Somit kann der positive Effekt der Höhe ausgenutzt werden, während die höhenbedingte Abnahme der Leistungsfähigkeit durch Trainieren in tieferen Lagen vermieden wird. Um einen durch Höhenexposition bedingten, gewünschten Erythrozytenanstieg zu erzielen, müssen sich die Athleten oberhalb von 2200 m Höhe aufhalten. Es ist jedoch zu erwarten, dass die Reakti-

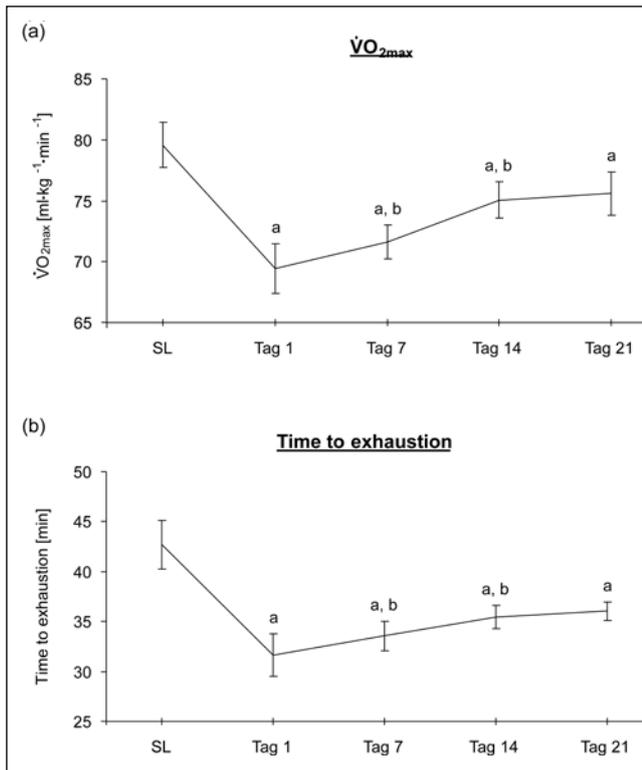


Abbildung 1: Mittelwerte der (a) maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2max}$ ) und (b) «time to exhaustion» auf Meereshöhe (SL) und nach 1–21 Tagen auf 2340 m (Tag 1, 7, 14 und 21). <sup>a</sup>P < 0.05 verglichen zu (SL), <sup>b</sup>P < 0.05 verglichen zu vorhergehendem Versuchstag.

onsstärke mit zunehmender Höhe aufgrund der linearen Beziehung zwischen  $CaO_2$  und Erythrozytenanstieg zunimmt. Andererseits nimmt aber auch die Gefahr einer akuten Höhenkrankheit zu. Oberhalb von 4000 m kommt es zudem zu einer Abnahme des Körpergewichts, der Muskelmasse und Blutdiffusion im Muskel. Darum wird für Athleten eine Aufenthaltshöhe zwischen 2200 und 4000 m empfohlen. Aufgrund unserer Resultate kann diese Methode aber auch verwendet werden, um  $\dot{V}O_{2max}$  und die Leistung auf moderater Höhe zu verbessern. Wir empfehlen Athleten, die auf einer moderaten Höhe einen Wettkampf bestreiten möchten, sich deshalb mindestens 14 Tage vor Wettkampfbeginn in die Höhe zu begeben, damit sich der Körper ausreichend an die veränderten Umweltbedingungen anpassen kann. Gleichzeitig muss das Training aber unterhalb von 1100 m absolviert werden.

Hauptverantwortlich für die Verbesserung von  $\dot{V}O_{2max}$  und der Leistung dürfte der Anstieg der [Hb] sein. Unter Normoxie ist  $\dot{V}O_{2max}$  hauptsächlich durch die Sauerstofftransportfähigkeit des Blutes limitiert. Dementsprechend erhöht sich  $\dot{V}O_{2max}$ , wenn  $CaO_2$ , z.B. durch Epo-Injektion oder autologe Blutinfusion, erhöht wird. Oberhalb von 4100 m steigt [Hb] während der Höhenakklimatisation an, es werden sogar höhere Konzentrationen als auf Meereshöhe gemessen, doch bleibt  $\dot{V}O_{2max}$  davon unbeeinflusst. Der Verdacht liegt nahe, dass eine Höhengschwelle existieren muss, oberhalb welcher eine Erhöhung von [Hb] keinen Einfluss auf  $\dot{V}O_{2max}$  und die Leistung ausübt, unterhalb welcher aber  $\dot{V}O_{2max}$  und die Leistung ansteigen. Fasst man alle vorhandenen Studien zusammen, müsste diese Schwelle zwischen 3300 und 3500 m Höhe liegen. Darum ist davon auszugehen, dass mit der Methode «live high-train low»  $\dot{V}O_{2max}$  und die Leistung in hoher bis sehr hoher Höhe nicht verbessert werden können. Diese Hypothese müsste aber noch genauer überprüft werden. Eine mögliche Erklärung für dieses Paradoxon dürfte die Umverteilung des Blutflusses sein. Im Gegensatz zur Meereshöhe gibt es auf einer Höhe oberhalb von 4000 m keinen Unterschied im Hauptblutfluss in die unteren Extremitäten. Während intensiver körperlicher Arbeit kommt es in den einzelnen Geweben zu einer Kompetition um den zur Verfü-

gung stehenden Sauerstoff. Als Folge davon nimmt der Blutfluss zur aktiven Skelettmuskulatur ab und entsprechend reduziert sich der zur arbeitenden Muskulatur transportierte Sauerstoff. Dies dürfte aber vermutlich nicht der einzige limitierende Faktor sein.

Die neue Erkenntnis unserer Studie ist von entscheidender Bedeutung für Athleten, die sich optimal auf einen Wettkampf in dieser Höhe vorbereiten möchten. Dadurch wird es den Athleten möglich, die bestmögliche Leistung am Wettkampftag zu vollbringen. Auch wenn die Studie an Eliteradfahrern durchgeführt wurde, ist doch davon auszugehen, dass Athleten in anderen Ausdauersportarten ähnlich reagieren dürften.

## Danksagung

Prof. Dr. med. Urs Boutellier und Stephan Keller sei speziell gedankt für die Kommentare zum Manuskript.

Korrespondenzadresse:

Beat Schuler, Institut für Veterinärphysiologie, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 260, CH-8057 Zürich, Tel. +41 (0)44 635 88 01, E-Mail: Beat.Schuler@access.uzh.ch

## Online-Artikel

Schuler B., Thomsen J.J., Gassmann M., Lundby C. (2007): Timing the arrival at 2340 m altitude for aerobic performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, DOI 10.1111/j.1600-0838.2006.00611.x