

Wachsmuth NB¹, Völzke C¹, Hoffmann J², Saunders PU³, Schmidt WF¹

Leistungsentwicklung nach einem Höhentrainingslager – eine Pilotstudie

Performance After Altitude – A Pilot Study

¹Abt. Sportmedizin/Sportphysiologie, Universität Bayreuth, Bayreuth

²Deutscher Schwimmverband

³Australian Institute of Sport, Canberra, Australien

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Höhentaining wird seit Jahrzehnten zur Vorbereitung auf Wettkämpfe im Flachland genutzt. Dennoch liegen noch keine systematischen Untersuchungen über den optimalen Zeitpunkt vor dem Wettkampf vor. Ziel der Studie war es, die sportartspezifische Leistungsfähigkeit von Spitzenathleten während und über mehrere Wochen nach einem Höhentrainingslager zu bestimmen.

Methoden: 10 Schwimmer nahmen an einem 3-wöchigen Höhentrainingslager auf 2300m (HTL) teil. Vier von ihnen sowie 5 weitere Athleten absolvierten ein gleichlanges Flachlandtrainingslager (FTL) fünf Wochen später. Die Hämoglobinmasse (Hb-Masse) wurde vor und bis fünf Wochen nach den Trainingslagern mittels der optimierten CO-Rückatmungsmethode bestimmt. Vier Schwimmer absolvierten die komplette Testserie (4 Tests vor, 3 während, und 7 nach dem HTL). Der Test bestand aus 5 x 200m-Stufen im frei wählbaren Schwimmstil mit zunehmender Geschwindigkeit (-6sec/Schwimmstufe) bis zur Maximalgeschwindigkeit.

Ergebnisse: Die Hb-Masse stieg eine Woche nach Rückkehr vom HTL um $4.4 \pm 4.4\%$ ($p < 0.05$) an und erreichte annähernd die Ausgangswerte innerhalb von 5 Wochen. Nach dem FTL wurden keine Veränderungen registriert. Die Leistung war am 4. Tag in der Höhe deutlich vermindert ($-3.1 \pm 1.9\%$), verbesserte sich kontinuierlich bis zur 3. Woche nach Rückkehr um $2.8 \pm 1.6\%$ ($p < 0.05$), und blieb die folgenden Wochen auf höherem Niveau. Es bestand keine direkte Beziehung zwischen den Veränderungen in der Hb-Masse und der Leistungsfähigkeit.

Schlussfolgerung: Die beste Schwimmleistung konnte ab der 3. Woche nach Rückkehr aus dem Höhentrainingslager beobachtet werden, was bei der Planung zukünftiger Höhenmaßnahmen berücksichtigt werden sollte.

Schlüsselwörter: Höhentaining, Leistung, Schwimmen

EINLEITUNG

Klassisches Höhentaining („Live high – train high“, LHTH) ist seit über 40 Jahren fest in der Vorbereitung von Wettkämpfen auf niedrigen Höhen etabliert, wobei es in den vergangenen 15 Jahren insbesondere in den Ländern, die über keine natürlichen Höhenressourcen verfügen, durch die Form „Live high – train low“ (LHTL) modifiziert worden ist. D.h., dass das Training unter Normoxie durchgeführt und die restliche Zeit in Räumen mit niedrigem O₂-Gehalt verbracht wird (14, 10). Vorrangiges Ziel beider Trainingsformen ist die Verbesserung der aeroben Leistung, was jedoch in der wissenschaftlichen Literatur noch nicht eindeutig belegt werden kann. Nach LHTH-Protokollen finden zwei von drei Metaanalysen signifikante oder zumindest tendenzielle Verbesserungen der Maximalleistungen um jeweils ca. 2% (1, 16), wohingegen die drit-

SUMMARY

Introduction: Altitude training is generally accepted to improve sea level performance. The optimal time lapse, however, between return from altitude and best performance has not been systematically investigated. The aim of this project, therefore, was to determine performance during and several weeks after altitude training.

Methods: 10 elite swimmers participated at a 3-week conventional altitude training camp at 2300m (HTL). Four of them plus five different athletes attended a 3-week sea level training camp (FTL) 5 weeks after the HTL. Hemoglobin mass (Hbmass) was determined before and until 5 weeks after the training camps using the optimized CO-rebreathing technique. Four swimmers completed the whole set of swimming step tests (4 tests before, 3 at altitude, and 7 after HTL). The test consisted of 5 x 200m-steps in the individually chosen swimming style with decreasing time (-6sec/step) up to maximal speed.

Results: Hb-mass significantly increased one week after HTL ($4.4 \pm 4.4\%$, $p < 0.05$). It returned to base line values within the following 5 weeks and was not affected by FTL. Performance clearly decreased at altitude (max speed $-3.1 \pm 1.9\%$), continuously increased until 3 weeks after return ($+2.8 \pm 1.6\%$, $p < 0.05$), and remained at higher level for the following weeks. No direct relationship between changes in Hb-mass and performance was found.

Conclusion: Best swimming performance was observed 3-5 weeks after returning from altitude training which should be considered when planning an altitude training camp.

Key Words: Altitude training, Performance, Swimming

te Metaanalyse mehr Studien ohne als mit Leistungsverbesserung aufzeigt (6).

In keiner der bislang durchgeführten Studien konnte der Zeitpunkt der optimalen Leistung nach einer Höhenmaßnahme exakt festgestellt werden. Aus anekdotischen Berichten geht hervor, dass unmittelbar nach Rückkehr aus der Höhe bei einigen Athleten ein kurzfristiges Leistungshoch registriert wird, dem eine verschlechterte Leistung folgt, an die sich nach ca. 2-3 Wochen ein weiteres

accepted: October 2013

published online: November 2013

DOI: 10.5960/dzsm.2013.100

Wachsmuth N, Völzke C, Hoffmann J, Saunders PU, Schmidt WF: Leistungsentwicklung nach einem Höhentrainingslager – eine Pilotstudie. Dtsch Z Sportmed 64 (2013) 339–342.

Tabelle 1: Verlauf der Hämoglobinmasse nach einem Höhen- und einem Flachlandtrainingslager. Ausgangswerte der Hämoglobinmasse (Hb-Masse) vor dem Höhentrainingslager (n=10) und ihre prozentualen Veränderungen bis fünf Wochen danach sind auf der linken Seite, die Daten für das Flachlandtrainingslager (n=9) auf der rechten Seite dargestellt. MW = Mittelwert, SA=Standardabweichung. Signifikante Unterschiede nach dem HTL im Vergleich zum FTL: * = p < 0.05, **p<0.01.

	Hb-Masse absolut			Δ Hb-Masse (%) nach HTL			Hb-Masse absolut			Δ Hb-Masse (%) nach FTL				
	Ausgangswert	1Wo	3Wo	5Wo	Ausgangswert	Post	1	3	5	Ausgangswert	Post	1	3	5
MW	911,8	4,4 **	2,1*	1,7	849,4	-0,8	-0,5	0,7	-0,6	209,4	1,5	2,6	1,7	1,7
SA	215,6	4,4	3,6	4,1	209,4	1,5	2,6	1,7	1,7	209,4	1,5	2,6	1,7	1,7

Leistungshoch anschließt (12). Dieser Zeitverlauf wird von Wachsmuth et al. (18) gestützt, die bis 2 Wochen nach Rückkehr aus einem klassischen Höhentrainingslager eine leicht verschlechterte und 3-5 Wochen danach bessere Wettkampfergebnisse als ohne vorhergehende Höhentrainingslager ermittelten. Ähnliche Zeitverläufe wurden auch von Gough et al. (10) bis 4 Wochen nach LHTH- und LHTL-Protokollen berichtet.

Ein weiterer Schwachpunkt der bisherigen Untersuchungen ist die Art der Leistungstests. Oft wurden Standardverfahren (Fahrradergometer, Laufband) verwandt, die jedoch nur bedingt Aussagen über die sportart- oder disziplinspezifische Leistung zulassen.

Als Ursache für eine mögliche Leistungsverbesserung wird klassischerweise eine verstärkte Erythropoese in der Höhe diskutiert (2), welche mittlerweile durch eine Vielzahl von Höhentrainingsstudien abgesichert ist (9,4). Dabei kann in einer Höhe von 2000–2500m davon ausgegangen werden, dass pro 100h Hypoxie die Hb-Masse im Mittel um 1% ansteigt (3,9), wobei eine große interindividuelle Variation zu beobachten ist. Allerdings zeigt eine neue Metaanalyse eine zwar signifikante, aber nur schwache Korrelation der angestiegenen Hb-Masse mit der Veränderung der $\dot{V}O_{2max}$ ($r=0.39$, $p<0.001$) (15), so dass 86% der Effekte auf andere Mechanismen zurückgeführt werden müssen. Ebenso muss beachtet werden, dass die Leistung von weiteren nicht auf die $\dot{V}O_{2max}$ zurückzuführenden Faktoren, wie Ökonomie und fraktionale Utilisation der $\dot{V}O_{2max}$ bestimmt wird, die in der Höhe ebenfalls verändert werden können (8).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, die sportartspezifische Leistung engmaschig während und bis 10 Wochen nach einem dreiwöchigen Höhentraining auf 2300m bei Schwimmern zu bestimmen und mögliche Korrelationen zu Veränderungen der Hämoglobinmasse aufzuzeigen.

METHODIK

Studiendesign

Das Projekt war von der Ethikkommission der Universität Bayreuth genehmigt. Die Sportler, und im Falle der Nichtvolljährigkeit auch ihre Eltern, wurden über Ziele und Risiken der Studie aufgeklärt und unterschrieben eine Einverständniserklärung.

Insgesamt waren 15 (10 männliche, 5 weibliche) Schwimmer von nationalem und teilweise internationalem Leistungsniveau in das Projekt eingebunden. Das Alter (Mittelwert ± Standardabweichung) betrug 18.7 ± 2.4 Jahre (♂), bzw. 19.0 ± 7.6 Jahre (♀); die Größe: 187.5 ± 6.3 cm (♂), 173.2 ± 8.1 cm (♀); die Körpermasse: 81.8 ± 10.9 kg (♂), 62.2 ± 8.8 kg (♀). 10 von ihnen (7 ♂, 3 ♀) nahmen an einem 3-wöchigen Höhentrainingslager (HTL) in Mexico City auf 2300 m teil. 5 Wochen nach Rückkehr absolvierten 4 von ihnen sowie 5 weitere Schwimmer (6 ♂, 3 ♀) ein 18-tägiges Flachlandtrainingslager (FTL). Vor (Doppelbestimmung) sowie 1, 3, und 5 Wochen nach den jeweiligen Trainingslagern wurde bei ihnen die Hb-Masse bestimmt.

Von vier Teilnehmern wurden 14 schwimmspezifische Leistungstests vor (4 Tests), während des Höhentrainingslagers (3 Tests) sowie bis 10 Wochen nach Rückkehr aus der Höhe (7 Tests), d.h. bis zwei Wochen nach dem Flachlandtrainingslager, durchgeführt. Ein 5. Schwimmer absolvierte die Tests bis 16 Tage nach dem HTL.

Bestimmungsmethoden

Für den Leistungstest wurde ein schwimmspezifisches Protokoll mit 5 Geschwindigkeitsstufen entwickelt, das in einem 50m-Becken in der bevorzugten Disziplin des jeweiligen Schwimmers absolviert wurde. Jede Stufe bestand aus einer 200m Strecke, die mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit durchschwommen wurde, und einer anschließenden Pause, was zusammen exakt 5min dauerte. Die Schwimmgeschwindigkeit wurde individuell so berechnet, dass bei jeder Stufensteigerung die Zeit für die jeweiligen 200m um 6sec verringert wurde, bis auf der letzten Stufe mit maximaler Geschwindigkeit geschwommen wurde. Unmittelbar nach Ende jeder Belastungsstufe wurden die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration bestimmt.

Im Anschluss wurde die Schwimmgeschwindigkeit auf den einzelnen Stufen gegen die jeweilige Laktatkonzentration aufgetragen und es wurde für jeden Athleten die Schwimmgeschwindigkeit in 2mmol/l-Abschnitten zwischen 4mmol/l und 8mmol/l grafisch ermittelt. Leider konnte die Herzfrequenz nicht in die Auswertung eingehen, da zu viele Messwerte aufgrund technischer Probleme nicht auswertbar waren.

Die totale Hämoglobinmasse wurde mit der optimierten CO-Rückatmungsmethode nach (17) bestimmt, wobei die Präzision der Methode (methodischer Fehler) bei 1.4% lag.

Statistik

Die Messdaten werden als Mittelwerte mit Standardabweichungen dargestellt. Beim Vergleich der Mittelwertunterschiede der Hb-Masse nach den beiden Trainingslagern wurde das t-Test basierte Verfahren von Hopkins zugrunde gelegt (11). Zur Bestimmung signifikanter Veränderungen der Leistungsfähigkeit über den gesamten Beobachtungszeitraum wurde eine Varianzanalyse mit Messwertwiederholung durchgeführt. Die Signifikanz der Differenz vom Ausgangswert wurde über gepaarte t-Tests ermittelt, wobei a-priori die Messzeitpunkte 10, 16 und 23 Tage festgelegt wurden, um Veränderungen der p-Werte infolge der notwendigen Bonferroni-Korrektur klein zu halten.

ERGEBNISSE

Hb-Masse

Die Hämoglobinmasse war eine Woche nach dem HTL um $4.4 \pm 4.4\%$ (n=10) im Vergleich zum Ausgangswert erhöht (Tab. 1), wobei sich eine stark individuelle Reaktion (zwischen -2.9% bis +11.9%) bei den einzelnen Athleten zeigte. Nach 3 Wochen betrug der Zuwachs an Hämoglobin noch $2.1 \pm 3.6\%$. Nach 5 Wochen war das Ausgangs-

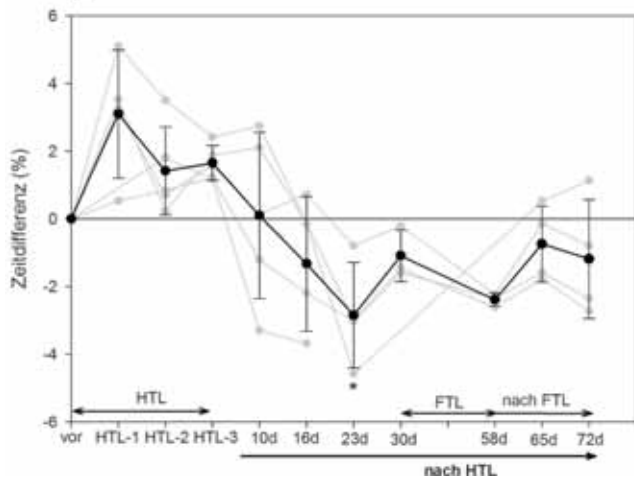


Abbildung 1: Veränderung der maximalen Leistung im Schwimm-Stufentest während und nach einem Höhen- und sich anschließenden Flachlandtrainingslager. HTL 1-3 kennzeichnet die Wochen im Höhentrainingslager und FTL das Flachlandtrainingslager. Dargestellt sind die prozentualen individuellen Veränderungen der Schwimmzeit vom Ausgangswert bei maximaler Geschwindigkeit sowie der Mittelwert (mit Standardabweichung). Signifikante Veränderungen zum Ausgangswert: * $p < 0,05$

niveau wieder erreicht. Zwei Athleten zeigten keine bzw. nur eine geringe positive Anpassung, was wahrscheinlich auf einen starken Gewichtsverlust (ca. 5 kg) zurückzuführen ist. Nach dem Flachlandtrainingslager wurde keine Veränderung beobachtet; auch individuell oszillierten die Werte nur um wenige Gramm. Beim Vergleich der Daten des Höhen- und Flachlandtrainingslagers waren sowohl die Veränderungen nach einer Woche (5.1%, $p < 0.01$), als auch nach drei Wochen (2.8%, $p = 0.05$) signifikant unterschiedlich.

Leistungstests

Vollständige Leistungstests wurden bis 16 Tage nach dem HTL von fünf Athleten durchgeführt, die gesamte Testserie von vier Schwimmern. Sowohl für die maximale Geschwindigkeit, als auch für die submaximalen Leistungsstufen zeigten sich in der Varianzanalyse hochsignifikante Veränderungen (jeweils $p < 0.001$). In der Endstufe, in der mit maximaler Geschwindigkeit geschwommen wurde (Abb. 1), nahm die Geschwindigkeit nach 4 Tagen in der Höhe um $3.1 \pm 1.9\%$ ab und lag am 10. und 17. Tag noch um ca. 1.5% unter der Ausgangsleistung. 10 Tage nach Rückkehr ins Flachland entsprach die Leistung derjenigen vor dem HTL und verbesserte sich deutlich bis zum 23. Tag nach Rückkehr ($p < 0.05$). Während des sich anschließenden FTL nahm die maximale Leistung tendenziell wieder etwas ab, war aber dennoch besser als unmittelbar vor und nach dem HTL.

Ein sehr ähnliches Bild wie für die Maximalleistung, fand sich auch auf den submaximalen Stufen (Abb.2). Bei allen Laktatkonzentrationen (berechnet zwischen 4 und 8mmol/l) war die Schwimgeschwindigkeit in der Höhe stets vermindert, erreichte ca. eine Woche nach Rückkehr wieder die Ausgangswerte und war ab der dritten Woche verbessert (bei 4mmol/l $p < 0.05$).

Der Kernpunkt der Fragestellung dieser Studie lässt sich also dahingehend beantworten, dass ca. 3 Wochen nach Rückkehr aus dem HTL die beste Leistung erreicht wird, die dann für die kommenden Wochen annähernd gehalten werden kann.

Mittels linearer Regressionsanalyse konnte kein Zusammenhang zwischen der Veränderung der Schwimmzeit im Stufentest und der Veränderung der Hämoglobinmasse gefunden werden. Wenn jedoch die Veränderung der Schwimmzeit mit der Verände-

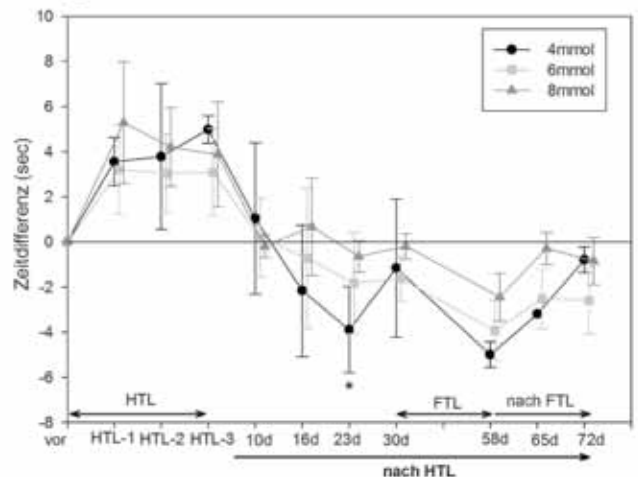


Abbildung 2: Veränderung der submaximalen Leistung im Schwimm-Stufentest während und nach einem Höhen- und sich anschließenden Flachlandtrainingslager. HTL 1-3 kennzeichnet die Wochen im Höhentrainingslager und FTL das Flachlandtrainingslager. Dargestellt sind die Veränderungen der Schwimmzeit bei Laktatkonzentrationen von 4mmol/l, 6mmol/l und 8mmol/l. Signifikante Veränderungen zum Ausgangswert: * $p < 0.05$.

rung der Hb-Masse zum Zeitpunkt 2 Wochen vor dem Leistungstest korreliert wurde, ergab sich eine schwach signifikante Korrelation ($r = 0.52$, $p < 0.05$), die darauf hindeutet, dass eine nach dem Höhentrainingslager erhöhte Hb-Masse die Leistung zu einem späteren Zeitpunkt positiv beeinflusst.

DISKUSSION

Die Größenordnung des Anstiegs der Hb-Masse nach dem Höhentrainingslager (5.1% gegenüber der Kontrollgruppe) entspricht den Ergebnissen nahezu aller in den letzten Jahren durchgeführten Studien (9). Desgleichen entspricht die Bildungsrate von 5.1% exakt dem Wert von 1%/100h kontinuierlicher Hypoxieexposition (9). Die Tatsache, dass die Nachwerte erst nach einer Woche ermittelt werden konnten, verfälscht das Ergebnis nicht, da bei Abstieg von moderaten Höhen eine Neozytolyse nahezu komplett ausgeschlossen werden kann (13). Auch drei Wochen nach Rückkehr kann noch eine erhöhte Hb-Masse beobachtet werden, was ebenfalls mit der Literatur übereinstimmt (18,9).

Die vorliegende Studie zeigt erstmalig die Entwicklung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit kontinuierlich während und bis 10 Wochen nach Rückkehr aus einem klassischen Höhentrainingslager auf. Wenngleich die Leistungsdaten aufgrund der geringen Fallzahl ($n = 4$ über 13 Wochen) und einer fehlenden Vergleichsgruppe natürlich mit Vorsicht interpretiert werden müssen, bieten sie doch die Möglichkeit, bei Einbeziehung bestehender Datensätze aus der Literatur, valide Aussagen treffen zu können.

Die Leistungseinbuße zu Beginn des HTLs und die anschließende Verbesserung spiegeln die erwartete Anpassung an mittlere Höhen wieder und benötigen keiner weiteren Diskussion. Unsere Ergebnisse mit einer signifikanten Verbesserung um 2.8% nach 23 Tagen bestätigen aber auch die anekdotisch beschriebene Leistungsentwicklung mit Peak-performance etwa drei Wochen nach Rückkehr (12). Auffällig ist dabei der nahezu identische Zeitverlauf der Leistungsentwicklung, wie wir ihn kürzlich anhand von Wettkampfergebnissen von Schwimmern gezeigt haben (18). Dabei nahm die Leistung in den ersten beiden Wochen nach Rückkehr

gegenüber der Ausgangsleistung leicht ab, war bis zum 24. Tag danach unverändert und zwischen dem 25. und 35. Tag signifikant um 2,6% verbessert. Ein modifizierter Verlauf wurde auch von Gough et al. (10) gezeigt, die am ersten und 7. Tag nach 3-wöchigen LHTH- als auch LHTL-Protokollen einen Abfall der Leistungsfähigkeit um 1-2%; nach 14 und 28 Tagen allerdings keine Leistungsveränderung fanden.

Interessant ist eine Studie von Friedmann und Mitarbeitern (5), die einen vergleichbaren Leistungsanstieg um 2-3%, allerdings schon zu einem deutlich früheren Zeitpunkt (Tag 10), nach einem HTL fanden. Hier kann nicht ausgeschlossen werden, dass zu einem späteren Zeitpunkt eine noch bessere Leistung vorgelegen haben könnte.

Alle bisherigen Studien zum optimalen Zeitpunkt eines Höhentrainingslagers bieten für sich betrachtet, u.a. aufgrund ihrer relativ niedrigen Probandenzahlen, keine überzeugenden Argumente für ein bestimmtes Timing von Höhentrainingsmaßnahmen. Die nahezu identischen Ergebnisse, die von uns mit unterschiedlichen Methoden erzielt wurden (18), belegen jedoch, dass optimale Leistungen nach einer Höhentrainingsmaßnahme im Mittel nach ca. 3 Wochen erzielt werden können.

Die Ursachen für diesen verzögerten Verlauf sind noch nicht klar ersichtlich. Nach Garvican et al. (7) steigt nach Höhentrainingsmaßnahmen nur bei den Athleten die $\dot{V}O_{2max}$ an, die auch einen Zuwachs an Hämoglobin aufweisen, die sportartspezifische Leistung dagegen auch ohne effektiv erhöhte Erythropoiese. In der vorliegenden Studie besteht keine direkte Beziehung zur höhenbedingt vergrößerten Hämoglobinmasse, wenn Hb-Masse und Leistung zum gleichen Zeitpunkt korreliert werden. Die schwache, aber signifikante, positive Korrelation zwischen der Veränderung der Hb-Masse und der Testleistung zwei Wochen später legt jedoch die Vermutung nahe, dass aufgrund des verbesserten Sauerstofftransports mit höherer Intensität trainiert, bzw. die Regenerationszeit verbessert werden kann. Dennoch müssen auch weitere Anpassungsmechanismen in Betracht gezogen werden.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die vorliegende Studie zeigt erstmalig engmaschig den sportartspezifischen Leistungsverlauf von Schwimmern nach einem dreiwöchigen klassischen Höhentrainingslager auf. Eine verbesserte Leistung um bis zu 2,8% wird ab der dritten Woche nach Rückkehr beobachtet, wobei keine eindeutige Beziehung zur durch die Höhenmaßnahme vergrößerten Hämoglobinmasse besteht.

Danksagung

Die Studie wurde finanziell durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert (AZ: IIA1-070504/09). Wir bedanken uns bei allen Athleten, die an der Studie teilgenommen haben, sowie beim DSV für die ausgezeichnete Kooperation.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: keine.

LITERATUR

1. BONETTI DL, HOPKINS WG: Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Med* 39 (2009) 107 - 127. doi:10.2165/00007256-200939020-00002

2. BÖNING D, MAASSEN N, JOCHUM F, STEINACKER J, HALDER A, THOMAS A, SCHMIDT W, NOÉ G, KUBANEK B: After-effects of a high altitude expedition on blood. *Int J Sports Med* 18 (1997) 179 - 185. doi:10.1055/s-2007-972616
3. CLARK SA, QUOD MJ, CLARK MA, MARTIN DT, SAUNDERS PU, GORE CJ: Time course of haemoglobin mass during 21 days live high:train low simulated altitude. *Eur J Appl Physiol* 106 (2009) 399 - 406. doi:10.1007/s00421-009-1027-4
4. DEHNERT C, HÜTLER M, LIU Y, MENOLD E, NETZER C, SCHICK R, KUBANEK B, LEHMANN M, BÖNING D, STEINACKER JM: Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. *Int J Sports Med* 23 (2002) 561 - 566. doi:10.1055/s-2002-35533
5. FRIEDMANN B, FRESE F, MENOLD E, KAUPER F, JOST J, BÄRTSCH P: Individual variation in the erythropoietic response to altitude training in elite junior swimmers. *Br J Sports Med* 39 (2005) 148 - 153. doi:10.1136/bjism.2003.011387
6. FRIEDMANN-BETTE B: Classical altitude training. *Scand J Med Sci Sports* 18 (2008) 11 - 20. doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00828.x
7. GARVICAN LA, POTTGIESSER T, MARTIN DT, SCHUMACHER YO, BARRAS M, GORE CJ: The contribution of haemoglobin mass to increases in cycling performance induced by simulated LHTL. *Eur J Appl Physiol* 111 (2011) 1089 - 1101. doi:10.1007/s00421-010-1732-z
8. GORE CJ, CLARK SA, SAUNDERS PU: Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1600 - 1609. doi:10.1249/mss.0b013e3180de49d3
9. GORE CJ, SHARPE K, GARVICAN-LEWIS LA, SAUNDERS PU, HUMBERTONE CE, ROBERTSON EY, WACHSMUTH NB, CLARK SA, MCLEAN BD, FRIEDMANN-BETTE B, MITSUO N, POTTGIESSER T, SCHUMACHER YO, SCHMIDT WF: Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide re-breathing method - a meta-analysis. *Br J Sports Med* (in press) (2013) .
10. GOUGH CE, SAUNDERS PU, FOWLIE J, SAVAGE B, PYNE DB, ANSON JM, WACHSMUTH N, PROMMER N, GORE CJ: Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers. *Eur J Appl Physiol* 112 (2012) 3275 - 3285. doi:10.1007/s00421-011-2291-7
11. HOPKINS, W: A spreadsheet for analysis of straightforward controlled trials. A new view of statistics. newstats.org/otherres.html (2003) .
12. MILLET GP, ROELS B, SCHMITT L, WOODRONS X, RICHALET JP: Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med* 40 (2010) 1 - 25. doi:10.2165/11317920-000000000-00000
13. PROMMER N, THOMA S, QUECKE L, GUTEKUNST T, VÖLZKE C, WACHSMUTH N, NIESS A, SCHMIDT W: Total hemoglobin mass and blood volume of elite Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc* 42 (2010) 791 - 797. doi:10.1249/MSS.0b013e3181badd67
14. RUSKO HK, TIKKANEN HO, PELTONEN JE: Altitude and endurance training. *J Sports Sci* 22 (2004) 928 - 945. doi:10.1080/02640410400005933
15. SAUNDERS PU, GARVICAN-LEWIS LA, SCHMIDT WF, GORE CJ: Relationship between changes in hemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *Br J Sports Med* (in press) (2013) .
16. SAUNDERS PU, PYNE DB, GORE CJ: Endurance Training at Altitude. *High Alt Med Biol* 10 (2009) 135 - 148. doi:10.1089/ham.2008.1092
17. SCHMIDT W UND PROMMER N: The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *Eur J Appl Physiol* 95 (2005) 486 - 495. doi:10.1007/s00421-005-0050-3
18. WACHSMUTH NB, VÖLZKE C, PROMMER N, SCHMIDT-TRUCKSASS A, FRESE F, SPAHL O, EASTWOOD A, STRAY-GUNDERSEN J, SCHMIDT W: The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. *Eur J Appl Physiol* 113 (2012) 1199 - 1211. doi:10.1007/s00421-005-0050-3

Korrespondenzadresse:

Nadine Wachsmuth

Abt. Sportmedizin/Sportphysiologie

Universitätsstraße 30

95440 Bayreuth

E-Mail: Nadine.Wachsmuth@uni-bayreuth.de