

Schmidt W¹, Wachsmuth N¹, Völzke C¹, Pöttgen K²

Hämoglobinmenge nach Langzeitbelastungen im Triathlon

Haemoglobin Mass after Long Distance Triathlon Competition

¹Abteilung Sportmedizin/Sportphysiologie, Universität Bayreuth

²B.A.D. Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH, Darmstadt

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Das Ziel einer jeden Blutmanipulation ist die Erhöhung der Hämoglobinmenge (Hb-Menge) und somit der O₂-Transportfähigkeit des Blutes. Eine regelmäßige Kontrolle der Hb-Menge wird daher für den Anti-Dopingkampf intensiv diskutiert. Es sollte unter Wettkampfbedingungen überprüft werden, ob die Bestimmung der Hb-Menge vor und nach einem Ironman-Wettkampf möglich und sinnvoll ist. **Methoden:** Bei einem 33-jährigen Weltklassesportler wurde am identischen Veranstaltungsort im Abstand von einem Jahr vor und unmittelbar nach einem Ironman-Wettkampf, der in einer Zeit von knapp über, bzw. knapp unter 8.00 Stunden absolviert wurde, die Hb-Menge mittels der optimierten CO-Rückatmungsmethode bestimmt. **Ergebnisse:** Der durchschnittliche Wert (\pm Standardabweichung) lag mit $14,1 \pm 0,3$ g/kg deutlich unter dem Mittelwert (\pm SD) anderer professioneller Triathleten ($15,0 \pm 0,8$ g/kg), die ebenfalls an einem Ironman teilgenommen hatten. Die Hb-Menge zwischen beiden Jahren unterschied sich nicht (im Mittel 977 g gegenüber 980 g). Während des Wettkampfes änderte sie sich lediglich um 18 g, bzw. um 9 g. **Schlussfolgerungen:** 1. Die Hb-Menge des untersuchten Spitzenathleten ist über einen langen Zeitraum ausgesprochen konstant und wird auch durch einen hochintensiven Wettkampf nicht verändert, so dass eine Blutmanipulation sehr unwahrscheinlich ist. 2. Die im Vergleich zu anderen Spitzenathleten relativ niedrige Hb-Menge steht absoluten Weltklasseleistungen nicht entgegen. 3. Die Anwendung der CO-Rückatmungsmethode zwei Tage vor dem Wettkampf scheint zumindest bei diesem Athleten keine Leistungsminderung zu verursachen.

Schlüsselwörter: Blutmanipulation, CO-Rückatmung, Ironman, biologischer Blutpass.

SUMMARY

Introduction: The purpose of all kinds of blood manipulation is the increase of haemoglobin mass (Hb-mass) and thereby the improvement of blood oxygen transport. A regular control of Hb-mass is therefore intensively discussed in the anti-doping fight. The aim of this study was to check the feasibility of Hb-mass measurements under the conditions of Ironman competitions. **Methods:** Hb-mass of a male elite triathlete (33 yrs) was determined using the optimized CO-rebreathing technique before and immediately after two Ironman competitions which were performed within one year at the identical place. **Results:** The competition time was in the first year slightly above and in the second year slightly below 8.00 h, respectively. Mean Hb-mass (\pm standard deviation) of all measurements was 14.1 ± 0.3 g/kg which was lower than the mean value (\pm SD) of professional triathletes (15.0 ± 0.8 g/kg) also participating in Ironman competitions. Hb-mass did not differ between the two years (977 g vs. 980 g) and did not change during the Ironman competitions (differences of 18 g and 9 g, respectively). **Conclusions:** 1. The Hb-mass of the examined elite athlete was very constant over a long time period and was not influenced by long-lasting high intensity competitions. A blood manipulation was therefore unlikely in this athlete. 2. The relatively low Hb-mass observed in this athlete was not a hindrance for world class performances. 3. The application of the CO-rebreathing method two days before the competition did not seem to exert negative effects on performance in this athlete.

Key Words: Blood manipulation, CO-rebreathing, ironman, biological blood pass.

EINLEITUNG

Die Leistungsfähigkeit von Spitzen-Ausdauersportlern wird entscheidend von der über den Kreislauf zugeführten Menge an Sauerstoff und somit von den, an diesem Prozess beteiligten Strukturen und Funktionen limitiert, wobei die Gesamtmenge an Hämoglobin (Hb-Menge) eine Schlüsselrolle einnimmt. Ein Gramm Hämoglobin ist dabei für die Aufnahme von 4 ml/min O₂ im Ausbelastungsbereich erforderlich (14). Spitzenausdauerathleten besitzen daher im Mittel um ca. 40%, in Einzelfällen auch deutlich mehr Hämoglobin als untrainierte Personen (5). Die Hb-Menge eines erwachsenen Athleten ist recht konstant und schwankt, wenn keine massiven Einflussfaktoren, wie Höhenaufenthalt oder schwerwiegende Erkrankungen/Verletzungen vorliegen, nur um ca. 3% im Verlauf eines Trainingsjahres (2, 10, 15).

Da eine zusätzliche Erhöhung der Hb-Menge mit physiologischen Mitteln nur schwer möglich ist, Blutmanipulationen dies

aber relativ einfach ermöglichen, sind sowohl die Einnahme erythropoetisch wirksamer Substanzen, als auch die Durchführung von Bluttransfusionen in einigen Sportarten weit verbreitet. So konnten Sottas et al. (16) kürzlich im Bereich der leichtathletischen Ausdauerdisziplinen für ein nicht näher bezeichnetes Land eine Dopingprävalenz bei ca. 78% der Athleten aufzeigen. Viele Sportler glauben daher, dass ohne artifizielle Erhöhungen der Hb-Menge keine absoluten Spitzenleistungen möglich sind.

Wenngleich die direkten Nachweismethoden in den letzten Jahren deutlich verbessert wurden, können doch einige Substanzen aus den Gruppen der Erythropoietin (EPO) Biosimilars, EPO-Mimetika und HIF-1 α -Stabilisatoren sowie Dopingmethoden (autologes Blutdoping, low dose rhEPO Anwendung) noch nicht erkannt werden (6, 7). Einige Verbände nutzen daher seit mehreren Jahren indirekte Methoden zum Screenen von Manipulationen vor Wettkämpfen. Bei Überschreiten bestimmter Grenzwerte für Hämoglobinkonzentration ([Hb]) oder Hämatokrit (Hk) können

dann Schutzsperrern ausgesprochen werden. Seit dem 1. Dezember 2009 sind indirekte Methoden, d.h. statistische Auswertungen der hämatologischen Größen Hämoglobinkonzentration, Hämatokrit, Retikulozyten und spezifischer Erythrozytenindices von der WADA in Form des Blutpasses als Nachweis anerkannt (18,17). Des Weiteren werden in dem Blutpass die berechneten Parameter „OFF-score“ ($Hb \text{ (g/L)} - 60 * \sqrt{\text{Retikulozyten (\%)}}$) und „ABPS-score“ berücksichtigt, wobei letzterer bis zu 12 unterschiedliche erythrozytäre Größen berücksichtigt.

Dennoch können gewollte oder ungewollte Verfälschungen von [Hb] und Hk, z.B. infolge von Hämodilution oder Hämokonzentration, nicht vollständig ausgeschlossen werden. Es wäre daher äußerst vorteilhaft, zusätzlich zu den schon verwendeten Messgrößen auch den Zielparameter einer jeden Blutmanipulation, d.h. die Hb-Menge, routinemäßig zu bestimmen, was mittels Kohlenmonoxid (CO) Rückatmung möglich wäre (8,14). Nicht geklärt ist allerdings, ob der Test auch nach sehr langen Ausdauerbelastungen, wie einem Ultratriathlon einsetzbar ist. Mögliche methodische Probleme, z.B. veränderte CO-Aufnahme und Verteilungskinetiken im Blut, oder biologische Einwirkungen, wie eine intravasale Hämolyse, gastrointestinale Blutverluste oder eine Erythrozyten Ausschwemmung aus der Milz, müssten abgeklärt werden. Als ein möglicher Nachteil dieser Methode wird von einigen Athleten auch eine Beeinträchtigung des Sauerstofftransports im Blut als Folge der Einatmung von Kohlenmonoxid befürchtet.

Die hier vorgestellte Fallstudie eines Weltklasse-Triathleten kann Informationen zu allen drei o.g. Bereichen liefern: 1. Inwieweit eine sehr hohe Hb-Menge bei einer Spitzenleistung vorliegen muss, 2. wie sich die Hb-Menge im Verlauf von zwei aufeinander folgenden Jahren sowie während eines Ironman-Wettkampfes verändert, und 3. ob durch den Test eine offensichtliche Leistungsminde- rung eintritt.

METHODIK

Auch aus dem Umfeld des Triathlons wurden in den vergangenen Jahren Blutmanipulationen, zumeist mit rhEPO, bekannt. Einige professionelle Teams haben daher Anti-Doping Programme installiert und auch die Veranstalter großer Sportevents lassen bei ihren professionellen Athleten gezielte Dopingkontrollen durchführen.

In Zusammenarbeit mit dem Veranstalter in Frankfurt war es uns möglich, beim jeweils im Juli stattfindenden Ironman in zwei aufeinander folgenden Jahren jeweils einige Tage ($3,0 \pm 1,9$) vor und direkt nach Zielankunft bei ca. 30 Athleten die Hb-Menge zu untersuchen. Ziel war es, das Verhalten dieser Größe nach einer extremen Belastung zu dokumentieren und zu evaluieren, ob der CO-Rückatmungstest zur Abschätzung von Blutmanipulationen im Spitzensport angewandt werden kann. Dabei postulierten wir, dass bei nicht manipulierenden Athleten die Hb-Menge konstant bleiben sollte, dass aber eine vor dem Wettkampf eventuell durchgeführte Bluttransfusion mit einem Anstieg von ~ 60 g pro Bluteinheit auffallen würde (8).

Die Gesamtstudie war von der lokalen Ethikkommission genehmigt und die Athleten hatten nach vorheriger mündlicher und schriftlicher Information ihr Einverständnis gegeben.

An dieser Stelle sollen exemplarisch die Daten eines der erfolgreichsten Athleten dargestellt werden, der den Wettkampf einmal in einer Zeit von knapp oberhalb von 8.00 Stunden und einmal knapp

unter 8.00 Stunden beendete. Das Alter betrug zur Zeit des ersten Wettkampfes 33 Jahre; die anthropometrischen Daten des Athleten waren: Größe 182cm, Gewicht vor beiden Wettkämpfen jeweils 70kg, entsprechend einem BMI von 21,2. Eine Bestimmung der lean body mass wurde nicht vorgenommen. Die VO_{2max} wurde im Rahmen dieser Untersuchungen nicht bestimmt, lag nach Angaben des Athleten jedoch einige Wochen vor dem zweiten Wettkampf bei ca. 70ml/kg/min (der Test wurde bei 67ml/kg/min und einer Herzfrequenz von 176S/min abgebrochen; die maximale Herzfrequenz des Athleten beträgt 181S/min). Die Voruntersuchungen fanden im ersten Jahr 5 Tage, im zweiten Jahr 2 Tage vor dem Wettkampf statt. Nach dem Wettkampf erfolgte die Untersuchung ca. 2 Stunden, bzw. 4 Stunden nach Zieleinlauf, wobei die Verzögerung durch Presse- und Fernsehinterviews bedingt war und der Athlet durchgängig unter Beobachtung stand.

Die Hb-Menge wurde mit der optimierten CO-Rückatmungsmethode bestimmt, das Blutvolumen und die Teilvolumina wurden anschließend mittels Hb-Menge, Hämoglobinkonzentration und Hämatokrit berechnet (siehe 13,9).

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt. Die Hb-Menge lag über alle Messungen gemittelt mit $14,1 \pm 0,3$ g/kg im unteren Bereich der untersuchten Gruppe der professionellen Triathleten derselben Studie ($15,0 \pm 0,8$ g/kg, $n=10$). Zwischen den beiden Wettkampffahren konnte kein Unterschied in der Hb-Menge (Differenz vor beiden Wettkämpfen: 7g, entsprechend 1%) und keine substanziale Differenz der Blutvolumina festgestellt werden. Ebenso waren die Werte der Hb-Menge vor und nach dem jeweiligen Ironman nahezu identisch (Differenz: im Jahr 2008: 18g (2%), im Jahr 2009: 9g (1%)). Das Blutvolumen, bzw. Plasmavolumen unterschied sich vor und nach dem Wettkampf nicht, was eine vollständige Rehydratation anzeigt.

DISKUSSION

Die totale Hb-Menge, relativiert auf das Körpergewicht, lag in einer Größenordnung, in der Spitzenleistungen erbracht werden können. Sie entsprach aber nicht der Hb-Menge der Leistungsstärksten Athleten derselben Studie (im Mittel 15,0g/kg), in der der Maximalwert bei 16,4g/kg lag (15). Auch in anderen Studien werden durchweg höhere Mittelwerte für Spitzenathleten angegeben (bei Läufern: 14,8g/kg (5); bei Radrennfahrern 14,7g/kg (Bahn (3)) und 15,8g/kg (Straße (12))). Die vom Athleten berichtete VO_{2max} (~ 70 ml/kg/min) passt gut zu der gemessenen Hb-Menge, nach der eine VO_{2max} von ~ 71 ml/kg/min erwartet werden kann (berechnet nach (14)). Diese Daten legen nahe, dass für Weltklasseleistungen nicht unbedingt eine sehr hohe VO_{2max} vorliegen muss, wie dies vor kurzem schon für Kenianische Läufer gezeigt wurde, die bei deutlich besserer Laufleistung keine Unterschiede in Hb-Menge und VO_{2max} gegenüber Deutschen Spitzenläufern zeigten (11). Wie für die kenianischen Läufer festgestellt, liegt es auch in diesem Fall nahe, dass eine ausgezeichnete Ökonomie für die herausragende Wettkampfleistung verantwortlich ist. Ob diese exzellente Ökonomie auf biomechanischen oder metabolischen Gründen beruht, kann hier nicht beantwortet werden.

Tabelle 1: Gesamthämoglobinmenge, Blutvolumen und die Teilvolumina des Blutes in 2 Jahren bei einem Triathleten vor und unmittelbar nach zwei Ironman-Wettkämpfen. Hb=Hämoglobin, EV=Erythrozytenvolumen, BV=Blutvolumen, PV=Plasmavolumen.

	Hb-Menge (g)	EV (ml)	BV (ml)	PV (ml)	rel. Hb-Menge (g/kg)	rel. EV (ml/kg)	rel. BV (ml/kg)	rel. PV (ml/kg)
Ironman I								
vor	968	2989	7468	4479	13,8	43	107	64
nach	986	3082	7699	4617	14,5	45	113	68
Mittelwert	977	3036	7584	4548	14,2	44	110	66
Differenz	18	92	230	138	0,7	3	7	4
Ironman II								
vor	975	2950	7479	4528	13,9	42	107	65
nach	984	2884	7455	4571	14,1	41	107	65
Mittelwert	980	2917	7467	4550	14,0	42	107	65
Differenz	9	-66	-24	43	0,2	-1	0	1

Das zweite herausragende Ergebnis liegt in der Konstanz der absoluten Hämoglobinmenge, sowohl im Vergleich der beiden Wettkampffahre, als auch vor und nach den jeweiligen Wettkämpfen. Dabei könnten die geringfügigen Unterschiede vollständig durch das bei jeder Messmethode vorliegende methodische „Rauschen“ erklärt werden, das bei uns, wie bei den meisten anderen Gruppen, die die CO-Rückatmungsmethode anwenden, durch einen typischen Messfehler von ca. 1,5% charakterisiert wird (4, 10). Dieses Einzelergebnis bestätigt also die bei Spitzensportlern über längere Zeiträume nur geringe Oszillation der Hb-Menge, wie es schon von verschiedenen Autoren (2, 10, 15) berichtet wurde. Ebenso kann hier nach einem einzelnen sehr langen und intensiven Wettkampf eine unveränderte Hb-Menge aufgezeigt werden, was den Daten von (1) entspricht, die nach 6-tägigen Radetappenrennen keinerlei Veränderungen der Hb-Menge fanden.

Ein die Hb-Menge beeinflussender Faktor, wie z.B. eine Bluttransfusion, die zu einem Anstieg von ca. 60g (~7%) geführt hätte, kann somit für den Zeitpunkt zwischen den beiden Messungen vor und nach den jeweiligen Wettkämpfen mit einer großen Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Ebenso deutet auch die „relativ geringe“ Hb-Menge auf einen hinsichtlich Blutmanipulationen sauberen Wettkampf hin.

Das dritte wichtige Ergebnis, d.h. die exzellente Leistung trotz der 5, bzw. 2 Tage vor dem Wettkampf durchgeführten CO-Rückatmungsprozedur, zeigt zumindest für dieses Testschema keine offensichtlichen negativen Auswirkungen. Da die Halbwertszeit des Carboxy-Hämoglobins (COHb) unter Ruhebedingungen bei ~2h und nach Trainingsbelastungen bei ~90min liegt, hat sich die COHb-Konzentration einen Tag nach dem Test vollständig normalisiert (13), so dass eine Beeinträchtigung der Leistung zwei Tage nach einem CO-Rückatmungstest auch nicht zu erwarten ist.

Die vorliegenden Daten zeigen zumindest für diesen Einzelfall, dass die Hb-Mengen-Bestimmung vor und nach Ironman-Wettkämpfen eingesetzt werden kann und zu keiner Irritation oder Leistungsminderung der Athleten führt. Sie kann daher eine wertvolle Ergänzung derjenigen indirekten Parameter darstellen, die schon für den biologischen Blutpass in einigen Ausdauerdisziplinen genutzt werden. Darüber hinaus können wir zeigen, dass internationale Spitzenleistungen von Athleten erbracht werden können, die keine exzessive Hämoglobinmenge besitzen und die folglich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit keine Blutmanipulation durchgeführt haben. Diese Ergebnisse bestätigen somit unsere o.g. Hy-

pothesen hinsichtlich Reproduzierbarkeit der Hb-Menge und der Möglichkeit der Testanwendung vor einem Wettkampf. Um allgemeine Aussagen treffen zu können, müssen natürlich weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Die Gesamtstudie wurde von der World-Anti-Doping-Agency (WADA grant no. 05A5FS) finanziell gefördert. Wir danken dem hier vorgestellten Athleten für die Bereitschaft, seine Daten an dieser Stelle veröffentlichen zu können. Ebenso danken wir dem Veranstalter des Ironman Europe für die Bereitstellung der Infrastruktur zur Durchführung der Studie.

LITERATUR

1. GARVICAN LA, EASTWOOD A, MARTIN DT, ROSS MLR, GRIPPER A, GORE CJ: Stability of hemoglobin mass during a 6-Day UCI ProTour cycling race. *Clin J Sport Med* 20 (2010) 200-204.
2. GARVICAN LA, MARTIN DT, McDONALD W, GORE CJ: Seasonal variation of haemoglobin mass in internationally competitive female road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 109 (2010) 221-231.
3. GORE CJ, CRAIG N, HAHN A, RICE A, BOURDON P, LAWRENCE S, WAISH C, STANEF T, BARNES P, PARISOTTO R, MARTIN D, PYNE D: Altitude training at 2690m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO₂max in world champion track cyclist. *J Sci Med Sport* 1 (1998) 156-170.
4. GORE CJ, BOURDON PC, WOOLFORD SM, OSTLER LM, EASTWOOD A, SCROOP GC: Time and sample site dependency of the optimized CO-Rebreathing method. *Med Sci Sports Exerc* 38 (2006) 1187-1193.
5. HEINICKE K, WOLFAHRT B, WINCHENBACH P, BIERMANN B, SCHMID A, HUBER G, FRIEDMANN B, SCHMIDT W: Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *Int J Sports Med* 22 (2001) 504-512.
6. JELKMANN W: Novel erythropoietic agents: a threat to sportsmanship. *Medicina Sportiva* 11 (2007) 32-42.
7. JELKMANN W: Neue Entwicklungen bei den Erythropoietinen. Verbotene Methode - Erhöhung des Sauerstofftransfers. Herausgegeben vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bonn, 2008, 55-63.
8. POTTGIESSER T, UMHAU M, AHLGRIM C, RUTHARDT S, ROECKER K, SCHUMACHER YO: Hb mass measurement suitable to screen for illicit autologous blood transfusions. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1748-1756.
9. PROMMER N, SCHMIDT W: Loss of CO from the intravascular bed and its impact on the optimised CO-rebreathing method. *Eur J Appl Physiol* 100 (2007) 383-391.

10. PROMMER N, SOTTAS PE, SCHOCH C, SCHUMACHER YO, SCHMIDT W: Total hemoglobin mass - A new parameter to detect blood doping? *Med Sci Sports Exerc* 40 (2008) 2112-2118.
11. 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.
12. SCHMIDT W, HEINICKE K, ROJAS J, GOMEZ JM, SERRATO M, MORA M, WOLFARTH B, SCHMID A, KEUL J: Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 1934-1940.
13. SCHMIDT W, PROMMER N: The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *Eur J Appl Physiol* 95 (2005) 486-495.
14. SCHMIDT, W UND PROMMER, N: Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO_2 max. *Exerc Sport Sci Rev* 38 (2010) 68-75.
15. SCHMIDT W, VÖLZKE C, WACHSMUTH N, WOLFARTH B, SCHMIDT-TRUCKSÄSS A, STEINACKER J, TREFF G, GUNDERSEN J, EASTWOOD A, PROMMER N: Variation of hemoglobin mass in elite Endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 43 (5 Supplement) (2011) 437.
16. SOTTAS, PE, ROBINSON, N, FISCHETTO, G, DOLLE, G, ALONSO, JM, SAUGY, M: Prevalence of blood doping in samples collected from elite track and field athletes. *Clin Chem* 57 (2011) 762-769.
17. SOTTAS, PE, ROBINSON, N, SAUGY, M: The athlete's biological passport and indirect markers of blood doping. in: Thieme D, Hemmersbach P (Hrsg.): *Doping in Sports: Biochemical Principles, Effects and Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 305-326.
18. WORLD ANTI-DOPING AGENCY: The World Anti-Doping Code Athlete Biological Passport Operating Guidelines and Compilation of Required Elements. (2010) http://www.wada-ama.org/Documents/Science_Medicine/Athlete_Biological_Passport/WADA_AthletePassport_OperatingGuidelines_FINAL_EN_2.1.pdf.

Korrespondenzadresse:**Prof. Dr. Walter Schmidt****Abt. Sportmedizin/Sportphysiologie****Universität Bayreuth****95440 Bayreuth****E-Mail: walter.schmidt@uni-bayreuth.de**