

Prommer N, Schmidt W

Hämoglobinmenge und Sport

Universität Bayreuth, Abteilung Sportmedizin/
Sportphysiologie, Bayreuth

ZUSAMMENFASSUNG

Die totale Hämoglobinmenge ist eine entscheidende die Ausdauerleistungsfähigkeit bestimmende Größe, die wahrscheinlich hauptsächlich genetisch prädisponiert ist. Durch Training oder Höhengraufenthalt kann sie nur in geringem Ausmaß, durch Blutmanipulationen jedoch erheblich gesteigert werden. Die bei Elite-Ausdauer Sportlern vorliegenden Werte sind 40-50% höher als bei Untrainierten und betragen für Frauen ~12g/kg und für Männer ~15g/kg. Eine routinemäßige Bestimmung der totalen Hämoglobinmenge bietet sich zur Kontrolle von Trainingsmaßnahmen, aber auch zur Aufdeckung von Blutmanipulationen an. In der sportmedizinischen Diagnostik können über ihre Kenntnis wertvolle Aufschlüsse bei Störungen des erythropoetischen Systems unterschiedlicher Genese erzielt werden.

SUMMARY

Total hemoglobin mass decisively determines endurance performance. Its magnitude is mainly due to genetic predisposition. It can be slightly increased by training at sea level or altitude, whereas blood doping yields considerable changes. Elite endurance athletes show 40-50% higher values than untrained subjects and reach ~12g/kg in women and ~15g/kg in men. Routine determination of total haemoglobin mass facilitates quantifying the effect of training measures and helps detecting blood doping. In sports-medical diagnostics, the knowledge of total haemoglobin mass can provide important information about impairments of the erythropoietic system of various origins.

EINLEITUNG

Die Bestimmung der Hämoglobinkonzentration ([Hb]) ist im klinischen Alltag und auch in der Sportmedizin nicht mehr wegzudenken. Als Konzentrationsgröße gibt sie jedoch keine direkte Auskunft über die tatsächlich vorhandene Hämoglobin- oder Erythrozytenmenge und kann zu Fehldiagnosen, wie z.B. bei Verdünnungsanämien, oft auch als Sportleranämien bezeichnet, führen. Die totale Hämoglobinmenge (tHb-Menge) dahingegen reflektiert die absolut verfügbare Menge des sich im Körper befindlichen Sauerstofftransportierenden Moleküls und erlaubt daher im Bereich des Sports direkte quantitative Aussagen über eine wichtige Komponente der aeroben Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus lässt sich mittels der tHb-Menge und der [Hb] das absolute Blutvolumen berechnen. Die tHb-Menge hängt von der genetischen Prädisposition, den anthropometrischen Verhältnissen und dem Trainingszustand ab und ist daher individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt. Bei gesunden Männern liegt sie zwischen 600 - 1400g, wohingegen Frauen Werte zwischen 400 - 900g aufweisen. Eine hohe tHb-Menge ermöglicht, zusammen mit einem hohen Herzminutenvolumen, einen hohen Sauerstofftransport, der wiederum für eine gute Ausdauerleistungsfähigkeit Voraussetzung ist. Eine Steigerung erfolgt durch klassisches Ausdauertraining und Höhentrainingsmaßnahmen, sehr viel deutlicher jedoch durch Blutmanipulationen

BEDEUTUNG DER tHb-MENGE IM AUSDAUERSPORT

Aus Querschnittstudien ist bekannt, dass professionelle Ausdauerathleten ca. 50% höhere Hämoglobinmengen besitzen als Untrainierte (Spitzensportler ca. 15g/kg (m) und 12g/kg (w), Untrainierte 10g/kg (m) und 9g/kg (w) (5)). In der Regel sind solch hohe Werte physiologischen Ursprungs; teilweise werden sie aber auch durch Manipulation erreicht oder überschritten.

Unabhängig von Alter und Geschlecht besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen der absoluten, bzw. relativen VO_{2max} und der tHb-Menge (siehe Abb. 1). Dabei geht die Veränderung um 1g Hämoglobin mit einer Änderung der VO_{2max} um ca. 4ml/min einher. Eine kurzfristige Verringerung der tHb-Menge bspw. durch eine Blutspende oder eine Erhöhung durch Blutmanipulation verändert die VO_{2max} um ca. 3.5ml/min pro Gramm Hämoglobin (3). Dieser klare Zusammenhang zwischen der Ausdauerleistungsfähigkeit und der gesamten Menge an zirkulierendem Hämoglobin wirft die Frage auf, durch welche Maßnahmen und in welchem Umfang die tHb-Menge gesteigert werden kann.

BESTIMMUNG DER tHb-MENGE

Die exakte Bestimmung war bis vor kurzem routinemäßig nicht möglich, da entweder radioaktive Marker in die Blutbahn eingebracht werden mussten, was für einen gesunden Sportler nicht angemessen ist, oder aber das Untersuchungsverfahren sehr kompliziert und zeitaufwändig war. Mit der Einführung der „optimierten CO-Rückatmungsmethode“ kann die tHb-Menge nun innerhalb von 15min minimal-invasiv und exakt quantifiziert werden (4). Über die Analyse der COHb-Konzentration in kapillärem oder venösem Blut vor und nach einer 2-minütigen Rückatemphase eines Kohlenmonoxid-Sauerstoffgemischs anhand eines speziell dafür entwickelten Spirometers ist die Bestimmung mit einer Genauigkeit von 1.4% (Typischer Fehler) möglich. Die hierbei applizierte Menge an Kohlenmonoxid ist äußerst gering (bei Ausdauerathleten 1ml/kg Körpergewicht) und der dadurch induzierte Anstieg der COHb-Konzentration liegt unterhalb des Effektes der in Deutschland gesetzlich vorgeschriebenen maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen für CO (MAK-Grenzen). Die Halbwertszeit des entstandenen COHb liegt bei 2h, so dass Bestimmungen bis ca. 12h vor einem Wettkampf ohne Einschränkung der Leistungsfähigkeit möglich sind.

EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE tHb-MENGE

Ausdauertraining

Ausdauertraining kann die tHb-Menge bei Hobbysportlern oder Untrainierten langsam und in einem geringen Ausmaß steigern. Eine Längsschnittstudie, in der Hobbyathleten 9 Monate auf einen Marathon vorbereitet wurden, zeigte einen Anstieg von 932g auf 992g (+6.4%), welcher mit einer Steigerung der VO_{2max} um 250ml/min, entsprechend 4.2ml/min pro Gramm gebildetem Hämoglobin einherging (5). Bereits austrainierte Athleten weisen im Erwachsenenalter jedoch keine größeren Veränderungen der tHb-Menge auf; sie oszilliert z.B. bei Triathleten und Radrennfahrern im Verlauf eines Jahres unabhängig von der Wettkampf- oder Regenerationsphase nur um $4,6 \pm 1,5\%$ (2). Diese hohe Stabilität findet sich ebenso bei Athleten, die im Abstand von mehreren Jahren (durchschnittlich 9 Jahre) während und nach ihrer aktiven Karriere untersucht wurden (5), so dass zu vermuten ist, dass eine genetische Prädisposition für eine hohe Blutmenge

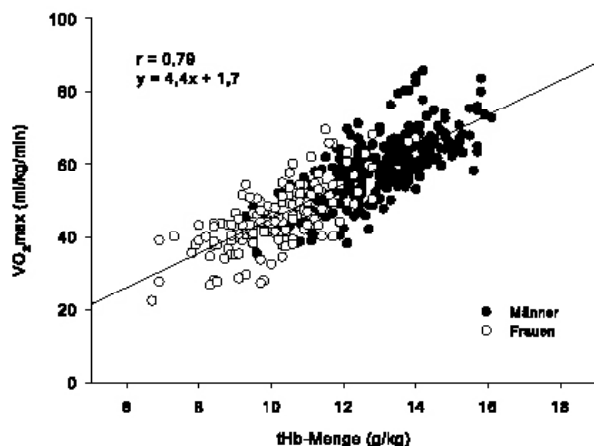


Abbildung 1: Abhängigkeit der maximalen O_2 -Aufnahme (VO_{2max}) von der totalen Hämoglobinmenge des Körpers (tHb-Menge). Dargestellt sind die auf das Körpergewicht bezogenen relativen Werte (tHb-Menge in g/kg), wodurch Einflüsse der Körperdimensionen eliminiert werden.

bereits vorliegen muss oder aber ein frühzeitiges Ausdauertraining im Kindesalter die Ausbildung einer hohen tHb-Menge fördert.

Höhentraining

Von Höhenbewohnern ist bekannt, dass sie aufgrund der hypoxischen Umgebungsbedingungen eine verstärkte erythropoietische Aktivität aufweisen und daher in Abhängigkeit von der vorliegenden Höhe (auf 2600m +11%) und durch zusätzliches Ausdauertraining (auf 2600m bis zu 60%) mehr Hämoglobin besitzen als Bewohner von Meereshöhe (5). Demnach galt das Höhentraining bislang als das Mittel der Wahl zu Erhöhung der tHb-Menge und Steigerung der aeroben Leistungsfähigkeit im Flachland. Es war jedoch strittig, welches der verschiedenen Höhenkonzepte (Klassisches Höhentraining, Live High - Train Low, Live Low - Train High), die beste Wirkung auf die Blutbildung erzielt. Eine Metaanalyse verschiedener Höhentrainingstudien zeigt, dass die tHb-Menge um ~7% gesteigert werden kann, wenn die Aufenthaltsdauer oberhalb von 2000m mindestens 14h/Tag über ca. 3 Wochen beträgt (5). Liegt die tägliche Hypoxieexposition darunter, wie bspw. bei dem Konzept Live Low - Train High oder auch in der Regel bei der Nutzung von Hypoxiezelten, so ist kein Effekt auf die Blutbildung vorhanden. Bei einem Athleten mit einer tHb-Menge von bspw. 1000g entspricht der Zugewinn von 7% durch ein Höhentraining einer Steigerung um 70g, die demnach mit einer Steigerung der VO_{2max} um ca. 245ml/min einhergeht (Berechnung mit dem bei kurzfristigen tHb-Veränderungen durch Blutverlust und Doping ermittelten Faktor: 1g Hb entspricht 3.5ml O_2 /min).

Blutmanipulation

Blutmanipulationen sind von einigen Ausdauersportlern genutzte Möglichkeiten, die tHb-Menge kurzfristig zu erhöhen. Dabei vermehrt eine 24-tägige EPO-Applikation die tHb-Menge um 12% (1) und liegt damit deutlich über der physiologischen Steigerungsmöglichkeit (z.B. durch Höhentraining). Effekte in ähnlicher Größenordnung erzielen Fremd- oder Eigenbluttransfusionen von zwei Einheiten (je 450ml), die zu einer effektiven Anhebung der tHb-Menge um ca. 120g führen und damit eine Steigerung der VO_{2max} um ca. 420ml/min erreichen (Faktor zur Berechnung s.o.). Diese Rechenbeispiele machen deutlich, dass eine auf physiologischen Wegen erzielte Erhöhung der tHb-Menge in

Ihrem Ausmaß unterhalb derer liegt, die durch ein manipulatives Vorgehen erreicht werden kann.

EINSATZ DER tHb-MENGEN-BESTIMMUNG IN SPORTMEDIZIN UND TRAININGSWISSENSCHAFT

In der Praxis wird die Bestimmung der tHb-Menge zur Beurteilung der Auswirkung von Höhentrainingsmaßnahmen bei Spitzenathleten und ebenso bei der Talentsichtung als ein elementares diagnostisches Verfahren empfohlen. Bei Breitensportlern bietet sich die Bestimmung auch zur Dokumentation des Trainingserfolgs im Flachland an.

Darüber hinaus kann bei verletzungs- oder krankheitsbedingten Störungen des blutbildenden Systems die Regeneration kontrolliert werden. Hinsichtlich der Diagnose des Eisenhaushaltes stehen zwar zuverlässige Marker (Ferritin und sTFR) zur Verfügung; über die tHb-Menge kann aber zusätzlich die Auswirkung eines manifesten Eisenmangels bzw. dessen Behebung genauer quantifiziert werden.

EINSATZ DER tHb-MENGEN-BESTIMMUNG ZUR AUFDECKUNG VON BLUTMANIPULATIONEN

Ziel des Einsatzes der tHb-Mengen-Bestimmung im Anti-Doping-Kampf ist es, durch ein regelmäßiges Screening Veränderungen zu registrieren und damit unabhängig von der missbräuchlich zugegebenen Substanz oder verwendeten Methode jegliche Art von Blutmanipulation aufzudecken (3). Die tHb-Menge kann in diesem Zusammenhang zusammen mit anderen Blutgrößen in den so genannten „biologischen Passport“ eines Athleten einfließen und über intelligente statistische Modelle (z.B. Bayesian Model oder 3rd Generation Model) eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit einer Manipulation liefern.

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

LITERATUR

1. PARISOTTO R, GORE CJ, EMSLIE KR, ASHENDEN MJ, BRUGNARA C, HOWE C, MARTIN DT, TROUT GJ: A novel method utilizing markers of altered erythropoiesis for the detection of recombinant human erythropoietin abuse in athletes. *Haematologica* 85 (2000) 564-572.
2. PROMMER N, SOTTAS P-E, SCHOCH C, SCHUMACHER YO, SCHMIDT W: Total hemoglobin mass - A new parameter to detect blood doping. *Med Sci Sport Exerc* 40 (2008) 2112-2118.
3. SCHMIDT W, HEINICKE K: Screening der totalen Hämoglobinmenge bei Triathleten und professionellen Radrennfahrern. *Dtsch Z Sportmed* 59 (2008) 16-22.
4. 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.
5. SCHMIDT W, PROMMER N: Effects of various training modalities on blood volume. *Scan J Med Sci Sports* 18 (2008) 59-71.

Korrespondenzadresse:

Dr. Nicole Prommer
Abteilung Sportmedizin/Sportphysiologie
Universität Bayreuth
95447 Bayreuth
E-Mail: nicole.prommer@uni-bayreuth.de