

W. Schmidt

Hämatokrit

Abteilung Sportmedizin/Sportphysiologie,
Universität Bayreuth

Zusammenfassung

Der Hämatokrit kennzeichnet den Anteil der Erythrozyten an einer Blutprobe und mit Einschränkungen auch am Gesamtblut. Er beträgt beim Mann ca. 45% und bei der Frau 40% mit einer noch als normal geltenden relativ hohen Schwankungsbreite. Er wird sowohl durch Veränderungen des Erythrozyten- als auch des Plasmaanteils beeinflusst und kennzeichnet somit anämische und polyzythämische Zustände sowie De- und Hyperhydratationen. Hohe Hämatokrit-Werte stellen einen Risikofaktor für Thromboembolien dar. Bei Ausdauersportlern werden tendenziell leicht erniedrigte Werte gefunden, was auf einer stärkeren Zunahme des Plasma- als des Erythrozytenvolumens beruht. Bei Blut- und EPO-Doping steigt der Hämatokrit aufgrund der selektiven Erhöhung des Erythrozytenvolumens an, ohne jedoch als Dopingnachweis gelten zu können. Mit der Einführung von Hämatokrit-Obergrenzen in einigen Ausdauerdisziplinen, die dem Schutz der Gesundheit des Sportlers dienen und bei deren Überschreiten der Sportler vorübergehend von der Ausübung seiner Sportart suspendiert wird, wurde versucht, Dopingpraktiken einzudämmen. Da jedoch auch ohne Dopingmaßnahmen individuell hohe Hämatokritwerte auftreten können und der Hämatokrit auch durch Erhöhung des Plasmavolumens manipuliert werden kann, sind die bestehenden Grenzwerte nicht unumstritten. Direkte Messungen der Gesamtkörperhämoglobinmenge können hier in Zukunft weiterhelfen.

Definition und Bestimmungsmethoden

Der Hämatokrit (Hkt) ist definiert als der prozentuale Anteil der Blutzellen am Gesamtblut und besteht zu etwa 99% aus Erythrozyten. Prinzipiell kann er durch zwei unterschiedliche Methoden bestimmt werden:

Durch Ultrazentrifugation einer mit Blut gefüllten Kapillare: Hierbei sammeln sich die zellulären Bestandteile des Blutes im unteren Bereich an und können mit der gesamten Blutsäule in Beziehung gesetzt werden. Da in der Erythrozytensäule noch ca. 2% Plasmaanteile eingeschlossen sind, muss der abgelesene Hämatokritwert um diesen Faktor korrigiert werden.

Durch Bestimmung in einem Zellcounter: Hierbei wird der Hämatokrit über das Produkt der Erythrozytenvolumina (MCV) und der Erythrozytenzahl ermittelt.

Der im gemischt-venösen Blut gemessene Hämatokrit ist beim gesunden Menschen unter normalen Umständen um ca. 10% höher als der Anteil des Erythrozytenvolumens am gesamten Blutvolumen. Die Ursache liegt insbesondere im Phänomen des „Plasma-Skimmings“, welches eine geringere Erythrozytenkonzentration an der Gefäßwand als im Gefäßzentrum und somit eine generell geringe Erythrozytenkonzentration in kleinen Gefäßen beschreibt. Der Quotient $Hkt_{gesamt}/Hkt_{venös}$ beträgt normalerweise $0,91 \pm 0,03$ (5). Bei schwerer Anämie sowie bei Aufenthalt in größeren Höhen kann der Wert bis auf 1,0 oder auch darüber ansteigen und bei kongestiver Herzinsuffizienz auf unter 0,91 abfallen.

Der durchschnittliche Hämatokrit liegt bei Männern um 45%, bei Frauen um 40%. In den einzelnen Lehrbüchern wird seine noch als normal zu bezeichnende Schwankungsbreite sehr unterschiedlich beschrieben, liegt jedoch zumeist zwischen 37% und 52% bei Männern und 35% und 48% bei Frauen. Er ist bei der Geburt deutlich höher (ca. 59%), sinkt in den ersten Lebensmonaten ab (ca. 40%) und steigt beim männlichen Jugendlichen während der Pubertät wieder auf die bekannten Normalwerte an (1). Im Alter verändert sich der Hämatokrit nicht.

Bedeutung des Hämatokrit im klinischen Bereich

Der Hämatokrit wird, oft alternativ zur Hämoglobinkonzentration, zur Beurteilung der Sauerstofftransportkapazität und Blutbildung genutzt, wobei sich beide Größen (Hämoglobinkonzentration und Hämatokrit) auch unterschiedlich verhalten können. Werte unter 37%, bzw. 34% zeigen eine Anämie an (5), ohne selbst jedoch Aufschlüsse über ihre Ursache oder über das gesamte Blutvolumen geben zu können. Ursachen für niedrige Hämatokritwerte können in Blutbildungsstörungen (z.B. renalen Ursprungs), Blutverlusten oder erhöhten Hämolyseraten (z.B. Malaria) liegen. Bei Blutverlusten muss beachtet werden, dass der Hämatokrit noch mehrere Stunden unverändert bleibt, da Blutzellen und Plasma gleichermaßen verloren werden. Erst nach 24-48 Stunden, wenn das Blutvolumen durch Plasmaflüssigkeit normalisiert wurde, sinkt der Wert. Im Verlauf einer Therapie mit rEPO aufgrund renaler Insuffizienz wird ein Zielhämatokrit von ca. 35% angestrebt, da in diesem Bereich kaum Komplikationen beobachtet werden.

Werte oberhalb von ca. 52% zeigen eine Polyglobulie an, die primär, wie z.B. die Polyzythämia vera, oder sekundär durch Plasmavolumenverminderungen bedingt sein kann. Sehr hohe Werte mit bis zu 80% können pathologischerweise bei Höhenbewohnern gefunden werden (Monge's Disease; (3)). Die Viskosität des Blutes wird in erster Linie vom Hämatokrit bestimmt. Sie nimmt bis zu einem Wert von ca. 45% nur relativ gering zu und steigt bei größeren Werten exponentiell an. Hohe Hämatokritwerte gelten daher als ein wichtiger Risikofaktor für Schlaganfälle.

Umwelt- und Belastungseinflüsse

Generell stellt der Hämatokrit keine Konstante dar, sondern wird von vielen Faktoren beeinflusst. Abgesehen von Veränderungen der Erythrozytenmenge variiert der Hämatokrit bei Anstieg und Abfall des Plasmavolumens. Wegen des veränderten hydrostatischen Drucks fällt er daher während des Liegens (z.B. im Schlaf von 45,3 % auf 42,9%) (6) sowie beim Aufenthalt im Wasser und steigt im Stehen (Abb. 1). Längerer Aufenthalt im Wasser und in der Schwerelosigkeit führen dagegen wegen einer erhöhten Diurese zu einem Anstieg über den Ausgangswert. In der Höhe steigt der Hämatokrit ebenfalls wegen der hypoxiebedingt vergrößerten Harnproduktion schon vor einer merklichen Neubildung von Erythrozyten an (Plasmavolumen-Verlust beträgt ca. 500 ml innerhalb von 2 Tagen auf 3550 m; (7)).

Bei körperlicher Belastung steigt der Hämatokrit in Abhängigkeit von Intensität und Dauer in Extremfällen um bis zu 10% (z.B. von 45% auf 55%) an (Abb. 1). Die Ursachen liegen in einem erhöhten Blutdruck bei gleichzeitig vermehrter Öffnung von Kapillaren, was zu einer stärkeren Filtration von Blutflüssigkeit in den interstitiellen Raum führt, in einem osmotisch bedingten von intravasal in die Muskulatur gerichteten Wasserstrom während hochintensiver Belastung und in einem Schweißverlust, der zu ca. 11% intravasalen Ursprungs ist (6).

Im Verlauf eines längerfristigen Ausdauertrainings nimmt der Hämatokrit infolge der Plasmavolumenexpansion (500ml in 3 Wochen)

deutlich ab. Ein gleiches Bild zeigt sich während wiederholter Wettkampfphasen (im Verlauf eines 10-tägigen Radetappenrennens von 46.4% auf 41.3%; (6)). Obwohl hohe Hämatokritwerte eine hohe O₂-Transportkapazität widerspiegeln, zeigen Ausdauersportler eher niedrigere Hämatokritwerte als Kraftsportler oder untrainierte Personen, so dass sich im Normalfall eine leicht negative Korrelation zwischen Hkt und VO₂max ergibt (6). Da jedoch ein niedriger Hämatokrit auch einen anämischen Zustand (im Sportbereich meist aufgrund eines Eisenmangels) anzeigen kann, sollte insbesondere bei Ausdauersportlerinnen in diesem Fall der Eisenhaushalt kontrolliert und im Bedarfsfall substituiert werden. Wird jedoch der Hämatokrit bei einem Ausdauersportler durch Höhentraining oder in noch größerem Ausmaß durch Blut- oder EPO-Doping erhöht, zeigt sich eine deutliche Leistungssteigerung. Physiologischerweise ist somit eine erhöhte aerobe Leistungsfähigkeit nach

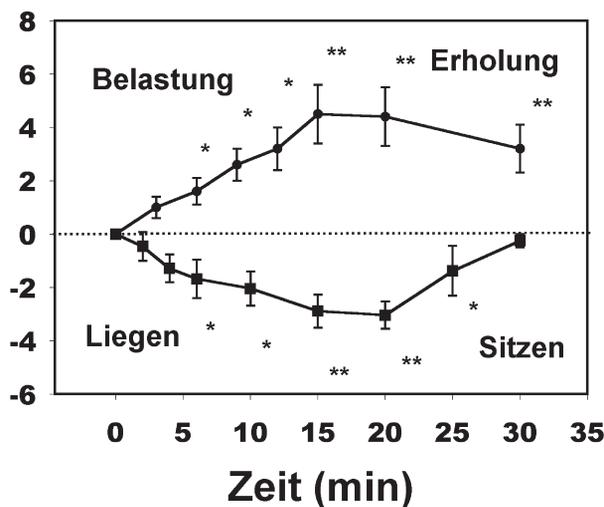


Abbildung 1: Kurzfristige Einflüsse auf den Hämatokrit (modifizierte Abb. aus 6). Stufentest auf dem Fahrradergometer (obere Kurve) und 20 min Liegen mit einer Schräglage von -7% (unten).

Training im Flachland mit einem niedrigeren Hämatokrit, nach Aufenthalt im Hochland und nach Blut- und EPO-Doping mit einem höheren Hämatokrit korreliert.

Die Frage nach dem optimalen Hämatokrit lässt sich nicht einfach beantworten. Im Bereich der Muskulatur dürfte er bei ca. 60% liegen; im Gehirn dagegen nimmt die Perfusion schon oberhalb von 35% ab, so dass die O₂-Versorgung ab 40% drastisch gemindert wird (4). Im Gegensatz zu einigen Tierspezies (Pferd, Hund), die unter Ruhe einen niedrigen Hämatokrit besitzen und bei Belastung Erythrozyten aus ihrer Speichermilz freisetzen, ist der Mensch unter Ruhebedingungen einen Kompromiss hinsichtlich des optimalen Hämatokrits von Gehirn und Muskel eingegangen. Bei Belastung nähert er sich durch o.g. Wasserverschiebungen und Verluste dem optimalen muskulären Hämatokrit an.

Hämatokrit als Kontrolle von Blutmanipulationen

In Folge der seit Beginn der neunziger Jahre ansteigenden Zahl von Manipulationen mit EPO wurden in einigen Ausdauerdisziplinen Obergrenzen für den Hämatokrit oder alternativ die Hämoglobinkonzentration eingeführt. Sie betragen z.B. im Radsport (UCI) 50% bei Männern, bzw. 47% bei Frauen, im Bereich des Nordischen Skisports (FIS) 17,5

g/dl, (ca. 51,5%), bzw. 16,0 g/dl (ca. 47%). Bei Überschreiten dieser Obergrenzen werden im Radsport die Rennfahrer für zwei Wochen gesperrt. Wenn bei der nachfolgenden Messung der Wert unter 50% liegt, darf danach wieder gestartet werden. Falls einzelne Sportler nachweislich schon normalerweise oberhalb dieses Wertes liegen, trifft die vorübergehende Suspension auf sie nicht zu. Die Zahl dieser Ausnahmen dürfte nach unseren Messungen bei ca. 2,5% (2), nach denen anderer Autoren bei bis zu 30% liegen.

Der Sinn der Obergrenzen liegt nicht in einem Nachweis einer Blutdopingmaßnahme, sondern dient offiziell dem Schutz des Sportlers. Weiter sollen hierdurch Dopingpraktiken eingedämmt werden. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich einige Sportler an die Obergrenzen „herandopen“ oder bei zu hohen Werten den Hämatokrit mittels Plasmaexpander reduzieren.

Schlussfolgerungen

Der Hämatokrit kann im Bereich der Sportmedizin nur mit Einschränkungen als Indikator einer zu geringen Erythropoiese und evtl. des Eisenhaushaltes genutzt werden, wobei eine echte Anämie von der sogenannten Sportanämie infolge eines überproportional erhöhten Plasmavolumens unterschieden werden muss. Hinsichtlich der Blutmanipulationen haben sich Obergrenzen des Hämatokrits trotz aller Schwächen bislang bewährt. Dennoch sollte es das Ziel sein, die absolute Menge an Erythrozyten und die absolute Hämoglobinmasse in Form eines Blutpasses zu kontrollieren, da der Hämatokrit stets durch Plasmavolumenveränderungen gezielt verändert werden kann.

Literatur

1. Ciba-Geigy AG: Wissenschaftliche Tabellen Geigy, Teilband Hämatologie und Humangenetik, 8. Auflage, Basel, 1979
2. Heinicke K, Wolfarth 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.
3. Hultgren H: High altitude Medicine. Stanford, 1999.
4. Kusunoki M, Kimura K, Nakamura M, Isaka Y, Yoneda S, Abe H: Effects of hematocrit variations on cerebral blood flow and oxygen transport in ischemic cerebrovascular disease. *J Cereb Blood Flow Metab* 1 (1981) 413-417.
5. Mueller-Eckardt C: Transfusionsmedizin. Springer Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, 1988.
6. Schmidt W, Biermann B, Winchenbach P, Lison S, Böning D: How valid is the determination of hematocrit values to detect blood manipulations? *Int J Sports Med* 21 (2000) 133-138.
7. Schmidt W: Effects of intermittent exposure to high altitude on blood changes. *High Alt Med Biol* 3 (2002) 167-176.

Korrespondenzadresse:
 Prof. Dr. Walter Schmidt
 Abteilung Sportmedizin/Sportphysiologie
 Universität Bayreuth
 95440 Bayreuth
 Fax: 0921 55 3468
 e-mail: walter.schmidt@uni-bayreuth.de