
Blutvolumen und Gesamtkörperhämoglobinmenge bei Ausdauersportlern

W. Schmidt (Projektleiter)¹, K. Heinicke¹, B. Wolfarth¹, A. Schmid²,
G. Huber², B. Friedmann³

¹ Universität Bayreuth

Institut für Sportwissenschaft

² Med. Universitätsklinik Freiburg

Abt. Sport- und Leistungsmedizin

³ Universität Heidelberg

Medizinische Klinik und Poliklinik, Abt. Innere Medizin VII: Sportmedizin

VF 0407/01/30/98

1 Einleitung

Die Ausdauerleistungsfähigkeit des Menschen, gekennzeichnet durch die maximale O₂-Aufnahme, wird durch eine Vielzahl von anatomischen und physiologischen Faktoren determiniert. Neben der Muskelfaserzusammensetzung und –ausstattung, dem Nährstoffangebot, der nervösen Kontrolle und der Produktion von Ermüdungssubstanzen spielt das kardiopulmonale System eine entscheidende Rolle. Innerhalb dieses Systems wiederum kommt dem Blut insbesondere hinsichtlich seiner Sauerstofftransportfähigkeit, der Pufferung und Thermoregulation eine besondere Aufgabe zu. Entsprechend dem Fick'schen Prinzip wird die maximale O₂-Aufnahme vom Herzminutenvolumen (HMV) und der arteriovenösen O₂-Differenz (avDO₂) bestimmt. Dies bedeutet, dass diejenigen Faktoren, die das HMV und die avDO₂ determinieren, einen leistungsbeeinflussenden Effekt ausüben können. Es sind dies zum einen das totale Blutvolumen, welches die Höhe des venösen Rückflusses und somit das Schlagvolumen bestimmt, sowie die Hämoglobin-O₂-Affinität und die Hämoglobinkonzentration, welche über die O₂-Transportkapazität die Basis für eine hohe avDO₂ darstellt. Nach Modellrechnungen von DI PRAMPERO (1999) wird eine Steigerung der Leistungsfähigkeit zu 70% von diesen hämatologischen Größen bewirkt, während Veränderungen aller übrigen Systeme nur für 30% der Leistungsverbesserung verantwortlich sind. Obwohl schon seit etwa 40 Jahren bekannt ist, dass Sportler generell höhere Blutvolumina besitzen als Untrainierte (KJELLBERG et al., 1950), existieren noch keine systematischen Untersuchungen über Variationen in den unterschiedlichen Disziplinen. Diese Wissenslücke ist darauf zurückzuführen, dass das Blutvolumen bislang nur invasiv mittels Injektion radioaktiver Stoffe oder chemischer Markersubstanzen zu bestimmen war, was systematische Untersuchungen an gesunden Probanden erschwerte. Mittlerweile steht jedoch mit der CO-Rückatmungsmethode ein

Mittel zur Verfügung, das breit angelegte Studien ermöglicht. Es war daher das Ziel dieses Projektes zu untersuchen, 1. ob charakteristische Blutvolumina für bestimmte Sportarten existieren und 2. ob innerhalb einer Sportart die Höhe des Blutvolumens leistungsbegrenzend wirken kann.

2 Methode

In die Studie wurden insgesamt 142 männliche Probanden aufgenommen, die in den Sportmedizinischen Einrichtungen der Universitäten Bayreuth, Chemnitz, Freiburg und Heidelberg untersucht wurden. Die Sportler unter ihnen befanden sich zum Zeitpunkt der Tests in ihrer Wettkampfphase und gehörten überwiegend einem Leistungskader an. Die Teilnehmer wurden in neun Gruppen unterteilt und waren folgendermaßen charakterisiert:

Tab. 1: Anthropometrische Daten und $V O_2\max$ der untersuchten Gruppen.

| | n = | Alter (Jahre) | BMI | $VO_2\max$ (ml/kg*min) |
|--------------------|------------|--------------------------|------------|--|
| Untrainiert (UT) | 12 | 27,7 ± 5,1 | 24,6 ± 2,6 | 45,3 ± 3,2 |
| Semitrainiert (ST) | 25 | 26,5 ± 6,4 | 22,6 ± 2,1 | 60,0 ± 4,4 |
| Ski-Alpin (SA) | 8 | 24,5 ± 2,2 | 25,6 ± 1,0 | 54,1 ± 3,0 |
| Schwimmen (S) | 11 | 21,4 ± 3,2 | 22,5 ± 1,6 | 57,2 ± 5,8 |
| Skilanglauf (SLL) | 11 | 15,1 ± 0,8 | 20,9 ± 1,2 | 74,2 ± 3,7 |
| Lauf (LA) | 9 | 23,7 ± 7,0 | 21,0 ± 0,9 | 71,9 ± 3,3 |
| Triathlon (TA) | 19 | 30,1 ± 5,5 | 22,3 ± 1,5 | 68,6 ± 7,6 |
| Rad-Junioren (RJ) | 31 | 20,3 ± 1,2 | 21,3 ± 1,1 | 64,6 ± 3,7 |
| Rad-Profi (RP) | 16 | 27,2 ± 3,1 | 22,3 ± 1,5 | 67,4 ± 3,3 |

Die maximale O_2 -Aufnahme wurde mittels Stufentests bei SLL und LA disziplinspezifisch auf dem Laufband, bei den anderen Gruppen auf dem Fahrradergometer bestimmt. Die bei den Laufbandtests höhere $VO_2\max$ wurde hierbei in Kauf genommen.

Die Blutvolumenbestimmung erfolgte mittels der CO-Rückatmungsmethode, wobei 50 bzw. 60ml CO über ein Spirometer inhaliert wurden und aus dem Anstieg der CO-Hb-Konzentration die Gesamtkörperhämoglobinmenge des Blutes bestimmt werden konnte (BURGE und SKINNER, 1995). Mit diesem Wert können unter Einbeziehung des Hämatokritwertes und der Hämoglobinkonzentration das totale Blutvolumen und seine Teilvolumina (Erythrozyten- und Plasmavolumen) berechnet werden.

3 Ergebnisse

Hinsichtlich Hämoglobinkonzentration und Hämatokritwert zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Die totale Hämoglobinmenge dagegen, bezogen auf kg KGW, war in allen Ausdauergruppen deutlich gegenüber UT als auch gegenüber S und SA erhöht. Entsprechende Unterschiede ergaben sich ebenfalls für das totale Blutvolumen sowie für die beiden Teilvolumina. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Tab. 2 dargestellt:

Tabelle 2: Gesamthämoglobinmenge, Blutvolumen und Teilvolumina

| | GHb (g/kg) | EV (ml/kg) | PV (ml/kg) | BV (ml/kg) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Untrainiert (UT) | 11.0 ±1.1 | 32.6 ±3.1 | 45.7 ±5.3 | 78.3 ±7.9 |
| Semitrainiert (ST) | 13.0 ±1.4 | 39.0 ±4.2 | 54.1 ±4.2 | 93.1 ±7.1 |
| Ski-Alpin (SA) | 12.3 ±0.6 | 35.7 ±1.8 | 51.9 ±2.1 | 87.6 ±3.1 |
| Schwimmen (S) | 13.3 ±1.1 | 39.9 ±3.5 | 57.5 ±4.7 | 97.4 ±6.1 |
| Skilanglauf (SLL) | 13.2 ±0.8 | 40.1 ±2.9 | 55.1 ±4.5 | 95.2 ±6.5 |
| Lauf (LA) | 14.7 ±1.4 | 42.8 ±4.1 | 62.1 ±6.3 | 104.8 ±9.5 |
| Triathlon (TA) | 14.2 ±1.0 | 43.5 ±3.3 | 63.5 ±7.2 | 107.0 ±9.8 |
| Rad-Junioren (RJ) | 14.4 ±1.1 | 42.4 ±3.0 | 64.2 ±6.7 | 106.5 ±8.8 |
| Rad-Profi (RP) | 15.3 ±1.3 | 45.9 ±4.0 | 61.2 ±3.8 | 107.1 ±7.0 |

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung der körperrgewichtbezogenen Größen. GHb = Gesamtkörperhämoglobinmenge, EV = Erythrozytenvolumen, PV = Plasmavolumen, BV = totales Blutvolumen.

4 Diskussion

Unsere Ergebnisse zeigen bei den vier Ausdauergruppen RP, RJ, TA, LA homogen hohe Werte hinsichtlich der GHb-Menge und der Blutvolumina. Gegenüber UT sind im Mittel alle Größen um ca. 35-40% erhöht. Innerhalb dieser Ausdauergruppen lassen sich dagegen keine signifikanten Unterschiede feststellen. Die geringeren Werte von SLL können auf das geringe Lebensalter zurückgeführt werden, da das Blutvolumen noch nicht seine maximal mögliche Größe erreicht haben dürfte. Die Schwimmer nehmen trotz hervorragender sportartspezifischer Qualifikation eine Mittelstelle zwischen den UT und den genannten Ausdauergruppen ein und sind gut mit der semitrainierten Ausdauergruppe zu vergleichen. Verantwortlich für das geringe Volumen dürften Flüssigkeitsverschiebungen

in den Intrathorakalraum während des Aufenthaltes im Wasser (Immersionseffekte) sein, wodurch eine stärkere Diurese hervorgerufen wird. Die Gruppe SA, die durch eine extrem hohe Leistung im Kurzzeitbereich gekennzeichnet ist, unterscheidet sich deutlich von den Ausdauersportarten und ist hinsichtlich der Volumenverhältnisse am ehesten mit UT vergleichbar, was belegt, dass anaerobe Leistungen unabhängig von einem hohen Blutvolumen zu erbringen sind.

Die wahrscheinliche Bedeutung der Hämoglobinmenge und damit einhergehend des Blutvolumens wird in Abb. 1 offensichtlich. Wenngleich im mittleren Leistungsbereich eine relativ große Streuung vorliegt, ist ein großes Blutvolumen Voraussetzung für eine sehr hohe aerobe Leistungsfähigkeit. Dies trifft auch auf die einzelnen Disziplinen zu, da mit Ausnahme der Schwimmer innerhalb einer jeden Gruppe eine signifikante Abhängigkeit der $VO_2\text{max}$ von der absoluten GHb-Menge bzw. dem Blutvolumen gezeigt werden konnte.

Für die Praxis bedeutet dies, dass es sinnvoll ist, Trainingsformen anzuwenden, die eine physiologische Blutvolumenexpansion nach sich ziehen. Gleichzeitig muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass Manipulationen der Blutmenge entscheidende Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit haben dürften.

5 Literatur

BURGE, C.M.; SKINNER, S.L.: Determination of hemoglobin mass and blood volume with CO: Evaluation and application of a method. *J. Appl. Physiol.* 79 (1995), 623-631

DI PRAMPERO, P.E.: A brief comment on the factors limiting maximal oxygen consumption in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80 (1999), 516-517

KJELLBERG, S.R.; RUDHE, U.; SJOSTRAND, T.: The amount of hemoglobin (blood volume) in relation to pulse rate and heart volume during work. *Acta Physiol. Scand.* 19 (1950), 146-152