

Diss. ETH N° 19602

Haemoglobin mass and endurance training -
Training adaptations in elite endurance athletes
at different ages

A dissertation submitted to
ETH ZURICH
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
Thomas Steiner
MSc, ETH Zurich
born February 14, 1976
citizen of Ringgenberg, Bern

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. U. Boutellier, examiner
Dr. J. P. Wehrli, co-examiner

2011

Chapter 1

Summary

Performance in endurance sports depends on the capacity to deliver oxygen to active muscle tissue and the ability of the muscles to use oxygen. In endurance athletes, the oxygen supply to active muscle is regarded as the main limiting factor of maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$). Because oxygen is transported primarily by haemoglobin, the total amount of haemoglobin (Hb_{mass}) determines, in large part, the oxygen transport capacity of the blood. It is well known that adult top endurance athletes are characterised by considerably higher levels of body weight related Hb_{mass} compared to non-endurance athletes and untrained persons. However, it is unclear whether this higher Hb_{mass} is an effect of several years of endurance training, due to genetic predisposition, or a combination of both. Moreover, there is little knowledge regarding levels and changes of Hb_{mass} and blood volume parameters from adolescence to adulthood in endurance athletes.

The aim of the present doctoral thesis was, therefore, threefold: 1) to investigate the influence of different protocols, parameters, and constants used for Hb_{mass} estimation with the most common carbon monoxide (CO)-rebreathing approaches, in order to enhance the comparability of study results, 2) to assess Hb_{mass} and blood volume levels in 16, 21, and 28-year-old male endurance athletes to get insight into different levels of Hb_{mass} from adolescence to adulthood for possible talent identification purposes, and 3) to investigate the influence of high endurance training volumes on Hb_{mass} development, as well as on

$\dot{V}O_{2\max}$ at the ages 16, 21, and 28 years of age in male elite athletes during a 12-month period.

When comparing Hb_{mass} estimated with the seven most common CO-rebreathing approaches, relevant discrepancies ranging up to 10% were observed in 17 subjects. Differences originated mainly from different underlying calculations, while procedural variations had a minor influence. Obtained Hb_{mass} data enabled the development of conversion factors between approaches which can be used to develop reasonable reference ranges for both clinical and athletic purposes and for comparison of study results.

Hb_{mass} , $\dot{V}O_{2\max}$, and several blood parameters were measured in an age-stratified sample of 44 elite endurance athletes from cross-country skiing and triathlon with a mean age of 16, 21, and 28 years, as well as in 47 age-matched control subjects. Hb_{mass} of adolescent athletes at age 16 was shown to be ~15% lower than in 21 and 28 year-old athletes and, surprisingly, it did not differ between athletes and control subjects at age 16. Hb_{mass} was similar in the control groups independent of age, and was about 15-20% lower than in the two groups of adult endurance athletes. $\dot{V}O_{2\max}$ differed between athletes and age-matched controls at all ages, and was about 10% lower in 16-year-old athletes in comparison to adult athletes. These findings suggested that a concomitant increase of Hb_{mass} and $\dot{V}O_{2\max}$ from 16 to 21 years is possible in endurance athletes and that training until the age of 16 mainly influences $\dot{V}O_{2\max}$ by increasing plasma and thus blood volume.

Forty athletes and 43 control subjects from the initial cross-sectional sample were re-assessed two times during the subsequent year. Endurance training volumes were recorded and amounted to 6.6, 13.9, and 13.6 h·week⁻¹ for the 16, 21, and 28-year-old athletes, respectively, while controls had <1 h·week⁻¹ endurance training. Although an overall trend of Hb_{mass} increase was measured over the 12-month study period, high endurance training volumes had no additional effect on the changes in Hb_{mass} , irrespective of the subject's age. Individually different rates of change for Hb_{mass} , regardless of training status, were observed during the study period mainly in 16-year-old subjects, assuming an inherent endowment to increase Hb_{mass} in late stages of adolescence. Overall, $\dot{V}O_{2\max}$ did not change over the study period, although athletes at age 28 were able to increase their

$\dot{V}O_{2\max}$ from the off-season to the competition period by about 4%. Levels of correlation between changes in Hb_{mass} and $\dot{V}O_{2\max}$ not only reflect the biological plausibility of the association of these two parameters, but also the complexity of the inter-individually various adaptive mechanisms affecting $\dot{V}O_{2\max}$.

Our findings indicate that on the one hand, Hb_{mass} levels at age 16, surprisingly, do not differ between athletes and non-athletes and on the other hand, that high endurance training volumes appear to have a limited influence on the development of Hb_{mass} irrespective of age. The effect of training cannot unequivocally be estimated due to the limited time span of observation and the high variability in changes of Hb_{mass} mainly observed in junior subjects. High Hb_{mass} levels seen in adult top endurance athletes seem to primarily stem from an optimal inherent predisposition, including high basic values of Hb_{mass} in adolescence. This is most likely due to an optimal gene-environment interaction and additionally high Hb_{mass} increase rates after puberty. Measuring athletes at early stages of maturation might only give limited information about Hb_{mass} levels attained in adulthood and thus also about a subject's ability to reach a high aerobic capacity as an adult.

Chapter 2

Zusammenfassung

In Ausdauersportarten beruht die Leistungsfähigkeit zu einem grossen Teil auf der Sauerstofftransportkapazität des Blutes zur arbeitenden Muskulatur und der Fähigkeit der Muskulatur den Sauerstoff zu nutzen. Als wichtigster limitierender Faktor der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2\max}$) wird bei Ausdauerathleten die Sauerstofftransportkapazität betrachtet. Da Sauerstoff im Blut vor allem gebunden an Hämoglobin transportiert wird, bestimmt die absolute Hämoglobinmenge (Hb_{masse}) in hohem Mass die Sauerstofftransportkapazität des Blutes. Erfolgreiche erwachsene Ausdauerathleten zeichnen sich dementsprechend mit einer höheren gewichtsbezogenen Hb_{masse} aus als Nicht-Ausdauersportler oder untrainierte Personen. Es ist allerdings unklar, ob diese höheren Werte aufgrund von jahrelangem Training, einer genetischen Prädisposition oder einer Kombination der beiden Faktoren zustande kommen. Bei Ausdauerathleten ist zudem sehr wenig über die Höhe und die Entwicklung der Hb_{masse} und des Blutvolumens vom Nachwuchs- ins Erwachsenenalter bekannt.

Die vorliegende Arbeit verfolgte drei Zielsetzungen: Erstens wurde zur Verbesserung der Vergleichbarkeit von Studienresultaten der Einfluss verschiedener Protokolle, Parameter und Konstanten der Kohlenmonoxid(CO)-Rückatmungsmethode zur Bestimmung der Hb_{masse} untersucht. Zweitens wurde die Höhe der Hb_{masse} und des Blutvolumens bei 16, 21 und 28 jährigen Ausdauerathleten ermittelt, um Unterschiede zwischen den Gruppen für eine allfällige Talenterkennung aufzuklären und drittens wurde der Einfluss von grossen

Ausdauertrainingsvolumen auf die Entwicklung der Hb_{masse} und der $\dot{V}O_{2\text{max}}$ bei 16, 21 und 28 jährigen Ausdauerathleten während eines Jahres untersucht.

Der Einfluss verschiedener Varianten der CO-Rückatmungsmethode auf die gemessene Hb_{masse} wurde bei 17 Probanden untersucht. Dabei wurden relevante Unterschiede von bis zu 10% ermittelt. Diese kamen primär durch die unterschiedlichen Berechnungen und nicht durch die verschiedenen Durchführungsprozedere zustande. Zwischen den Varianten konnten aufgrund der ermittelten Hb_{masse} Umrechnungsfaktoren gewonnen werden, die einerseits für die Entwicklung von Referenzwerten und andererseits zur Vergleichbarkeit von Studienresultaten hilfreich sind.

Die Hb_{masse} , $\dot{V}O_{2\text{max}}$ und mehrere Blutparameter wurden bei 44 Elite-Ausdauerathleten stratifiziert nach Alter (16, 21 und 28 jährig) aus den Sportarten Langlauf und Triathlon sowie 47 Kontrollprobanden in Gruppen gleichen Alters gemessen. Bei den 16 jährigen Nachwuchsathleten wurden im Vergleich zu den 21 und 28 jährigen Athleten rund 15% tiefere Hb_{masse} Werte ermittelt. Überraschenderweise unterschied sich die Hb_{masse} der 16 jährigen Athleten nicht von derjenigen der gleichaltrigen Kontrollprobanden. Bei den Kontrollprobanden zeigten sich hingegen zwischen den verschiedenen Altersgruppen keine unterschiedlichen Hb_{masse} Werte. Wie erwartet unterschied sich die Hb_{masse} zwischen erwachsenen Athleten und Kontrollprobanden um rund 15 bis 20%. Die $\dot{V}O_{2\text{max}}$ der Athleten war in jeder Altersgruppe höher als bei den Kontrollprobanden. Die 16 jährigen Athleten wiesen rund 10% tiefere $\dot{V}O_{2\text{max}}$ Werte auf als die erwachsenen Athleten. Diese Resultate lassen vermuten, dass bei Ausdauerathleten ein gleichzeitiger Anstieg von Hb_{masse} und $\dot{V}O_{2\text{max}}$ zwischen dem 16. und 21. Lebensjahr wahrscheinlich ist. Bis zum Alter von 16 Jahren scheint Ausdauertraining in erster Linie zu einer Erhöhung der $\dot{V}O_{2\text{max}}$ beizutragen, nicht aber die Hb_{masse} zu vergrössern. Es wird angenommen, dass trainingsbedingt erhöhte Plasma- und Blutvolumen für die erhöhte $\dot{V}O_{2\text{max}}$ verantwortlich sind.

Um den Einfluss von grossen Ausdauertrainingsvolumen auf die Entwicklung der Hb_{masse} und $\dot{V}O_{2\text{max}}$ zu untersuchen, wurden 40 der 44 Elite-Ausdauerathleten und 43 der 47 Kontrollprobanden innerhalb eines Jahres noch weitere zweimal gemessen. Die erhobenen

Ausdauertrainingsvolumen über die Studiendauer betragen für die 16 jährigen Athleten 6.6, für die 21 jährigen 13.9 und die 28 jährigen 13.6 h·Woche⁻¹. Die Kontrollprobanden betrieben pro Woche weniger als 1 h Ausdauersport. Obwohl über alle Gruppen eine Zunahme der Hb_{masse} über die 12 Monate erfolgte, schien das Ausdauertraining unabhängig vom Alter der Probanden keinen zusätzlichen Einfluss auf die Entwicklung der Hb_{masse} zu haben. Eine hohe Variabilität der Änderungsraten der Hb_{masse} unabhängig vom Trainingsstatus wurde vor allem bei den 16 jährigen Probanden beobachtet, was auf einen natürlichen (genetischen) Vorteil zur Entwicklung dieses Parameters in späten Phasen der Pubertät schliessen lässt. $\dot{V}O_{2max}$ änderte sich während der Studiendauer im Mittel nicht, obwohl es für die 28 jährigen Athleten möglich war, $\dot{V}O_{2max}$ von der Vorbereitungs- in die Wettkampfperiode um rund 4% zu steigern. Die Höhe der signifikanten Korrelationen zwischen der Änderung von $\dot{V}O_{2max}$ und der Änderung von Hb_{masse} widerspiegeln nicht nur die biologische Plausibilität einer Verbindung der beiden Parameter sondern auch die Komplexität der inter-individuell verschiedenen, $\dot{V}O_{2max}$ beeinflussenden Parameter.

Die Resultate zeigen, dass sich Athleten und Nichtathleten im Alter von 16 Jahren im Bereich der Hb_{masse} nicht unterscheiden. Hohe Ausdauertrainingsvolumen scheinen einen geringen Einfluss auf die Entwicklung von Hb_{masse} unabhängig vom Alter zu haben. Der Einfluss des Trainings kann allerdings nicht abschliessend beurteilt werden, da die Beobachtungsdauer von einem Jahr relativ kurz war sowie eine hohe Variabilität bei der Entwicklung von Hb_{masse} vor allem im Nachwuchsbereich beobachtet wurde. Die hohe Hb_{masse} von erwachsenen Ausdauerathleten scheinen einerseits von hohen anlagebedingten Ausgangswerten in der Pubertät und andererseits hohen (unter Umständen genetisch bedingten) Zunahmeraten der Hb_{masse} zwischen dem 16. und 21. Lebensjahr zu stammen. Die Erkennung eines Ausdauer talents mit Hilfe von Hb_{masse} in frühen Stadien der körperlichen Entwicklung scheint dementsprechend nicht möglich zu sein.