

DISS. ETH No. 19450

BLOCK PERIODIZATION OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING:  
UNDERLYING CARDIAC, HEMATOLOGICAL AND MUSCULAR ADAPTATIVE  
MECHANISMS FOR THE EFFICIENT IMPROVEMENT OF  $\dot{V}O_{2MAX}$

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

submitted by  
FABIO ANDREAS BREIL

MSc ETH MHS  
born June 19, 1978  
citizen of Basel

Accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Urs Boutellier, examiner ETH  
Prof. Dr. David Wolfer, co-examiner ETH  
Prof. Dr. Hans Hoppeler, ETH-external examiner  
PD Dr. Michael Vogt, ETH-external co-examiner

2010

# 1 Summary

Limiting factors of endurance capacity like maximal oxygen consumption ( $\dot{V}O_{2\max}$ ), anaerobic threshold and efficiency are sensitive to continuous endurance training in untrained subjects, whereas in highly trained athletes, further enhancement of these variables is difficult to achieve through an additional increase in submaximal training volume. In contrast, further improvements in  $\dot{V}O_{2\max}$ , anaerobic threshold and time-trial performance have been reported within several weeks in highly trained athletes who added two high-intensity interval training (HIT) sessions per week to their usual submaximal training regime. Alternatively, fractional data point to the fact that  $\dot{V}O_{2\max}$  can effectively be increased when HIT sessions are performed once or twice daily within a condensed *shock* microcycle over several days. This concept seems particularly useful considering the fact that prolonged mixed training - when diverse training aspects are trained simultaneously - may result in curbed adaptations in highly trained athletes, compared to training various aspects consecutively. Whereas the physiological adaptations and some underlying mechanisms following HIT over several weeks have been documented, these remain unclear after such a short HIT block.

Thus, the aim of the present doctoral thesis was to investigate the functional effects of such a HIT *shock* microcycle on endurance capacity as well as the underlying physiological mechanisms at the cardiac, hematological and muscular levels.

Male and female elite junior alpine skiers from a national training centre were matched and randomly assigned to either a HIT group (IT, n=13) or a control training group (CT, n=8). During 11 days, IT performed 15 HIT sessions (4 x 4 min at 90-95% maximal heart rate, 3 min active recovery) on a cycle ergometer, whereas CT continued their normal training including endurance and strength sessions. Before (pre), two (post2) and seven days after (post7) the training period, subjects were tested for functional parameters and anthropometrics. Blood volume measurements were conducted at the same time-points, whereas functional and morphological data of the heart were measured pre and post7 only. Pre and post2, biopsies were collected from the *M. vastus lateralis* for the assessment of fiber composition, fiber size, glycogen content, enzyme activity and ultra-structure.

HIT induced significant increase in  $\dot{V}O_{2\max}$ , peak power output and power at ventilatory threshold 2 (+6.0%, +5.5%, +9.6%; respectively), whereas slight, non-significant changes

occurred in CT. Male subjects in IT showed greater increases in  $\dot{V}O_{2\max}$ , which was accompanied by improved performance in the 'high-box' jump test which simulates alpine skiing. Still reduced maximal heart rate and maximal jumping power post7 indicate accumulated fatigue after such a demanding training block, delaying the development of functional adaptations.

Functional adaptations were accompanied by dramatic increases in total hemoglobin mass and total blood volume in IT only. Likewise, maximal cardiac output and stroke volume improved in IT with no significant changes in CT. Unchanged muscle mass of the left ventricle in both groups indicate that cardiac changes are more functional than structural. These dramatic hematological changes were strengthened by high correlations between  $\dot{V}O_{2\max}$ , total hemoglobin mass, blood volume and functional cardiac parameters.

Muscular analysis showed significant increases in glycogen content and oxidative enzyme activity in IT only. Changes in glycogen content were significantly correlated with functional changes in peak power output. However, no changes in glycolytic enzyme activity or changes in fiber-type composition, fiber size and fiber capillarization occurred in either group. Whereas no further changes in the ultrastructure could be measured in IT, volume density of mitochondria was significantly increased in CT.

In conclusion, 11 days of high-intensity interval block training led to impressive increases in hematological parameters and cardiac output, whereas comparatively small peripheral changes in glycogen content and oxidative enzyme activity could be measured.

Even though no single adaptive mechanism could be outlined, the efficient increase of limiting factors to endurance performance after such a training intervention must be explained mainly by hematological and central rather than muscular adaptations.

## 2 Zusammenfassung

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2\max}$ ), die anaerobe Schwelle und die Effizienz als limitierende Faktoren der Ausdauerleistungsfähigkeit, reagieren bei Untrainierten sensitiv auf kontinuierliches Ausdauertraining. Bei hoch trainierten Athleten ist es jedoch schwierig, eine weitere Verbesserung dieser Variablen durch zusätzliche Volumensteigerung des Grundlagentrainings zu erreichen. Im Gegensatz dazu konnte bei hoch trainierten Athleten eine weitere Verbesserung von  $\dot{V}O_{2\max}$ , der anaeroben Schwelle und der Zeitfahrleistung nach zwei wöchentlichen hochintensiven Intervalltrainingseinheiten (HIT) während 6 Wochen, implementiert im gewohnten Grundlagentraining, erreicht werden. Wenige Hinweise deuten darauf hin, dass alternativ 1-2 HIT-Einheiten pro Tag während mehreren Tagen zusammengefasst in einen kondensierten *Schock*-Mikrozyklus die  $\dot{V}O_{2\max}$  sehr effizient steigern können. Aufgrund der Tatsache, dass andauerndes Misch-Training – bei dem verschiedene Trainingsinhalte gleichzeitig trainiert werden – reduzierte Trainingsanpassungen hervorrufen, scheint dieses Konzept der Blockbildung hilfreich zu sein. Während die physiologischen Anpassungen und vereinzelte zugrundeliegende Mechanismen nach mehreren Wochen HIT dokumentiert wurden, sind diese nach einem derartigen HIT-Block unbekannt.

Das Ziel der vorliegenden Doktorarbeit lag darin, die funktionellen Effekte eines solchen HIT *Schock*-Mikrozyklus auf die Ausdauerkapazität und die zugrundeliegenden physiologischen Mechanismen am Herzen, im Blut und in der Skelettmuskulatur zu untersuchen.

Dazu wurden männliche und weibliche Alpine Nachwuchs-Skiathleten aus einem nationalen Trainingszentrum einer HIT-Gruppe (IT, n=13) oder einer Kontrollgruppe (CT, n=8) zugeteilt. Während 11 Tagen absolvierten die Athleten der IT-Gruppe 15 HIT Einheiten (4 x 4 min bei 90-95% der maximalen Herzfrequenz, 3 min aktive Pause) auf einem Fahrradergometer. Die Athleten in CT führten hingegen ihr herkömmliches Kraft- und Ausdauertraining fort. Vor (vor), zwei (nach2) und sieben Tage nach (nach7) der Trainingsperiode wurden funktionelle und anthropometrische Daten erhoben. Zu den gleichen Zeitpunkten wurden Blutvolumenmessungen durchgeführt, funktionelle und morphologische Parameter des Herzens wurden hingegen nur an den Zeitpunkten vor und nach7 gemessen.

Zusätzliche Biopsien aus dem *M. vastus lateralis* erfolgten vor und nach 7 zur Bestimmung der Faserzusammensetzung, der Fasergrösse, dem Glykogengehalt, der Enzymaktivität und der Ultrastruktur.

HIT führt zu einer signifikanten Zunahme von  $\dot{V}O_{2max}$ , der maximalen Leistungsfähigkeit und der Leistungsfähigkeit an der Ventilationsschwelle 2 (+6.0%, +5.5%, +9.6%), währenddem minimale und nicht signifikante Veränderungen in CT gemessen wurden. Die männlichen Athleten in IT zeigten eine stärkere Zunahme von  $\dot{V}O_{2max}$ , welche durch eine gleichzeitige Verbesserung des skispezifischen Kastensprung-Tests bestätigt wurde. Verzögerte funktionelle Anpassung mit reduzierten maximalen Herzfrequenzen und maximalen Sprungleistungen in T7 weisen auf eine akkumulierte Ermüdung nach einem derart belastenden Trainingsblock hin.

Einhergehend mit den funktionellen Anpassungen konnte nur in IT eine starke Zunahme der totalen Hämoglobinmasse und des totalen Blutvolumens gemessen werden. IT zeigte eine zusätzliche Zunahme des maximalen Herzminuten- und Schlagvolumens. Unveränderte Muskelmassen des linken Ventrikels weisen auf eine klar funktionelle Anpassung des Herzens hin. Diese Veränderungen der Blutvolumenparameter werden durch hohe Korrelationen zwischen  $\dot{V}O_{2max}$ , der totalen Hämoglobinmasse, dem Blutvolumen und den funktionellen Herzparametern bestärkt.

Nur in IT konnte eine Zunahme des Glykogengehalts und der oxidativen Enzymaktivität gemessen werden. Die Veränderungen des Glykogengehalts weisen eine hohe Korrelation zu den Veränderungen der maximalen Leistungsfähigkeit auf. Keine weiteren Veränderungen in der glykolytischen Enzymaktivität oder Fasertypenzusammensetzung, Fasergrösse oder Kapillarisation erfolgten in beiden Gruppen. Während in IT keine zusätzlichen Veränderungen in der Ultrastruktur gemessen werden konnten, zeigte CT eine signifikante Zunahme der Mitochondriendichte.

Ein 11-tägiges hochintensives Intervall-Blocktraining führte zu einer eindrucklichen Zunahme der Blutvolumen- und funktionellen Herzparameter. Vergleichsweise minimale periphere Veränderungen konnten im Glykogengehalt und in der oxidativen Enzymaktivität gemessen werden. Obwohl kein alleiniger Anpassungsmechanismus festgestellt werden

konnte, muss die effiziente Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit nach einer solchen Intervention vor allem durch hämatologische und zentrale, hingegen weniger durch muskuläre Anpassungen erklärt werden.