

Bieri K<sup>1</sup>, Gross M<sup>1</sup>, Wachsmuth N<sup>2</sup>, Schmidt W<sup>2</sup>, Hoppeler H<sup>1</sup>, Vogt M<sup>1</sup>

# HIIT im Nachwuchsfußball – Blockperiodisierung von hochintensivem Intervalltraining

*HIIT in Young Soccer Players – Block Periodization of High-Intensity Aerobic Interval Training*

<sup>1</sup>Institut für Anatomie, Universität Bern, Schweiz

<sup>2</sup>Institut für Sportwissenschaft, Universität Bayreuth

## ZUSAMMENFASSUNG

Ein ein- bis zweiwöchiger Trainingsblock bestehend aus hochintensivem Intervalltraining (HIIT) kann die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) von Sportlern effizient steigern. Ziel der vorliegenden Studie war es, die Auswirkungen eines HIIT-Blocks auf die  $VO_{2max}$ , die Laufökonomie (RE), das Blutvolumen (BV) und die totale Hämoglobinmasse (tHbm) zu untersuchen. Dazu wurden 14 Nachwuchsfußballer zufällig in eine Interventions- (HIIT, n=8) und Kontrollgruppe (KON, n=6) aufgeteilt. Innerhalb von zehn Tagen absolvierten die Spieler der HIIT-Gruppe neun Einheiten als Linienläufe in Form von vier Serien à 8 x 15/15-sekündigen, intermittierenden Intervallen sowie vier Einheiten als 4 x 4-minütige Kleinfeldspiele. Die Serienpausen betragen drei Minuten. Die Trainingsintensität wurde bei 90-95% der maximalen Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ) festgelegt. KON trainierte nach dem regulären Programm des Fußballtrainers. Vor sowie zwei und sieben Tage nach dem Trainingsblock absolvierten alle Spieler Leistungstests. Im Durchschnitt über alle Trainings wurden im letzten Intervall von HIIT Blutlaktatkonzentrationen von  $6,6 \pm 1,6$  mmol/L (Linienlauf) bzw.  $6,1 \pm 2,0$  mmol/L (Kleinfeldspiel) und eine relative Herzfrequenz von  $93,4 \pm 2,2\%$  (Linienlauf) bzw.  $90,9 \pm 2,1\%$  (Kleinfeldspiel) der  $HF_{max}$  erreicht. Über alle drei Testzeitpunkte konnten keine signifikanten Veränderungen der  $VO_{2max}$ , RE, BV oder tHbm festgestellt werden ( $p > 0,05$ ). Eine unveränderte  $VO_{2max}$  nach einem HIIT-Block steht im Widerspruch zu ähnlichen Untersuchungen, in welchen bei gleichen Intensitätsvorgaben aber höheren Gesamttrainingsumfängen und/oder anderen Trainingsmodalitäten deutliche  $VO_{2max}$ -Verbesserungen gefunden wurden. Ob bei HIIT-Blöcken allfällige  $VO_{2max}$ -Anstiege mit BV bzw. tHbm Veränderungen einhergehen, kann aufgrund der vorliegenden Resultate nicht beurteilt werden.

**Schlüsselwörter:** Fußball, Intervalltraining, Blockperiodisierung, Ausdauerleistungsfähigkeit

## EINLEITUNG

Im Fußball hat eine gut ausgebildete aerobe Leistungsfähigkeit eine leistungsbestimmende Bedeutung (19,34). So werden bei Weltklassefußballern  $VO_{2max}$ -Werte von deutlich über 60 ml/min/kg gemessen (14,34). Aktuelle Empfehlungen zur Verbesserung der  $VO_{2max}$  basieren auf der Methode des hochintensiven Intervalltrainings (HIIT). Sie beruhen hauptsächlich auf einem HIIT-Konzept mit 4x4-minütigen Belastungsphasen bei 90-95% der maximalen Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ) und 3-minütiger, aktiver Erholung (10,17,19,34). Studien mit Fußballern zeigen, dass während 2-3 Monaten wöchentlich zwei zusätzliche HIIT-Einheiten die  $VO_{2max}$  um 7-11% verbessern (3,6,13,14,20,23). Innerhalb

## SUMMARY

High-intensity interval training (HIIT) blocks lasting 1-2 weeks improve the maximal aerobic capacity ( $VO_{2max}$ ) in trained athletes. The aim of this study was to investigate the effects of a HIIT-block on  $VO_{2max}$ , running economy (RE), blood volume (BV) and total haemoglobin mass (tHbm). Fourteen junior soccer players were assigned to intervention (HIIT, n=8) and control (KON, n=6) groups. HIIT underwent 13 HIIT sessions within ten days. Sessions consisted of four sets of 8 x 15/15 sec intermittent running and 4 x 4 min playing small sided games. The target intensity was 90-95% of the maximal heart rate ( $HR_{max}$ ). KON underwent a conventional training program. Before, two and seven days after intervention,  $VO_{2max}$ , RE, BV and tHbm were assessed. The HIIT group reached lactate levels of  $6.6 \pm 1.6$  mmol/L and  $93.4 \pm 2.2\%$  of  $HR_{max}$  during intermittent running and lactate levels of  $6.1 \pm 2.0$  mmol/L and  $90.9 \pm 2.1\%$  of  $HR_{max}$  during small sided games. There were no significant differences between the three time points in  $VO_{2max}$ , RE, BV or tHbm. Our finding that a HIIT block had no effect on  $VO_{2max}$  is in contrast to other investigations using the same prescribed intensity but greater overall training volume. Because no changes to tHbm BV and  $VO_{2max}$  occurred with our intervention, it is not possible to establish a relationship between these variables.

**Key Words:** soccer, interval training, block periodization, aerobic performance

dieser Studien kamen als Trainingsformen kontinuierliche Laufformen, Dribblingparcours oder Kleinfeldspiele zur Anwendung. Alternativ zum 4 x 4-Protokoll schlagen einige Studien sogenannte intermittierende Formen vor (5,16,33). Die kurzzeitigen Wechsel von Belastung und Entlastung in einem Rhythmus von 15 oder 30 Sekunden sollen den Forderungen nach Übungsformen, die

accepted: June 2013

published online: October 2013

DOI: 10.5960/dzsm.2013.086

Bieri K, Gross M, Wachsmuth N, Schmidt W, Hoppeler H, Vogt M: HIIT im Nachwuchsfußball – Blockperiodisierung von hochintensivem Intervalltraining. Dtsch Z Sportmed 64 (2013) 307-312.

**Tabelle 1:** Anthropometrische Daten; alle Parameter sind als Mittelwert ± Standardabweichung dargestellt; *HIIT* Interventionsgruppe, *KON* Kontrollgruppe; *FFM* fettfreie Masse; \* Post-hoc: signifikante Veränderung zwischen Test 1 und Test 3 ( $p \leq 0,05$ ).

	HIIT (n=8)			KON (n=6)			ANOVA	Effektstärke
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3		
Alter (Jahre)	17,1 ± 0,8			17,2 ± 1				
Grösse (cm)	175 ± 7			174 ± 3				
Gewicht (kg) *	71,3 ± 7,8	71,4 ± 7,4	71,7 ± 7,6	66,6 ± 4	67 ± 3,8	67,3 ± 4,3	$p = 0,03$	$d = 0,08$
FFM (kg) *	64,6 ± 5,6	65,1 ± 5,8	65,5 ± 5,7	61,1 ± 3,3	61,6 ± 2,8	62,1 ± 2,8	$p = 0,00$	$d = 0,15$



**Abbildung 1:** Studiendesign; graue Balken: Linienläufe; weiße Balken: Kleinfeldspiele.

möglichst der Belastungsstruktur des Fußballspiels entsprechen, gerecht werden (19,24).

Konkurrierende Trainingsformen wie Ausdauer- und Krafttraining können bei hoher Reizdichte die Effektivität der einzelnen Trainingsinhalte dämpfen (25). Deshalb schlägt Issurin für den Leistungssport das Konzept der Blockperiodisierung vor (21). Studien mit Fußballern und Ski-Alpin Athleten ergaben, dass 12-15 Intervall-Einheiten, durchgeführt innerhalb eines zehn- bis elftägigen Trainingsblocks, eine Verbesserung der  $VO_{2max}$  von 6,0-7,3% bewirken können (2,33,34). Allerdings geht aus den erwähnten Studien nicht hervor, welche physiologischen Mechanismen diesen kurzfristigen Anpassungen zu Grunde liegen.

Die  $VO_{2max}$  wird auf alle Ebenen der Sauerstoffkaskade - von der Lunge über die Zirkulation bis hin zur Skelettmuskulatur - determiniert (38). So wird die Ausprägung der  $VO_{2max}$  unter anderem durch die Höhe des Blutvolumens und der totalen Hämoglobinemenge ( $tHb_m$ ) mitbestimmt bzw. moduliert (29). In einer Studie mit Kontrollgruppendesign konnte kürzlich bei U-18 Ski-Alpin Athleten parallel zur Verbesserung der  $VO_{2max}$  eine Zunahme der  $tHb_m$  um 9,6% aufgrund eines elftägigen HIIT-Block nachgewiesen werden (37). Der dieser Anpassung zu Grunde liegende Mechanismus ist nicht eindeutig bestimmbar. Die Athleten der Interventionsgruppe erreichten in dieser Studie bis zu zweimal täglich sehr hohe Blutlaktatwerte von über 10mmol/L (2,39,41). Seit einigen Jahren häufen sich die Hinweise, dass Laktat als Signalmolekül (Pseudo-Hormon) in verschiedenen Zielorganen wirken kann. In dieser Funktion beeinflusst es möglicherweise auch trainingsbedingte Anpassungsprozesse (26). Im Zielorgan ist Laktat ein ähnlicher Stimulus wie Hypoxie, allerdings ohne Reduktion des lokalen Sauerstoffniveaus. Laktat vermag den Hypoxie induzierbaren Faktor 1 (HIF-1) zu stabilisieren (18). Daraus kann zumindest theoretisch abgeleitet werden, dass eine Häufung von Phasen mit hohen Blutlaktatniveaus über die Beeinflussung von HIF-1 in den Nieren die EPO-Synthese und folglich auch die Blutneubildung mit damit verbundener Zunahme der  $tHb_m$  bewirken könnte. Ein ein- bis zweiwöchiger HIIT-Block mit bis zu 15 Einheiten stellt eine solche Situation dar.

Ziel dieser Studie besteht in der Analyse der Effekte eines zehntägigen Blocks mit hochintensivem intermittierendem Intervalltraining auf  $VO_{2max}$  und  $tHb_m$ . Dabei wurde hypothetisch davon ausge-

gangen, dass der HIIT-Block zu einer Verbesserung der  $VO_{2max}$  und damit einhergehend zu einem Anstieg der  $tHb_m$  führt.

**MATERIAL UND METHODEN**

**Studienpopulation**

In die Studie eingeschlossen wurden insgesamt 14 männliche Fußballer (Tab.1) aus der Nachwuchsabteilung eines Schweizer Spitzenclubs. Die Studie wurde durch die Ethik-Kommission des Kantons Bern begutachtet und bewilligt (KEK-Nr. 43/08).

**Studiendesign**

Die Studie wurde zu Beginn der Saisonvorbereitung, unmittelbar nach der dreiwöchigen Winterpause 2011/12 durchgeführt. Die Spieler wurden aufgrund ihrer  $VO_{2max}$  parallelisiert in die Trainings- (HIIT, n=8) oder Kontrollgruppe (KON, n=6) aufgeteilt. Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht bezüglich initialen anthropometrischen Daten, Alter,  $tHb_m$  und  $VO_{2max}$ .

Der Untersuchungszeitraum bestand aus einer zehntägigen Trainingsintervention und drei Testzeitpunkten, wobei diese unmittelbar vor der Intervention (Test 1) sowie zwei (Test 2) und sieben (Test 3) Tage nach der Intervention stattgefunden haben (Abb. 1). Die Spieler wurden angeleitet, in den 24 Stunden vor dem Test intensive Trainings zu vermeiden.

**Trainingsintervention**

Nach dem Eingangstest bewältigten die Spieler der HIIT-Gruppe 13 hochintensive Intervalleinheiten innerhalb von zehn Tagen (Abb.1). Sie absolvierten neun Einheiten als Linienläufe in Form intermittierenden Intervallen (vier Serien mit 8x 15/15-sekündigen Belastungs- und Erholungsphasen) sowie vier Einheiten als Kleinfeldspiele in Form von 4x4-Minuten Intervallen. Zwischen den Serien erholten sich die Spieler aktiv während jeweils drei Minuten. Das Kleinfeldspiel wurde so organisiert, dass eine weitgehend kontinuierliche Belastung der Spieler gewährleistet war und keine Spielunterbrechungen stattfanden. Die Belastungsziele waren 90-95% der  $HF_{max}$  und eine möglichst hohe Blutlaktatkonzentration. Die Belastungssteuerung und -überprüfung erfolgte durch eine kontinuierliche Herzfrequenz-

**Tabelle 2:** Funktionelle Testresultate; alle Parameter sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung dargestellt;  $HF_{max}$  maximale Herzfrequenz,  $RQ_{max}$  maximaler Respiratorischer Quotient,  $RE_{11km/h}$  Laufökonomie,  $Borg1_{1km/h}$  subjektives Belastungsempfinden Skala 6-20;  $CMJ$  countermovement jump; \* Post-hoc: signifikante Veränderung zwischen Test 1 und Test 3 ( $p \leq 0,05$ ); n.s. nicht signifikant.

	HIIT (n=8)			KON (n=6)			ANOVA		Effektstärke
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3	Zeiteffekt	Interaktion Zeit x Gruppe	
$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	59,4 $\pm$ n3	58,6 $\pm$ 3,6	60,2 $\pm$ 3,8	62,6 $\pm$ 4,4	61,1 $\pm$ 4,5	61 $\pm$ 2,6	n.s.	n.s.	
$v_{max}$ (km/h)	14,6 $\pm$ 0,4	14 $\pm$ 0,8	14,8 $\pm$ 0,4	15 $\pm$ 0,8	14,9 $\pm$ 0,8	15 $\pm$ 0,4	$p = 0,02$	n.s.	d = 0,2
Laktat <sub>max</sub> (mmol/L) *	11,5 $\pm$ 2,7	8,9 $\pm$ 1,5	10,7 $\pm$ 2,3	10,1 $\pm$ 1,4	9,2 $\pm$ 1,6	9,5 $\pm$ 1,4	$p = 0,01$	n.s.	d = 0,4
$HF_{max}$ *	198 $\pm$ 8	188 $\pm$ 4	193 $\pm$ 7	196 $\pm$ 5	189 $\pm$ 4	188 $\pm$ 7	$p = 0,00$	n.s.	d = 0,9
$RQ_{max}$ *	1,29 $\pm$ 0,08	1,24 $\pm$ 0,09	1,22 $\pm$ 0,03	1,28 $\pm$ 0,07	1,22 $\pm$ 0,05	1,2 $\pm$ 0,07	$p = 0,02$	n.s.	d = 1,2
$RE_{11km/h}$ (ml/kg/km)	229 $\pm$ 10	227 $\pm$ 16	230 $\pm$ 7	219 $\pm$ 8	218 $\pm$ 13	217 $\pm$ 8	n.s.	n.s.	
Laktat <sub>11km/h</sub>	3,2 $\pm$ 0,7	2,8 $\pm$ 0,6	2,9 $\pm$ 1,1	2,2 $\pm$ 0,6	2,2 $\pm$ 0,6	2 $\pm$ 0,5	n.s.	n.s.	
$HF_{11km/h}$	162 $\pm$ 8	153 $\pm$ 5	156 $\pm$ 7	151 $\pm$ 15	143 $\pm$ 14	146 $\pm$ 16	$p = 0,00$	n.s.	d = 0,5
$Borg_{11km/h}$	11 $\pm$ 1,5	12,6 $\pm$ 1,1	12,4 $\pm$ 1,1	11,5 $\pm$ 2,9	10,5 $\pm$ 2,6	10,7 $\pm$ 2,5	n.s.	n.s.	
$CMJ_{P_{max}}$ (W/kg) *	58,4 $\pm$ 4,7	56,6 $\pm$ 4,4	57,8 $\pm$ 2,9	56,4 $\pm$ 4,6	55,1 $\pm$ 4,2	53,9 $\pm$ 5,3	$p = 0,03$	n.s.	d = 0,3

**Tabelle 3:** Hämatologische Testresultate; alle Parameter sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung dargestellt;  $BV$  Blutvolumen,  $PV$  Plasmavolumen,  $tHb_m$  totale Hämoglobinmasse,  $Fer$  Ferritin,  $CK$  Creatinkinase;  $Rc$  Retikulozyten \* Post-hoc: signifikante Veränderung zwischen Test 1 und Test 3 ( $p \leq 0,05$ ); n.s. nicht signifikant.

	HIIT (n=8)			KON (n=6)			ANOVA		Effektstärke
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3	Zeiteffekt	Interaktion Zeit x Gruppe	
$BV$ (ml)	5699 $\pm$ 466	5717 $\pm$ 529	5722 $\pm$ 495	5466 $\pm$ 499	5538 $\pm$ 508	5584 $\pm$ 606	n.s.	n.s.	
$PV$ (ml) *	3293 $\pm$ 264	3377 $\pm$ 330	3434 $\pm$ 348	3098 $\pm$ 340	3228 $\pm$ 308	3312 $\pm$ 436	$p = 0,00$	n.s.	d = 0,5
$tHb_m$ (g)	794 $\pm$ 70	792 $\pm$ 76	788 $\pm$ 68	779 $\pm$ 74	773 $\pm$ 76	780 $\pm$ 73	n.s.	n.s.	
$Fer$ ( $\mu$ g/l) *	113 $\pm$ 51	86 $\pm$ 21	70 $\pm$ 26	81 $\pm$ 45	75 $\pm$ 37	59 $\pm$ 24	$p = 0,00$	n.s.	d = 1
$CK$ (U/l) *	164 $\pm$ 25	185 $\pm$ 49	332 $\pm$ 253	304 $\pm$ 142 *	610 $\pm$ 243	469 $\pm$ 209	$p = 0,00$	$p = 0,02$	d = 1
$Rc$ (G/l)	38,9 $\pm$ 6,4	38,1 $\pm$ 10,1	39,5 $\pm$ 11,8	39,1 $\pm$ 10	49,8 $\pm$ 15,2	47,2 $\pm$ 13,3	n.s.	n.s.	

messung (Suunto Monitor System, Vantaa, Finnland). Während jeder Trainingseinheit wurde nach der/dem 1. und 4. Serie/Intervall das subjektive Belastungsempfinden nach Borg (Skala 6-20) abgefragt und die Blutlaktatkonzentration bestimmt (Lactate Pro, Axon Lab, Baden, Schweiz). Zusätzlich absolvierte HIIT nur Technik- und Taktiktrainings nach den Vorgaben des Trainers. KON führte während der Interventionsphase insgesamt sieben reguläre Trainingseinheiten durch. Diese beinhalteten fußballspezifisches Training, Ausdauer- und Kräfteinheiten sowie zwei Vorbereitungsspiele.

Die Spieler führten während einer zweiwöchigen Periode vor sowie während der ganzen Studie ein Trainingstagebuch. Die Trainingsdaten bei HIIT konnten nur für sieben Spieler ausgewertet werden, da ein Spieler das Tagebuch nicht nachführte. Die Trainingsbelastung wurde nach der Methode von Foster (Trainingsumfang x subjektives Belastungsempfinden (Skala 1-10) x Monotonie-Index) bestimmt (8). Die Verteilung der Trainingsintensitäten wurde aufgrund des subjektiven Belastungsempfindens wie folgt definiert: Zone 1: RPE < 4,5; Zone 2: RPE  $\leq$  6,5  $\geq$  4,5; Zone 3: RPE > 6,5) (7). Der wöchentliche Trainingsumfang betrug vor der Winterpause 9,0  $\pm$  1,6 Stunden.

## Tests

Die drei Testzeitpunkte gestalteten sich identisch. Bei jedem Spieler wurde zu Beginn eine venöse Blutentnahme an der Vena

mediana cubiti durchgeführt. Die Analyse erfolgte in einem kommerziellen Labor (mcl, medical laboratories, Niederwangen bei Bern, Schweiz). Neben der Klärung des Gesundheitsstatus diente die Blutentnahme der Bestimmung von Ferritin (Fer) (Sandwichprinzip; Chemilumineszenzemission), Creatinkinase (CK) (UV-Test;  $G6P+NADP+G6PDH \rightarrow D-6\text{-Phosphogluconat}+NADPH+H^+$ ) und Retikulozyten (Rc) (Fluoreszenz-Durchflusszytometrie). Die Magermasse (FFM) wurde aus der Differenz zwischen Körpergewicht und Fettmasse (7-Stellen-Hautfaltenmessung (22)) bestimmt. Die Messung der Sprungleistung ( $P_{max}$ ) im Countermovement Jump (CMJ) fand auf einer Quattro Jump Sprungkraftplatte (Kistler Instruments, Winterthur, Schweiz) statt. Anschliessend erfolgte ein Ergospirometrietest zur Ermittlung der Ausdauerparameter (Jaeger Oxycon Pro, PanGas, Dagmersellen, Schweiz). Dieser Test wurde zusätzlich vor der Winterpause familiarisiert. Modifiziert nach Helgerud et al. (2011) liefen die Spieler auf dem Laufband (Woodway, Weil am Rhein, Deutschland) anfänglich fünf Minuten lang bei einer konstanten Geschwindigkeit von 11km/h (14). Dabei wurde die Laufökonomie (RE) aus den gemittelten  $VO_2$ -Werten über die letzten 90 Sekunden berechnet. Im Anschluss wurde eine Steigung von 5,5% eingestellt und bei einer initialen Geschwindigkeit von 9km/h die Geschwindigkeit um 1km/h jede Minute bis hin zur maximal möglichen Ausbelastung gesteigert. Als Ausbelastungskriterium wurde das Erreichen eines  $VO_2$ -Plateaus definiert. Neben  $VO_{2max}$

wurden die maximale Laufgeschwindigkeit ( $v_{\max}$ ), die maximale Blutlaktatkonzentration ( $\text{Laktat}_{\max}$ ), die maximale Herzfrequenz ( $\text{HF}_{\max}$ ) sowie der maximale Respiratorische Quotient ( $\text{RQ}_{\max}$ ) bestimmt. Mindestens zwei Stunden nach der Ergospirometrie erfolgte die nichtinvasive Bestimmung von  $\text{tHb}_m$ , Plasmavolumen (PV) und Blutvolumen (BV) gemäss der Kohlenmonoxid-Rückatmungsmethode in Ruhe (27).

### Statistische Analyse

Die Messdaten wurden unter Verwendung des Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft und als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (SD) dargestellt. Zunächst wurden Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe zum Testzeitpunkt 1 sowie Unterschiede bezüglich der berechneten Trainingsparameter (Umfang, Trainingsbelastung) durch einen zweiseitigen T-Tests für unabhängige Stichproben analysiert. Zusätzlich wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung (Zeit  $\times$  Gruppe) durchgeführt, um Zeit- und Interaktionseffekte über die drei Messzeitpunkte zu analysieren. Als Post-hoc Analyse zur Lokalisation der signifikanten Effekte der ANOVA verwendete man in der Untersuchung paarweise Mittelwertvergleiche mittels zweiseitigen T-Tests. Darüber hinaus wurden die Effektstärken nach Cohen berechnet (4). Alle statistischen Analysen erfolgten mittels SPSS Statistics 19 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Die Signifikanz wurde akzeptiert für  $p \leq 0,05$ .

## ERGEBNISSE

### Trainingsparameter

Die durchschnittliche tägliche Trainingsbelastung nach Foster war während 14 Tagen vor der Intervention tendenziell grösser in KON (HIIT:  $215 \pm 103$ ; KON  $344 \pm 92$ ;  $p=0,06$ ). Während der Interventionsphase zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen (HIIT:  $409 \pm 46$ ; KON  $381 \pm 67$ ;  $p=0,43$ ). Gemessen an der Anzahl Einheiten trainierte HIIT während der Interventionsphase signifikant mehr in Zone 3 (HIIT:  $13,0 \pm 0,0$ ; KON  $5,8 \pm 2,6$ ;  $p=0,01$ ). Zwischen Test 2 und Test 3 war die tägliche Trainingsbelastung von KON signifikant höher (HIIT:  $175 \pm 91$ ; KON  $407 \pm 122$ ;  $p=0,01$ ).

Im Durchschnitt aller Trainings wurden im letzten Intervall von HIIT Blutlaktatkonzentrationen von  $6,6 \pm 1,6$  mmol/L (Linienlauf) bzw.  $6,1 \pm 2,0$  mmol/L (Kleinfeldspiel) und eine relative Herzfrequenz von  $93,4 \pm 2,2\%$  (Linienlauf) bzw.  $90,9 \pm 2,1\%$  (Kleinfeldspiel) der  $\text{HF}_{\max}$  erreicht.

### Funktionelle Parameter

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.  $\text{VO}_{2\max}$  und RE veränderten sich in beiden Gruppen nicht. Post-hoc Analysen zeigten für beide Gruppen signifikante Abnahmen von  $\text{Laktat}_{\max}$  (-6,4%),  $\text{HF}_{\max}$  (-3%),  $\text{RQ}_{\max}$  (-5,8%) sowie  $\text{P}_{\max}$  (-2,4%) von Test 1 zu Test 3 ( $p < 0,03$ ).

### Hämatologische Parameter

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. BV,  $\text{tHb}_m$  und Rc veränderten sich in beiden Gruppen nicht. Post-hoc Analysen stellten von Test 1 zu Test 3 für beide Gruppen signifikante Veränderungen von PV (+5,4%), Fer (-34%) und CK (+59%) fest ( $p=0,00$ ). KON zeigt ein signifikant erhöhtes CK (+ 54%) zum Testzeitpunkt 3 ( $p=0,02$ ).

## DISKUSSION

Jugendliche Fußballspieler zeigten nach zehn Tagen und 13 hochintensiven Intervalleinheiten keine Verbesserungen von  $\text{VO}_{2\max}$ ,  $\text{tHb}_m$  und BV. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu unserer Hypothese und zu ähnlichen Studien, wonach sich im gleichen Zeitraum deutliche Verbesserungen der  $\text{VO}_{2\max}$  zeigten (2,33,34).

Insbesondere bei trainierten Personen sind hohe Intensitäten und damit eine nahezu maximale Ausbelastung des Herzkreislaufsystems nötig, um die  $\text{VO}_{2\max}$  verbessern zu können. Es ist in verschiedenen Studien nachgewiesen worden, dass dies bei Intensitäten von 90-95%  $\text{HF}_{\max}$  möglich ist (15,17,41). In der vorliegenden Studie erreichte die HIIT-Gruppe diese Intensitäten in einer Einheit während durchschnittlich  $5,5 \pm 2,7$  Minuten (Linienlauf) bzw.  $4,5 \pm 3,2$  Minuten (Kleinfeldspiel). Die durchschnittliche maximal erreichte HF betrug im Linienlauf  $93,4 \pm 2,2\%$   $\text{HF}_{\max}$  und im Kleinfeldspiel  $90,9 \pm 2,1\%$   $\text{HF}_{\max}$ , was gut den Belastungsvorgaben (90-95%  $\text{HF}_{\max}$ ) von klassischen 4x4-Protokollen entspricht (2,17,20,33). Obwohl mit dem gewählten Trainingsmodell von 15/15-Intervallen die relative Herzfrequenz im Zielbereich lag, konnte damit keine Wirkung auf eine  $\text{VO}_{2\max}$  Anpassung erzielt werden. Mit der gewählten Intervallform (vier Serien mit 8x 5/15-Intervallen und 3-minütigen Pausen) betrug die Gesamtarbeitszeit pro Einheit aber nur acht Minuten (anstelle von 16 Minuten in klassischen 4x4-Protokollen). Stöggl et al. (2010) konnte in einer ähnlichen Studie mit Fußballern darauf hinweisen, dass bei einer Verdoppelung der Zahl der 15/15-sekündigen Intervalle auf 64 pro Einheit (unsere Studie: 32) die  $\text{VO}_{2\max}$  deutlich um über 6% verbessert werden kann (33). Bei gleicher Gesamtarbeitszeit fanden auch Helgerud et al. (2007) in einer früheren Studie heraus, dass bei moderat trainierten Personen die  $\text{VO}_{2\max}$  durch 15/15-Intervalle ähnlich verbessert werden kann, wie dies mittels eines klassischen 4x4-Protokolls der Fall ist (15). Im Kontext der Literatur weisen die Ergebnisse der vorliegenden Studie darauf hin, dass bei Intervalltraining zur Verbesserung der  $\text{VO}_{2\max}$  nicht nur die relative Herzfrequenz die funktionelle Anpassung beeinflusst, sondern ebenfalls die Gesamtbelastungszeit der arbeitenden Muskulatur. Dies weist darauf hin, dass die funktionellen Veränderungen bei HIIT sowohl auf zentralen als auch peripheren Anpassungen bzw. deren Interaktionen beruhen können (9,15).

Im Vergleich zu einer Studie mit Ski-Alpin Athleten, die ein 4x4-Minuten Intervalltraining bei 90-95%  $\text{HF}_{\max}$  auf dem Fahrradergometer durchführten und dabei Blutlaktatwerte von  $11,4 \pm 1,6$  mmol/L erreichten, waren die Laktatwerte in vorliegender Studie (Linienlauf:  $6,6 \pm 1,6$  mmol/L; Kleinfeldspiel:  $6,1 \pm 2,0$  mmol/L) deutlich tiefer (2). Dies macht deutlich, dass die Definition der Belastungsintensität über die relative Herzfrequenz bei unterschiedlichen Trainingsmodalitäten nicht unbedingt zu einer Aussage zur muskulären Belastung führt. Da Laktat selber als Signalmolekül die Anpassungsprozesse bei Training beeinflussen kann, ist zudem davon auszugehen, dass HIIT schon nur aufgrund unterschiedlicher Trainingsmodalitäten unterschiedliche Trainingseffekte bewirkt (18).

Durch Training ausgelöste  $\text{VO}_{2\max}$  Veränderungen gehen ursächlich mit biologischen Anpassungen auf muskulärer, kardiovaskulärer oder hämatologischer Ebene einher. Auf hämatologischer Ebene zeigt sich, dass BV und  $\text{tHb}_m$  sehr gut mit der  $\text{VO}_{2\max}$  korrelieren (28). Die Phase der Adoleszenz scheint bei trainierenden jungen Menschen besonders sensitiv auf Veränderungen der  $\text{tHb}_m$



zu sein (32). Zudem ist schon lange bekannt, dass eine mehrwöchige Exposition in hypoxischer Umgebung eine Zunahme von BV und  $tHb_m$  zur Folge haben kann (11,28,36). Ein durch Hypoxie reduziertes Sauerstoffniveau bewirkt in Zellen der Nierenrinde die Stabilisierung von HIF-1 (31). HIF-1 kann so die Synthese von Erythropoetin erhöhen und damit zusätzliche Erythropoese auslösen. Eine Stabilisierung des HIF-1 Faktors ist auch durch Laktat unter nicht hypoxischen Bedingungen möglich (18,39,26). Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass eine hohe Dichte von hochintensiven laktaziden Trainingsbelastungen (z.B. HIIT-Blöcke) das HIF-1 System und damit die Erythropoese modulieren können. In der vorliegenden Studie konnten wir keine Anpassungen von  $tHb_m$  oder BV nachweisen, was insofern die unveränderten  $VO_{2max}$ -Werte bestätigt. Die deutliche Abnahme des Ferritins (-34%) liesse auf einen erhöhten Erythrozytenumsatz in beiden Gruppen schließen. Dies könnte mit einem Abbau von älteren Blutzellen bei der Wiederaufnahme des Trainings zu Beginn der Studie zusammenhängen (30). Da die Zahl der Retikulozyten unverändert blieb, dürfte allenfalls erst nach längeren, intensiven Trainingsphasen Anstiege der  $tHb_m$  erwartet werden.

Akkumulierte Müdigkeit nach hochintensiven Trainingsphasen kann eine funktionelle Manifestation von trainingsbedingten Leistungsverbesserungen maskieren (1,2,35). Unsere Studie zeigt eine signifikante Reduktion von Laktat<sub>max</sub>,  $HF_{max}$ ,  $RQ_{max}$  und  $P_{max}$  sowie einen Anstieg der CK-Werte über den Untersuchungszeitraum, was im Zusammenhang mit einer hohen körperlichen Beanspruchung der Spieler steht (12,40). Obwohl es durch das angewandte Verfahren statistisch nicht belegt wird, ist für HIIT eine Erhöhung der genannten Parameter zwischen Test 2 und Test 3 feststellbar (Tab.2). Zudem steigerten alle Spieler von HIIT ihre individuellen  $VO_{2max}$ -Werte von Test 2 zu Test 3. Dies kann bedeuten, dass sich die Spieler zum Testzeitpunkt 2 in einem inadäquaten Regenerationszustand befanden, von dem sie sich bis Test 3 nur teilweise erholten. Offenbar sind mehr als sieben Tage erforderlich, um sich vollständig von einem solchen HIIT-Block zu regenerieren (2).

### SCHLUSSFOLGERUNG

Im Rahmen des gewählten Trainingdesigns konnte die vorliegende Studie die Hypothesen nicht bestätigen, dass HIIT eine Verbesserung der  $VO_{2max}$  bewirkt, die mit einer erhöhten  $tHb_m$  einhergehen könnte. Es scheint, dass für ein erfolgreiches HIIT neben der relativen Herzfrequenz die Höhe der muskulären Gesamtarbeitszeit pro Einheit sowie die Art der Trainingsmodalität ebenso entscheidend sind. Eine hohe Frequenz intensiver Trainingseinheiten kann akkumulierte Müdigkeit provozieren und dementsprechend funktionelle Anpassungen maskieren. Diese Arbeit lässt die Frage offen, ob allenfalls Mechanismen der Blutneubildung die funktionellen Anpassungen an hochintensive Ausdauerblöcke begründen.

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

### LITERATUR

1. BILLAT VL, FLECHET B, PETIT B, MURIAUX G, KORALSZTEIN JP: Interval training at  $VO_{2max}$ : effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 156-163. doi:10.1097/00005768-199901000-00024
2. BREIL FA, WEBER SN, KOLLER S, HOPPELER H, VOGT M: Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on  $VO_{2max}$  and performance. *Eur J Appl Physiol* 109 (2010) 1077-1086. doi:10.1007/s00421-010-1455-1
3. CHAMARI K, HACHANA Y, KAOUECH F, JEDDI R, MOUSSA-CHAMARI I, WISLOFF U: Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med* 39 (2005) 24-28. doi:10.1136/bjism.2003.009985
4. COHEN J: Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, Erlbaum, 1988, 567.
5. DUPONT G, AKAKPO K, BERTHOIN S: The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 584-589.
6. FERRARI BRAVO D, IMPELLIZZERI FM, RAMPININI E, CASTAGNA C, BISHOP D, WISLOFF U: Sprint vs. interval training in football. *Int J Sports Med* 29 (2008) 668-674. doi:10.1055/s-2007-989371
7. FOSTER C: Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 1164-1168. doi:10.1097/00005768-199807000-00023
8. FOSTER C, FLORHAUG JA, FRANKLIN J, GOTTSCHALL L, HROVATIN LA, PARKER S, DOLESHAL P, DODGE C: A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 15 (2001) 109-115.
9. GIBALA MJ, MCGEE SL: Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev* 36 (2008) 58-63. doi:10.1097/JES.0b013e318168ec1f
10. GLUDING F, FAUDE O, MEYER T, KINDERMANN W: Aktuelle Erkenntnisse zum Ausdauertraining. *Fußballtraining* 26 (2007) 42-49.
11. GOUGH CE, SAUNDERS PU, FOWLIE J, SAVAGE B, PYNE DB, ANSON JM, WACHSMUTH N, PROMMER N, GORE CJ: Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers. *Eur J Appl Physiol* 112 (2012) 3275-3285. doi:10.1007/s00421-011-2291-7
12. HALSON SL, BRIDGE MW, MEEUSEN R, BUSSCHAERT B, GLEESON M, JONES DA, JEUKENDRUP AE: Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol* 93 (2002) 947-956.
13. HELGERUD J, ENGEN LC, WISLOFF U, HOFF J: Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 1925-1931. doi:10.1097/00005768-200111000-00019
14. HELGERUD J, RODAS G, KEMI OJ, HOFF J: Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med* 32 (2011) 677-682. doi:10.1055/s-0031-1275742
15. HELGERUD J, HOYDAL K, WANG E, KARLSEN T, BERG P, BJERKAAS M, SIMONSEN T, HELGESEN C, HJORTH N, BACH R, HOFF J: Aerobic high-intensity intervals improve  $VO_{2max}$  more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 665-671. doi:10.1249/mss.0b013e3180304570
16. HILL-HAAS SV, COUTTS AJ, ROWSELL GJ, DAWSON BT: Generic versus small-sided game training in soccer. *Int J Sports Med* 30 (2009) 636-642. doi:10.1055/s-0029-1220730
17. HOFF J, KÄHLER N, HELGERUD J: Training sowie Ausdauer- und Krafttests von professionellen Fußballspielern. *Dtsch Z Sportmed* 57 (2006) 116-124.
18. HUNT TK, ASLAM RS, BECKERT S, WAGNER S, GHANI QP, HUSSAIN MZ, ROY S, SEN CK: Aerobically derived lactate stimulates revascularization and tissue repair via redox mechanisms. *Antioxid Redox Signal* 9 (2007) 1115-1124. doi:10.1089/ars.2007.1674
19. IAIA FM, RAMPININI E, BANGSBO J: High-intensity training in football. *Int J Sports Physiol Perform* 4 (2009) 291-306.
20. IMPELLIZZERI FM, MARCORIA SM, CASTAGNA C, REILLY T, SASSI A, IAIA FM, RAMPININI E: Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med* 27 (2006) 483-492. doi:10.1055/s-2005-865839

21. **ISSURIN V:** Block periodization versus traditional training theory: a review. *J Sport Med Phys Fit* 48 (2008) 65-75.
22. **JACKSON AS, POLLOCK ML:** Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 40 (1978) 497-504. doi:10.1079/BJN19780152
23. **MCMILLAN K, HELGERUD J, MACDONALD R, HOFF J:** Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med* 39 (2005) 273-277. doi:10.1136/bjsm.2004.012526
24. **MEYER T:** Trainingsgestaltung im Leistungsfußball - wissenschaftliche Erkenntnisse vs. sportartspezifische Tradition. *Dtsch Z Sportmed* 57 (2006) 132-137.
25. **NADER GA:** Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc* 38 (2006) 1965-1970. doi:10.1249/01.mss.0000233795.39282.33
26. **PHILIP A, MACDONALD AL, WATT PW:** Lactate--a signal coordinating cell and systemic function. *J Exp Biol* 208 (2005) 4561-4575. doi:10.1242/jeb.01961
27. **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. doi:10.1007/s00421-005-0050-3
28. **SCHMIDT W, PROMMER N:** Effects of various training modalities on blood volume. *Scand J Med Sci Sports* 18 Suppl 1 (2008) 57-69. doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00833.x
29. **SCHMIDT W, PROMMER N:** Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO<sub>2</sub>max. *Exerc Sport Sci Rev* 38 (2010) 68-75. doi:10.1097/JES.0b013e3181d4957a
30. **SCHMIDT W, MAASSEN N, TROST F, BONING D:** Training induced effects on blood volume, erythrocyte turnover and haemoglobin oxygen binding properties. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 57 (1988) 490-498. doi:10.1007/BF00417998
31. **SEMENZA GL:** O<sub>2</sub>-regulated gene expression: transcriptional control of cardiorespiratory physiology by HIF-1. *J Appl Physiol* 96 (2004) 1173-1177; discussion 1170-1172. doi:10.1152/jappphysiol.00770.2003
32. **STEINER T, WEHRLIN JP:** Does hemoglobin mass increase from age 16 to 21 and 28 in elite endurance athletes? *Med Sci Sports Exerc* 43 (2011) 1735-1743. doi:10.1249/MSS.0b013e3182118760
33. **STÖGGL T, STIEGLBAUER R, SAGEDER T, MÜLLER E:** Hochintensives Intervall- (HIT) und Schnelligkeitstraining im Fußball. In: *Leistungssport*; 2010:43-49
34. **STOLEN T, CHAMARI K, CASTAGNA C, WISLOFF U:** Physiology of soccer: an update. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 35 (2005) 501-536.
35. **VENTURA N, HOPPELER H, SEILER R, BINGGELI A, MULLIS P, VOGT M:** The response of trained athletes to six weeks of endurance training in hypoxia or normoxia. *Int J Sports Med* 24 (2003) 166-172. doi:10.1055/s-2003-39086
36. **VOGT M, HOPPELER H:** Is hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Prog Cardiovasc Dis* 52 (2010) 525-533. doi:10.1016/j.pcad.2010.02.013
37. **VOGT M, HOPPELER H:** Competitive Alpine Skiing: Combining strength and endurance training: molecular bases and applications. *Science and Skiing V* (2012) 38-47.
38. **WAGNER PD:** Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annu Rev Physiol* 58 (1996) 21-50. doi:10.1146/annurev.ph.58.030196.000321
39. **WAHL P, HAGELE M, ZINNER C, BLOCH W, MESTER J:** High intensity training (HIT) for the improvement of endurance capacity of recreationally active people and in prevention & rehabilitation. *Wien Med Wochenschr* 160 (2010) 627-636. doi:10.1007/s10354-010-0857-3
40. **WELSH TT, ALEMANY JA, MONTAIN SJ, FRYKMAN PN, TUCKOW AP, YOUNG AJ, NINDL BC:** Effects of intensified military field training on jumping performance. *Int J Sports Med* 29 (2008) 45-52. doi:10.1055/s-2007-964970
41. **ZAFEIRIDIS A, SARIVASILIOU H, DIPLA K, VRABAS IS:** The effects of heavy continuous versus long and short intermittent aerobic exercise protocols on oxygen consumption, heart rate, and lactate responses in adolescents. *Eur J Appl Physiol* 110 (2010) 17-26. doi:10.1007/s00421-010-1467-x

**Korrespondenzadresse:**

**Kathrin Bieri, M Sc**

**Universität Bern**

**Institut für Anatomie**

**Balzerstrasse 2**

**3000 Bern 9**

**Schweiz**

**E-Mail: Kathrin.bieri@ana.unibe.ch**