

Billy Sperlich¹, Florian Eder^{1,2}, Holger Broich², Malte Krüger^{1,2}, Christoph Zinner^{1,2}, Joachim Mester^{1,2}

¹ Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Deutsche Sporthochschule Köln.

² Das Deutsche Forschungszentrum für Leistungssport «momentum», Deutsche Sporthochschule Köln.

Vergleich von intensivem Intervalltraining vs. umfangsbetontem Ausdauertraining in der Vorbereitungsphase im U14-Fussball

Zusammenfassung

Das Ziel der Studie war es, die Auswirkung zweier unterschiedlicher Ausdauertrainingsmethoden (intensives Intervalltraining vs. umfangsorientiertes Ausdauertraining) auf die Ausdauerleistungsfähigkeit sowie die Sprint- und Sprungleistung im Nachwuchsfussball zu untersuchen. An der Studie beteiligten sich 19 Spieler (VO_{2max} : $55,2 \pm 4,5$ ml/min/kg; Alter: $13,5 \pm 0,4$ Jahre; Gewicht: $51,2 \pm 9,1$ kg; Grösse: $160,2 \pm 8,5$ cm) einer U-14-Mannschaft eines deutschen Fussballvereins der ersten Bundesliga. Die Intervention dauerte 5 Wochen mit insgesamt 13 Trainingseinheiten. Zusätzlich zum fussballspezifischen Training bestritten die Spieler unterschiedliche Trainingsmethoden. Eine Gruppe absolvierte (hoch-)intensives Intervalltraining (HIT; $n = 10$) mit einer Gesamtdauer von ca. 30 min bei 90–95% der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}), die andere Gruppe ein umfangsbetontes Ausdauertraining (UT; $n = 9$) bei ca. 60–75% HF_{max} über 60 min. Vor und nach dem Trainingsblock wurde die VO_{2max} , 1000 m Laufzeit (T_{1000m}), Sprintzeiten über 20, 30 und 40 m sowie Sprunghöhen (Squat-, Drop- und Countermovement-Jump) ermittelt. Nach HIT verbesserte sich VO_{2max} der Spieler um 7,0% sowie T_{1000m} um 10 s, ohne Veränderung dieser Parameter nach UT. Im Zuge beider Trainingsmethoden verbesserte sich die Sprintleistung. Die Sprunghöhen waren nach den Interventionen unverändert. Das 5-wöchige HIT zeigte, im Vergleich zu UT, in deutlich kürzerer Trainingszeit grössere Effekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, ohne dabei die Sprint- und Sprungleistung negativ zu beeinflussen.

Summary

The main purpose of this study was to investigate the effects of a 5-week high-intensity interval training (HIT) vs. high-volume training (HVT) in 14-year-old soccer players. In a 5-week period with 13 training sessions, 19 youth members of a German Premier League soccer team (VO_{2max} : 55.2 ± 4.5 ml/min/kg; age: 13.5 ± 0.4 yrs; weight: 51.2 ± 9.1 kg; size: 160.2 ± 8.5 cm) performed either HIT at 90–95% of maximum heart rate (HR_{max}) for 30 min or HVT at 60–75% HR_{max} for 60 min. In a pre and post test, VO_{2max} , 1000 m time (T_{1000m}), sprinting times (20, 30 and 40 m) and jumping heights (squat, drop and countermovement jump) were assessed. VO_{2max} increased significantly (7.0%) from pre to post after HIT but not following HVT. T_{1000m} decreased significantly after HIT intervention (~ -10 s). Sprint performance increased significantly in both groups from pre to post testing without any changes in jumping performance. The results show that HIT, compared to HVT, provokes a higher increase in VO_{2max} and T_{1000m} in a significant lesser amount of exercise time, with no negative effects on sprinting and jumping abilities.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 58 (4), 120–124, 2010

Einleitung

Das Fussballspiel ist durch ein intermittierendes Bewegungsspektrum von submaximaler bis maximaler Bewegungsgeschwindigkeit über unterschiedlich lange Zeitintervalle geprägt (Bangsbo, 1994). Infolge des oszillierenden Bewegungsmusters kommt es zur rapiden Änderungen der O_2 -Aufnahme. Diese liegt im Durchschnitt bei 70–80% der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2) (Helgerud et al., 2001). Mehrere Studien stellen vor allem die Bedeutung des intensiven Ausdauertrainings bei Fussballspielern zur Verbesserung von VO_{2max} , als wichtigste Determinante der Ausdauerleistungsfähigkeit (Åstrand & Rodahl 1986; Hoff & Helgerud 2004) heraus. In einer norwegischen Trainingsstudie absolvierten Spieler während der Saisonvorbereitung (2x/Woche) vier 4-min-Laufintervalle (Pause: 3 min) bei 90–95% der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) (Helgerud et al., 2001). Nach 8 Wochen Training

verbessern sich VO_{2max} sowie die anaerobe Laktatschwelle um 11 bzw. 16%. Zusätzlich dazu vergrössert sich die zurückgelegte Laufstrecke im Spiel um ca. 20%.

Über (hoch-)intensives Intervalltraining (HIT) bei Kindern ist, insbesondere im Fussball, nur wenig bekannt. Dabei ist gerade das natürliche Bewegungsmuster von Kindern durch spontane und kurzzeitig hochintensive Belastungen gekennzeichnet (Massicotte & Macnab, 1974). Bisherige Studien haben gezeigt, dass während wiederholter Sprintbelastungen mit kurzen Erholungspausen präpuberale Kinder, im Vergleich zu Erwachsenen, ihre Leistungsfähigkeit ohne erhebliche Ermüdungserscheinungen aufrechterhalten (Dudley & Djamil, 1985; Massicotte & Macnab, 1974). Baquet und Mitarbeiter (2002) führten beispielsweise im Sportunterricht ein 7-wöchiges HIT-Programm zweimal die Woche durch und stellten fest, dass sich VO_{2max} und die maximale aerobe Geschwindigkeit der Kinder signifikant um 8,2%

verbesserten. Jüngere Studien zu intensivem bzw. hochintensivem Training in verschiedenen Sportarten (Faude et al., 2008; Gibala et al., 2006; Gibala & McGee, 2008; McMillan et al., 2005; Sperlich et al., 2010) belegen, dass in entsprechend kürzerer Trainingszeit ähnliche physiologische Anpassungen im Vergleich zu traditionellem umfangsorientiertem Training (UT) zu erreichen sind. Wenn folglich, durch HIT im Vergleich zu UT, in kürzerer Trainingszeit ähnliche Leistungsverbesserungen zu erzielen sind, könnte die verbleibende Trainingszeit zur Entwicklung anderer leistungslimitierender Merkmale wie Balltechnik und Taktik sowie Kraft- und Schnelligkeitstraining genutzt werden.

Ziel der Studie war es, die Effekte von HIT und traditionellem UT auf die Ausdauerleistungsfähigkeit (VO_{2max} und 1000-m-Zeit) bei jugendlichen Nachwuchsspielern im Fussball zu vergleichen. Weiterhin sollte geprüft werden, ob mit HIT nachteilige Auswirkungen auf das Sprint- und Sprungvermögen einhergehen.

Methodik

Das Studiendesign bestand aus einer 1-wöchigen Ein- und Ausgangsdiagnostik sowie einer 5-wöchigen Trainingsintervention. Alle Teilnehmer absolvierten einen VO_{2max} -Test, eine Sprint- und Sprungdiagnostik sowie einen 1000-m-Lauf. Anthropometrische Daten wurden vor und nach der Trainingsphase erhoben. Während der Intervention trainierten die Kinder entsprechend ihrer Trainingszuordnung gemäss einem intensiven HIT- oder UT-Programm.

Probanden

An der Studie beteiligten sich 19 Spieler (MW \pm SD, anfängliche VO_{2max} : $55,2 \pm 4,5$ ml/min/kg; Alter: $13,5 \pm 0,4$ Jahre; Gewicht: $51,2 \pm 9,1$ kg; Grösse: $160,2 \pm 8,5$ cm) einer U-14-Mannschaft eines deutschen Fussballvereins der ersten Bundesliga, sieben davon gehörten einer norddeutschen Spielerauswahl an. Alle Spieler waren einen Trainingsumfang von mindestens 4 Trainingseinheiten pro Woche gewöhnt und nahmen in den letzten 3 Jahren vor der Studie regelmässig am Fussballtraining und -turnieren teil. Die Teilnehmer wurden entsprechend der individuellen VO_{2max} in 2 Trainingsgruppen eingeteilt, von denen eine Gruppe hauptsächlich (hoch-)intensive Intervalle (HIT, $n = 10$, $VO_{2max} = 55,1 \pm 4,9$ ml/min/kg) absolvierte und die andere weitestgehend umfangsbetont trainierte (UT, $n = 9$, $VO_{2max} = 55,3 \pm 4,3$ ml/min/kg) (Tab. 1). Sowohl alle Spieler als auch die Eltern wurden über den Ablauf der Studie sowie die möglichen Risiken und Nutzen informiert und gaben vor der Untersuchung ihr schriftliches Einverständnis. Die Studie entsprach den Richtlinien der Deklaration von Helsinki und wurde von der Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln akzeptiert.

Trainingsintervention

Die Intervention bezog sich in beiden Gruppen ausschliesslich auf den Ausdaueranteil einer Trainingseinheit und wurde im Anschluss an das reguläre, fussballspezifische Training durchgeführt. Die Trainingswoche setzte sich aus 3 x 1–1.5 Stunden Training und einem Spiel zusammen. Während des Untersuchungszeitraums waren sämtliche Trainingseinheiten nach dem gleichen Muster konzipiert (Abb. 1): Das Training begann mit einer Aufwärmphase von 5–10 min, bestehend aus Dehnübungen und kurzen, submaximalen Sprints mit darin integrierten fussballspezifischen Spielhandlungen. Anschliessend folgte eine Phase mit fussballspezifischen Übungsformen, bei denen entweder einzeln oder in Mannschaftsform im Kleinfeld gespielt wurde. Der Schwerpunkt in diesem Teil der Trainingseinheit lag auf Aktionsschnelligkeit (Wenden, Drehen, Springen) und grundlegenden Kraftübungen (z.B. Sit-ups und Liegestütze). Ein zusätzliches Krafttraining an Geräten oder Freihanteln wurde nicht durchgeführt.

Anschliessend erfolgte mit dem Ausdauertrainingsteil die eigentliche Intervention. Das HIT bestand aus verschiedenen In-

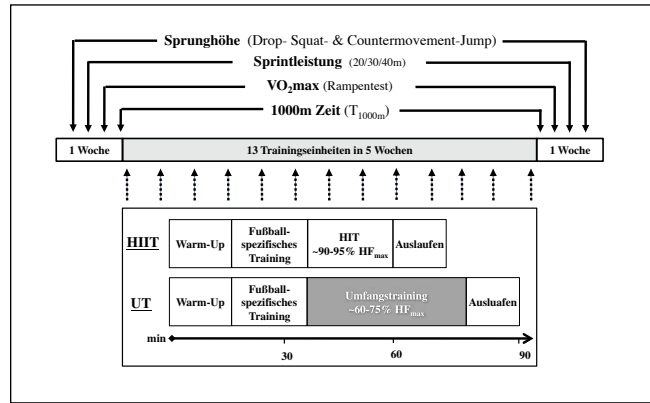


Abbildung 1: Studiendesign mit Pre-post-Diagnostik sowie einer exemplarischen Trainingseinheit für das (hoch-)intensive Intervalltraining (HIT) sowie das umfangsbetonte Ausdauertraining (UT).

tervall-Trainingsformen ohne Ballspiel und dauerte inklusive der Pausen nicht länger als 30 min (Tab. 1 und Abb. 1). Das Ziel im HIT war es, entsprechend der Studienergebnisse der Arbeitsgruppe von Helgerud et al. (2001) eine Intensität von 90–95% HF_{max} zu erreichen. In den Erholungsintervallen von 1–3 min sollte 50–60% HF_{max} erreicht werden. Die Intensität während UT entsprach 65–70% HF_{max} . Die Dauer jeder Ausdauereinheit betrug hier 55–60 min. Von allen Spielern wurde in der 2., 7. und 13. Trainingseinheit die arterielle Laktatkonzentration und das subjektive Anstrengungsempfinden (RPE-Skala) erfasst (Borg, 1974). Die exakten Inhalte des Ausdauertrainings beider Gruppen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Testverfahren

Zunächst wurde von allen Spielern die maximale vertikale Sprunghöhe von Drop-, Squat- und Countermovement-Sprüngen mit einer Kraftmessplatte und einer dafür eigens entwickelten Software erfasst (Kistler, Winterthur, Schweiz). Die Sprunghöhe wurde durch die Verlagerung des Massenschwerpunkts bestimmt und anhand der Kraftentwicklung und des gemessenen Körpergewichts berechnet.

1 Stunde später erfolgte ein Laufbandtest zur Bestimmung von VO_{2max} . Die anfängliche Laufgeschwindigkeit entsprach 105% der persönlichen 1000-m-Bestzeit. Nach 5 min wurde die Laufbandsteigung jede Minute um 1% bis zur Ausbelastung gesteigert. Dabei wurde die Herzfrequenz fortlaufend registriert (Polar S810, Kempele, Finnland). Die O_2 -Aufnahme wurde mittels einer offenen Einzelatemzuganalyse (600USB, nSpire, Oberthulba, Deutschland) erfasst.

Zwei Tage nach der Laboruntersuchung absolvierten die Spieler 3 Sprinttests jeweils über 20, 30 und 40 m mit einer Pausenzeit von mindestens 5 min zwischen den Sprints. Die Sprintzeiten wurden anhand von Lichtschranken (Brower Timing Systems, Draper, UT, USA) erfasst. Die Spieler starteten selbstständig aus aufrechter Position. Der Mittelwert der Sprintzeit wurde zur statistischen Analyse verwendet.

Im Anschluss an die Sprints bewältigten alle Spieler einen 1000-m-Lauf auf einem Fussballplatz (4 x 250 m). Dabei wurde die Laufzeit mit einer Stoppuhr manuell erfasst. Um die Probanden an Länge und Intensität des Tests zu gewöhnen, führten alle Teilnehmer bereits vor der Studie mindestens 3 1000-m-Läufe durch.

Die Herzfrequenz aller Spieler wurde während aller Trainingseinheiten der Interventionsphase mithilfe eines Herzgurtsystems für Mannschaftsanalysen (Acentas, Hörgertshausen, Deutschland) telemetrisch erfasst und mit der dazugehörigen Software des Herstellers analysiert. Die im Laufbandtest ermittelte HF_{max} galt als 100%-Referenzwert für die Trainingsanalyse.

In den Trainingseinheiten 2, 7 und 13 wurde jeweils 20 μ l Kapillarblut vom rechten Ohrfläppchen zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration entnommen. Die Proben wurden amperome-

TE	HIT-Program			UT-Program		
	Inhalt	Pause (min)	T _{gesamt} (min)	Inhalt	Pause (min)	T _{gesamt} (min)
1	8 x 1 min, 6 x 1 min	1 1	29	6 x 6 min	3	51
2	4 x 4 min	3	29	4 x 12 min Fahrtspiel	2	54
3	4x 4 min	3	29	2 x 30 min Fahrtspiel	5	65
4	12 x 30 s Sprint, 6 x 2 min	0.5 2	31	4 x 12 min Fahrtspiel	2	54
5	4 x 4 min	3	29	3 x 15 min Fahrtspiel	3	51
6	5 x 800 m	2.5	25	2 x 25 min Fahrtspiel	5	55
7	10 x 400 m	1.5	30	Dauerlauf (8,9 km)	0	60
8	4,1,1,4,2,4 min	2	26	5 x 10 min Fahrtspiel	1	55
9	15 x 200 m	1.5	29	4 x 10 min Fahrtspiel	3	69
10	12 x 30 s Sprint 6 x 2 min	0.5	31	3 x 15 min Fahrtspiel	3	51
11	4 x 4 min	3	29	Dauerlauf (8,9 km)	0	60
12	4 x 4 min	3	29	2 x 30 min Fahrtspiel	5	65
13	4 x 4 min	3	29	2 x 25 min Fahrtspiel	5	55
MW ± SD			28,8 ± 1,7			57,3 ± 5,9

Tabelle 1: Trainingsinhalte und Pausen der beiden Interventionen jeder Trainingseinheit (TE = Trainingseinheit; HIT = [hoch-]intensives Intervalltraining; UT = Umfangstraining; P = Pause).

trisch-enzymatisch analysiert (Ebio Plus, Eppendorf, Hamburg, Deutschland). Zeitgleich zu den Blutentnahmen wurde von allen Spielern ihr subjektives Anstrengungsempfinden erfragt (Borg, 1974).

Statistik

Im Folgenden werden die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) dargestellt. Die Effekte der Intervention auf VO_{2max}, T_{1000m}, Sprunghöhen und Sprintzeiten wurden mithilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) untersucht. Anschliessend erfolgte zur Überprüfung signifikanter Mittelwertsunterschiede das Post-hoc-Verfahren nach Bonferroni. Die Unterschiede in der Herzfrequenz und den Laktatkonzentrationen zwischen den Interventionen wurden mithilfe des T-Testverfahrens analysiert. Als Signifikanzniveau aller Analysen galt eine Irrtumswahrscheinlichkeit von p < 0,05 (*). Für die gesamte statistische Auswertung wurde die Software Statistica (Version 7.1; StatSoft, Tulsa, OK, USA) für Windows verwendet.

Resultate

Training

Die beiden Gruppen absolvierten 94% aller möglichen Trainingseinheiten. *Abbildung 2* zeigt für die jeweiligen Trainingseinheiten den prozentuellen Anteil der unterschiedlichen Herzfrequenzbereiche. Im Vergleich zu UT wies HIT einen signifikant höheren zeitlichen Anteil des Trainings bei Intensitäten von 80–100% HF_{max} auf (p < 0,05). UT dagegen zeigte einen höheren Prozentsatz für Herzfrequenzen im niedrigeren Bereich (60–80% HF_{max}) als HIT (p < 0,05).

Das subjektive Anstrengungsempfinden war in der HIT-Trainingsgruppe mit 17,4 ± 1,5 signifikant höher als bei UT (12,2 ± 0,6; p < 0.001). Auch die arterielle Laktatkonzentration war bei HIT signifikant höher als bei UT (8,6 ± 3,5 vs. 1,7 ± 0,7 mmol/l, p < 0.001).

Eingangs- und Ausgangsdiagnostiken

VO_{2max} erhöhte sich signifikant um 7% nach HIT, nicht aber nach UT (+ 1,9%; *Tab. 2*). Die Steigerung von VO_{2max} korrelierte mit einer Verbesserung von T_{1000m} (r = -0,63, p < 0,01, *Abb. 3*). T_{1000m} nahm zum Ausgangstest der HIT-Gruppe signifikant ab, jedoch

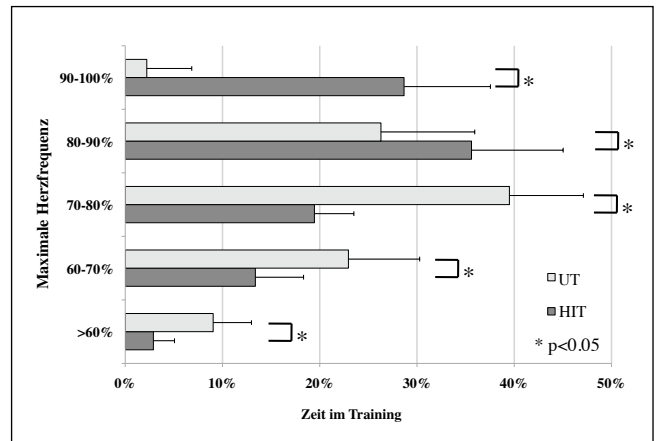


Abbildung 2: Prozentualer Anteil der verbrachten Zeit in verschiedenen Herzfrequenzzonen (UT = umfangsorientiertes Ausdauertraining; HIT = [hoch-]intensives Ausdauertraining)

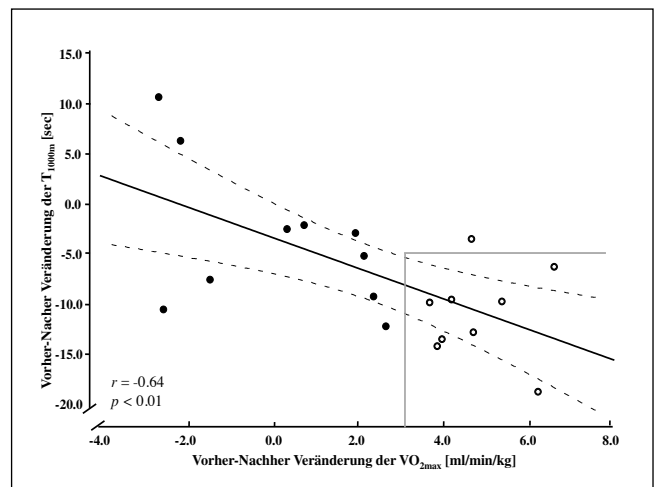


Abbildung 3: Korrelation der Vorher-nachher-Veränderung von VO_{2max} vs. Vorher-nachher-Veränderung von T_{1000m}. Die offenen Kreise repräsentieren die Teilnehmer des (hoch-)intensiven Intervalltrainings. Eine Verbesserung von ca. 3 ml/min/kg geht mit einer Verbesserung der 1000-m-Zeit von ca. 5 s einher.

Parameter		HIT		UT	
		Vor	Nach	Vor	Nach
Sprintzeit (s)	20m	3,49 ± 0,16	3,34 ± 0,19*	3,43 ± 0,20	3,31 ± 0,13*
	30m	5,00 ± 0,25	4,78 ± 0,26*	4,87 ± 0,29	4,70 ± 0,25*
	40m	6,41 ± 0,37	6,23 ± 0,39*	6,33 ± 0,43	6,12 ± 0,36*
Sprunghöhe (m)	Drop	0,27 ± 0,05	0,31 ± 0,07	0,31 ± 0,09	0,33 ± 0,05
	Squat	0,28 ± 0,07	0,31 ± 0,07	0,29 ± 0,05	0,33 ± 0,09
	CM	0,26 ± 0,05	0,29 ± 0,06	0,27 ± 0,04	0,34 ± 0,07
T1000m (min:s)		03:54,4 ± 12,8	03:44,6 ± 13,8*	03:55,3 ± 12,8	03:50,7 ± 17,3
VO _{2max} (ml/min/kg)		55,1 ± 4,9	58,9 ± 4,7*	55,3 ± 4,3	56,4 ± 3,7

Tabelle 2: Pre-post-Werte für beide Trainingsmassnahmen (HIT = hochintensives Intervalltraining; UT = Umfangstraining). Signifikante vorher-nachher-Unterschiede sind mit * markiert (CM= Countermovement).

nicht in der UT-Gruppe (Tab. 2). Die durchschnittliche Verbesserung lag nach HIT bei 10 vs. 5 s bei UT. Die Sprintleistungen über alle Distanzen verbesserten sich nach der Intervention in beiden Gruppen signifikant (Tab. 2). Die Sprunghöhe hingegen blieb in beiden Gruppen unverändert. Bei beiden Trainingsgruppen blieben sowohl Körpergewicht als auch fettfreie Masse und Körpergröße vor und nach der Intervention unverändert (Resultate werden nicht gezeigt).

Diskussion

Die bei dieser Studie angewandten Trainingsmethoden führten zu einer signifikanten Erhöhung der mittleren relativen VO_{2max} um 3,9 ml/min/kg durch HIT und keiner signifikanten Veränderung bei UT (+ 1,1 ml/min/kg).

Das Ausmass der durch HIT erhöhten VO_{2max} entspricht bereits veröffentlichten Ergebnissen für ältere Spieler. Eine Studie von MacMillan et al. (2005) ergab bei Spielern im Alter von 16,9 ± 0,4 Jahren nach HIT eine Steigerung von VO_{2max} um 9%. Helgerud und Mitarbeiter (2001) untersuchten den Einfluss von 4-min-Intervallen bei 90–95% HF_{max} auf die Leistungsfähigkeit von älteren jugendlichen Fussballspielern (18,1 ± 0,8 Jahre) über einen Trainingszeitraum von 8 Wochen. Das Ergebnis war eine Steigerung von VO_{2max} um 11% entsprechend einer Zunahme von 58,1 ± 4,5 auf 64,3 ± 3,9 ml/kg/min. Hochintensive Laufeinheiten (10 x 10 oder 5 x 20 s) bei 8–11 Jahre alten Jungen und Mädchen über eine Dauer von 30 min bei 80–95% HF_{max} zeigten ebenfalls eine signifikante Zunahme von VO_{2max} von 43,9 auf 47,5 ml/min/kg (+ 8,2%; Baquet et al., 2002). Die prozentualen Verbesserungen von VO_{2max} durch intensives Ausdauertraining lagen in diesen Studien mit 0,58%, 0,67% und 0,56% pro Trainingseinheit (Baquet et al., 2002; Helgerud et al., 2001; McMillan et al., 2005) höher als im Vergleich zu den vorliegenden Daten (0,47% pro Trainingseinheit). Der Grund für die insgesamt grössere Steigerung von VO_{2max} in den anderen Studien könnte in der Interventionsdauer gelegen haben, die verglichen zu unserer 5-wöchigen Untersuchung einen Zeitraum von 7–10 Wochen umfasste. Des Weiteren wurden für die Kinder von Baquets et al. (2002) niedrigere Anfangswerte für die O₂-Aufnahme gemessen. Eine stärkere Zunahme der aeroben Leistungsfähigkeit gemessen an VO_{2max} könnte dadurch erklärt werden.

Die Steigerung von VO_{2max} korrelierte in dieser Studie mit einer Verbesserung der T_{1000m}. Insgesamt geht eine Zunahme von VO_{2max} von 3–5 ml/min/kg mit einer Verbesserung der T_{1000m} um etwa 10–15 s einher. Dieser Zuwachs war grösstenteils für die Spieler des HIT ersichtlich (Abb. 3). Für die Praxis könnte dies bedeuten, dass die unkomplizierte Messung der T_{1000m} als Alternative zu einem komplexen Labortest, eine einfach durchzuführende und kostengünstige Möglichkeit bietet, eine Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit aufzuzeigen. Zudem stellte sich durch die regelmässige Überprüfung der T_{1000m} eine positive Wettkampfmentalität unter den Spielern ein, da sie sowohl ihre persönliche als auch die Bestezeit ihrer Mitspieler unterbieten wollten.

Mehrere Studien beschreiben die potenziellen peripheren und zentralen Anpassungen infolge von HIT vs. UT. Massicote & McNab (1974) verglichen beispielsweise Häufigkeit und Dauer der

Intervention bei unterschiedlichen Intensitäten von 130–140, 150–160, 170–180 Schlägen/min bei Knaben. In allen Intensitätsgruppen verbesserte sich die submaximale Leistungsfähigkeit, doch nur die Gruppe, die mit der höchsten Intensität trainierte, steigerte auch VO_{2max} signifikant. Weiterhin zeigten Helgerud und Mitarbeiter (2001), dass HIT im Gegensatz zu Laufgeschwindigkeiten unterhalb oder an der anaeroben Schwelle zu einer Steigerung von VO_{2max} von 60,5 auf 64,4 ml/min/kg beiträgt. Die Autoren führen diese Verbesserungen auf ein erhöhtes Schlagvolumen des Herzens und ein damit verbundenes gesteigertes Herzminutenvolumen zurück. Andere Studien weisen darauf hin, dass intensives Ausdauertraining zu einer qualitativen Anpassung mitochondrialer Strukturen und somit des oxidativen Stoffwechsels führt (Daussin et al., 2007, 2008b). In diesem Kontext zeigen auch die Studien von Burgomaster et al. (2008) und Gibala et al. (2006), dass HIT und UT zu einer ähnlichen Zunahme von mitochondrialen Markern sowie der Fettoxidation führen. Diese Zunahme wiederum würde eine Zunahme von VO_{2max} erklären. Gibala und Mitarbeiter (2006) zeigen in diesem Zusammenhang insbesondere eine Zunahme der maximalen Aktivität des Cytochrom-C-Oxidase-Komplexes und weiterer Untereinheiten während HIT (4–6 x 30 s, Gesamttrainingszeit: 18–27 min) im Vergleich zu traditionell umfangorientiertem Training (90–120 min bei 65% VO_{2max}). Zudem war die Verwertung von Glykogen und Phosphokreatin während Belastung nach HIT geringer. Intensives Intervalltraining adaptiert sowohl zentrale als auch periphere Komponenten von VO_{2max}, wohingegen umfangreiches, weniger intensives Ausdauertraining hauptsächlich mit einer höheren O₂-Extraktion in Verbindung gesetzt wird (Daussin et al., 2007). In diesem Zusammenhang soll auf die ausführlichen Übersichtsartikel (Billat, 2001a, b; Laursen & Jenkins, 2002) zu intensivem Intervalltraining sowie die Auswirkung auf relevante Parameter wie VO_{2max} verwiesen werden (Midgley et al., 2006).

Die Daten der vorliegenden Studie belegten keinen negativen Effekt beider Ausdauertrainingsmethoden auf die Sprunghöhe in den Sprungformen (Drop-, Squat- und Countermovement-Jump) sowie auf die Sprintleistung. Bestätigt werden diese Ergebnisse ebenfalls durch Untersuchungen von Helgerud und Mitarbeiter (2001), die nach 8 Wochen Ausdauertraining neben einer deutlichen Zunahme von VO_{2max} keine Verschlechterungen der Sprint- und Sprunghöhen fanden. Andere Autoren weisen hingegen darauf hin, dass durch Ausdauertraining insbesondere kraftbezogene Komponenten wie die Explosivkraft beeinträchtigt werden (Daussin et al., 2008a; Dudley & Djamil, 1985; Nelson et al., 1990). Ein Grund für die fehlende Beeinträchtigung der Sprunghöhe könnte das vor jeder Ausdauertrainingseinheit durchgeführte fussballspezifische Training gewesen sein. Beide Trainingsgruppen führten während des Interventionszeitraums ein identisches fussballspezifisches Training mit der gleichen Anzahl an Sprints und Sprüngen durch. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass der fussballspezifische Trainingsblock jeder Einheit als wirksamer Trainingsreiz für die Verbesserung der Sprintleistungsfähigkeit über 20, 30 und 40 m anzusehen ist. Demnach scheint das fussballspezifische Training ausreichend, um die Sprintleistungsfähigkeit zu verbessern. Zur Steigerung der Sprunghöhe hingegen müsste demzufolge zusätzliches Kraft- und Koordinationstraining appliziert werden, um entsprechende Leistungszuwächse zu bewirken.

Schlussfolgerung

Die Studie zeigte eine signifikante Steigerung von $\text{VO}_{2\text{max}}$ um 7% sowie eine signifikant schnellere 1000-m-Laufzeit infolge von HIT. Umfangsorientiertes Ausdauertraining dagegen wirkte sich bei 14-jährigen Fußballspielern nicht signifikant auf diese Leistungsparameter aus. Die positiven Effekte von HIT wurden mit deutlich kürzeren Trainingszeiten (1,5–2,0 h/Woche) erzielt.

Die Trainingsdauer ist besonders im Kindesalter aufgrund der schulischen Anforderungen und der Freizeitgestaltung zeitlich begrenzt. Im Hinblick auf die Trainingspraxis sind deshalb zeitsparende Trainingsmethoden im Fußball notwendig, um für die Ausdauerleistungsfähigkeit relevante Parameter wie O_2 -Aufnahme und Laufleistung zu verbessern. Wird HIT 3x/Woche über einen Zeitraum von 5 Wochen durchgeführt, so kommt es zu einer deutlichen Steigerung von $\text{VO}_{2\text{max}}$ und $T_{1000\text{m}}$. Dazu wird die Sprintfähigkeit, die als fußballspezifische Leistungsanforderung von besonderer Bedeutung ist, nicht negativ beeinflusst. Da die Sprungfähigkeit nach 5-wöchigem HIT-Training keine Veränderungen zu UT aufweisen konnte, sollten für die Entwicklung der Schnellkraft zusätzliche entsprechende Krafttrainingsmethoden Anwendung finden.

Korrespondenzadresse:

Dr. Billy Sperlich, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Deutsche Sporthochschule Köln, Am Sportpark Müngersdorf 6, 50933 Köln. Tel. 0221/4982-4850, Fax 0221/4982-8180, E-Mail: sperlich@dshs-koeln.de.

Literaturverzeichnis

Åstrand P.-O., Rodahl K. (1986) Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. McGraw Hill, New York.

Bangsbo J. (1994): The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta. Physiol. Scand. Suppl.* 619: 1–155.

Baquet G., Berthoin S., Dupont G., Blondel N., Fabre C., van Praagh E. (2002): Effects of high intensity intermittent training on peak VO_2 in prepubertal children. *Int. J. Sports. Med.* 23: 439–444.

Billat L.V. (2001a): Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports. Med.* 31: 13–31.

Billat L.V. (2001b): Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports. Med.* 31: 75–90.

Borg G.A. (1974): Perceived exertion. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2: 131–153.

Burgomaster K.A., Howarth K.R., Phillips S.M., Rakobowchuk M., Macdonald M.J., McGee S.L., Gibala M.J. (2008): Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J. Physiol.* 586: 151–160.

Daussin F.N., Ponsot E., Dufour S.P., Lonsdorfer-Wolf E., Doutreleau S., Geny B., Piquard F., Richard R. (2007): Improvement of $\text{VO}_{2\text{max}}$ by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101: 377–383.

Daussin F.N., Zoll J., Dufour S.P., Ponsot E., Lonsdorfer-Wolf E., Doutreleau S., Mettauer B., Piquard F., Geny B., Richard R. (2008a): Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 295: R264–R272.

Daussin F.N., Zoll J., Ponsot E., Dufour S.P., Doutreleau S., Lonsdorfer E., Ventura-Clapier R., Mettauer B., Piquard F., Geny B., Richard R. (2008b): Training at high exercise intensity promotes qualitative adaptations of mitochondrial function in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 104: 1436–1441.

Dudley G.A., Djamil R. (1985): Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 59: 1446–1451.

Faude O., Meyer T., Scharhag J., Weins F., Urhausen A., Kindermann W. (2008): Volume vs. intensity in the training of competitive swimmers. *Int. J. Sports Med.* 29: 906–912.

Gibala M.J., Little J.P., van Essen M., Wilkin G.P., Burgomaster K.A., Safdar A., Raha S., Tarnopolsky M.A. (2006): Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J. Physiol.* 575: 901–911.

Gibala M.J., McGee S.L. (2008): Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 36: 58–63.

Helgerud J., Engen L.C., Wisloff U., Hoff J. (2001): Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33: 1925–1931.

Hoff J., Helgerud J. (2004): Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med.* 34: 165–180.

Laursen P.B., Jenkins D.G. (2002): The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.* 32: 53–73.

Massicotte D.R., Macnab R.B. (1974): Cardiorespiratory adaptations to training at specified intensities in children. *Med. Sci. Sport Exerc.* 6: 242–246.

McMillan K., Helgerud J., Macdonald R., Hoff J. (2005): Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br. J. Sports Med.* 39: 273–277.

Midgley A.W., McNaughton L.R., Wilkinson M. (2006): Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med.* 36: 117–132.

Nelson A.G., Arnall D.A., Loy S.F., Silvester L.J., Conlee R.K. (1990): Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys. Ther.* 70: 287–294.

Sperlich B., Zinner C., Heilemann I., Kjendlie P.L., Holmberg H.C., Mester J. (2010): High-intensity interval training improves $\text{VO}_{2\text{peak}}$, maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9–11-year-old swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.* DOI 10.1007/s00421010-1586-4.