

High-Intensity Ausdauertraining im Nachwuchsleistungssport – Reaktionen, Adaptationen, Belastungsverträglichkeit

(AZ: 070507/13-14)

Alexander Ferrauti (Projektleiter), Jennifer Kappenstein, Paul Schaffran, Marina Slopianka & Thimo Wiewelhove

Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft, Lehr- und Forschungsbereich Trainingswissenschaft

1 Problem

Das High Intensity Training (HIT) zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit weist aktuellen Studien nach Vorteile im Vergleich zum klassischen, umfangsorientierten Ausdauertraining (HVT) auf, z. B. eine Reduktion des Trainingsumfangs infolge der höheren Belastungsintensität ohne Einbuße trainingsinduzierter Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit (VO_{2max}) (Faude et al, 2008; Sperlich, Hoppe & Haegle, 2013). Besonders Nachwuchsleistungssportlerinnen und -sportler in den Sportspielen können über eine verbesserte Aufwand-Nutzen-Relation des Ausdauertraining von einem gezielten HIT profitieren (Engel & Sperlich, 2014). Jedoch ist speziell in dieser Altersgruppe die Datenlage zur gezielten Steuerung des HIT-Ausdauertrainings und seiner (langfristigen) Wirkung im Jahresverlauf defizitär.

Trotz der variablen Gestaltungsmöglichkeiten von HIT-Protokollen stechen einige häufig verwendete Protokolle in der Literatur deutlich hervor (Paton & Hopkins, 2004; Iaia, Rampinini & Bangsbo, 2009; Stone & Kilding, 2009). Plausible Begründungen für die Protokollwahl fehlen jedoch bislang insbesondere im Nachwuchsleistungssport, obwohl die Abstimmung des HIT-Protokolls auf den Trainingszustand, die sportartspezifische Anforderung und jeweilige Trainingsperiode differenzierte Auswirkungen auf die sportliche Leistungsfähigkeit der Athletin bzw. des Athleten hat (Buchheit & Laursen, 2013).

Zusätzlich bedarf es einer differenzierten Betrachtung der Belastungsverträglichkeit im Kindesalter (Engel & Sperlich, 2014), denn physiologische Reaktionen und leistungslimitierende Mechanismen weisen bei Kindern im Vergleich zum Erwachsenen Besonderheiten auf (Ratel, Duché & Williams, 2006; Kappenstein et al., 2013; Kappenstein et al., 2015), die bei der Gestaltung eines kindgerechten HIT zu berücksichtigen sind.

Für die Trainingspraxis des Nachwuchsleistungssports stellt sich ferner die Frage der Implementierung von HIT in den Jahresverlauf. Ein gezieltes Blocktraining scheint gegenüber klassischen Periodisierungsmodellen Vorteile zu bieten (Issurin, 2010). Im Rahmen eines HIT-Mikroschockzyklus konnten bei Athletinnen und Athleten aus dem Nachwuchsbereich in kurzer Zeit signifikante Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit und partiell der Sprint- und Sprungleistung nachgewiesen werden (Breil et al., 2010; Stöggl, Stiegelbauer, Sageder, & Müller, 2010).

Das Ziel des Projekts bestand in der bis dato fehlenden empirisch begründeten Festlegung geeigneter Steuerungsgrößen von HIT für den Nachwuchsleistungssport auf der Basis von innovativen Daten, die sowohl physiologische und neuromuskuläre als auch psychometrische Belastungsreaktion des Nachwuchsathleten bzw. der -athletin infolge von HIT abbilden. Dazu erfolgte die Evaluation der akuten Belastungsreaktionen und Ermüdungs- bzw. Erholungseffekte sowohl während und nach einzelnen Trainingseinheiten, als auch im Rahmen eines Mikroschockzyklus.

2 Methode

Zur Bearbeitung der vorliegenden Problemstellung wurde das Forschungsprojekt in zwei inhaltlich und methodisch aufeinander aufbauende Untersuchungsabschnitte (UA) unterteilt. Während UA I die Quantifizierung akuter physiologischer, neuromuskulärer und psychometrischer Reaktionen auf fünf unterschiedliche HIT-Protokolle umfasste, wurden in UA II die Belastungsverträglichkeit sowie potentielle Adaptationen infolge eines elftägigen Mikroschockzyklus für zwei ausgewählte Protokolle untersucht, deren Auswahl auf den Ergebnissen aus UA I basierte.

2.1 Untersuchungsabschnitt I

17 Nachwuchsleistungssportler und 16 Erwachsene (Tab. 1) absolvierten innerhalb von fünf Wochen fünf unterschiedlich gestaltete High-Intensity Ausdauertrainingseinheiten (Tab. 2). Die verwendeten HIT-Protokolle repräsentieren die am häufigsten angewandten Varianten und bilden das breite Spektrum von Gestaltungsmöglichkeiten eines HIT ab. Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden die anthropometrischen Daten und die intervallspezifische Ausdauerleistungsfähigkeit im 30-15 Intermittent Fitness Test (IFT) erfasst. Der 30-15 IFT ist ein akustisch gesteuerter intermittierender Ausdauer-Feldtest. Er setzt sich aus Phasen der Belastung (30 s) und Erholung (15 s) zusammen und wird dadurch den spezifischen Anforderungen intervallbasierter Sportarten gerecht. Die erreichte Endgeschwindigkeit (V_{IFT}) korreliert neben der VO_2max auch mit verschiedenen kraft- und schnellkraftbezogenen Parametern (z. B. 10 m Sprintzeit und Sprunghöhe im CMJ) (Buchheit, 2008). Vor, während und nach jeder Trainingseinheit wurden physiologische (Blutlaktat (LA), Blut-pH, Herzfrequenz (HF), Kreatinkinase (CK)), neuromuskuläre (Counter Movement Jump (CMJ)) und psychometrische (Session-RPE, DOMS, TQR) Parameter zur Quantifizierung der akuten Belastungsreaktionen bestimmt. Die individuelle Trainingsintensität wurde für jeden Probanden gemäß der prozentualen Abstufung der im 30-15 IFT erreichten V_{IFT} errechnet.

2.2 Untersuchungsabschnitt II

17 Nachwuchsleistungssportler (U11/12) absolvierten im Rahmen der Saisonvorbereitung einen elftägigen HIT-Mikroschockzyklus (11 HIT-Einheiten à 30 min, 10 Fußballtrainingseinheiten à 60 min) und wurden in zwei Trainingsgruppen (TG_{240} , TG_{15}) gematched (Tab. 3). Zehn weitere Nachwuchsleistungssportler der U11/12 dienten als Kontrollgruppe und absolvierten ein klassisches fußballspezifisches Training (Tab. 4).

Vor (Pre) dem Interventionszeitraum sowie nach einer anschließenden zweitägigen Taperphase (Post I) und nach einer 18-tägigen regulären Trainingsphase (Post II) absolvierten alle Probanden anthropometrische Messungen (Körpergröße, Körpergewicht, fettfreie Masse) sowie diagnostische Test der Ausdauer (spiroergometrischer Laufband-Stufentest, 30-15 IFT), Sprungkraft (CMJ) und Schnelligkeit (30 m-Linear sprint (t30 m), Wiederholungssprint 7 x 30 m), um entsprechende Adaptationen infolge der unterschiedlichen Trainingsinterventionen quantifizieren zu können.

Während des Interventionszeitraums wurden in TG_{240} und TG_{15} physiologische (LA, HF, CK, Speichelcortisol) und psychologische (DOMS) Parameter zur Quantifizierung der akuten und kumulierten Trainingsbeanspruchung erhoben.

Die individuelle Trainingsintensität wurde für jeden Probanden gemäß der prozentualen Abstufung der im 30-15 IFT erreichten V_{IFT} berechnet.

Tab. 1. Anthropometrische Daten und Ausdauerleistung der Probanden in Untersuchungsabschnitt I. Mittelwerte und Standardabweichungen (MW \pm SD). * signifikant.

Stichprobe	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	V _{IFT} (km·h ⁻¹)	VO _{2peak} _{30-15 IFT} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)
Kinder	11,5 \pm 0,5	151,7 \pm 8,9	41,1 \pm 6,0	17,9 \pm 1,0	46,5 \pm 1,7
Erwachsene	25,1 \pm 2,8	183,2 \pm 6,4	80,1 \pm 9,0	19,4 \pm 1,3	53,2 \pm 3,7
ANOVA	p \leq 0,05*	p \leq 0,05*	p \leq 0,05*	p \leq 0,05*	p \leq 0,05*

Tab. 2. HIT-Protokolle. IP = Intraserielle Pause. P = Serienpause.

Protokoll	Protokoll	Intensität (%V _{IFT})	Belastungs-Pausen-Verhältnis
P ₂₄₀	4 x 4 min (IP = 3 min)	80 %	2/1
P ₁₂₀	7 x 2 min (IP = 2 min)	85 %	1/1
P ₃₀	2 x 10 x 30 s (IP = 45 s und P = 3 min)	90 %	1/2
P ₁₅	3 x 9 x 15 s (IP = 30 s und P = 3 min)	95 %	1/4
P ₅	4 x 6 x 5 s (IP = 25 s und P = 5 min)	all out	1/12

Tab. 3. Trainingsintensität der einzelnen HIT Einheiten in Untersuchungsabschnitt II.

Gruppe	Programm	Intensität (% der V _{ift})										
		HIT 1	HIT 2	HIT 3	HIT 4	HIT 5	HIT 6	HIT 7	HIT 8	HIT 9	HIT 10	HIT 11
TG ₁₅	3 x 9 15 sek	95	90	90	95	90	90	90	95	90	95	90
TG ₂₄₀	4 x 4 min	80	70	70	75	75	75	75	75	75	75	75

V_{ift} = maximal erreichte Stufe im 30-15 Intermittent Fitness Test; HIT 1-11 steht für die einzelnen HIT-Einheiten im Interventionszeitraum

Tab. 4. Anthropometrische Daten und Ausdauerleistung der Probanden in Untersuchungsabschnitt II. Mittelwerte und Standardabweichungen (MW \pm SD).

Stichprobe	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	FFM (%)	V _{IFT} (km·h ⁻¹)	VO _{2peak} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)
TG ₂₄₀	10,9 \pm 0,6	146,8 \pm 4,3	37,7 \pm 3,2	80,7 \pm 2,6	17,6 \pm 0,7	59,8 \pm 8,5
TG ₁₅	10,9 \pm 0,6	145,9 \pm 5,8	35,7 \pm 4,3	84,0 \pm 5,8	17,8 \pm 0,6	58,6 \pm 10,4
KG	9,6 \pm 3,6	148,4 \pm 5,6	38,6 \pm 6,1	77,8 \pm 5,9	16,6 \pm 0,7	52,3 \pm 6,9
ANOVA	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchungsabschnitt I

Für die Gruppe der Kinder und der Erwachsenen wurde ein Haupteffekt sowie eine Interaktion ($p < 0,05$) für die akuten Belastungsreaktionen HF, Session-RPE und La mit ansteigenden Werte nach längeren Intervallen von P_{15} zu P_{120} und P_{240} gefunden, während sich Blut-pH entgegengesetzt verhielt. Im Gegensatz dazu resultierten bei den Erwachsenen aus P_5 die höchsten LA-Konzentrationen und Blut-pH-Abfälle. Bei den Kindern resultierten aus P_5 zu P_{120} und P_{240} vergleichbare LA-Konzentrationen und Blut-pH-Abfälle, bei signifikant niedrigeren HF und Session-RPE ($p \leq 0,05$). LA war bei den Erwachsenen durchweg signifikant höher als bei den Kindern, während HF und Blut-pH bei den Erwachsenen signifikant niedriger waren ($p \leq 0,05$) (Tab. 5).

24 h nach den Belastungen waren CK, DOMS und der Abfall der Sprunghöhe im CMJ bei den Erwachsenen nach P_5 signifikant höher im Vergleich zu allen anderen Protokollen ($p \leq 0,05$), bei den Kindern gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Protokollen ($p > 0,05$). Alle drei Parameter waren nach 24 h bei den Erwachsenen signifikant höher als bei den Kindern ($p \leq 0,05$) (Tab. 6).

Tab. 5. Akutreaktionen auf fünf HIT-Protokolle. Mittelwerte und Standardabweichungen (MW \pm SD).
Erw = Erwachsene, Kind = Kinder.

Parameter	Alter	P_{240}	P_{120}	P_{30}	P_{15}	P_5
HF (Schläge/min)	Erw	190 \pm 11	189 \pm 10	185 \pm 9	178 \pm 11	181 \pm 7
	Kind	202 \pm 11	198 \pm 8	197 \pm 7	188 \pm 10	188 \pm 10
LA post (mmol/l)	Erw	10,1 \pm 2,7	10,9 \pm 3,6	7,7 \pm 2,3	4,9 \pm 2,0	12,4 \pm 2,4
	Kind	5,9 \pm 2,3	6,4 \pm 2,2	4,6 \pm 2,4	3,4 \pm 1,3	6,04 \pm 2,99
Blut pH post	Erw	7,32 \pm 0,07	7,30 \pm 0,06	7,36 \pm 0,05	7,40 \pm 0,04	7,26 \pm 0,04
	Kind	7,38 \pm 0,05	7,37 \pm 0,05	7,39 \pm 0,04	7,42 \pm 0,03	7,37 \pm 0,07
Session-RPE	Erw	157,8 \pm 46,3	178,8 \pm 64,3	137,5 \pm 59,0	83,5 \pm 20,0	158,3 \pm 55,9
	Kind	151,4 \pm 49,6	140,7 \pm 52,9	113,8 \pm 64,1	99,0 \pm 61,3	98,3 \pm 40,9

Tab. 6. 24 h-Reaktionen auf fünf HIT-Protokolle. Mittelwerte und Standardabweichungen (MW \pm SD).
Erw = Erwachsene, Kind = Kinder.

Parameter	Alter	P_{240}	P_{120}	P_{30}	P_{15}	P_5
CK post24h (U/l)	Erw	513 \pm 437	434 \pm 173	519 \pm 530	345 \pm 205	735 \pm 517
	Kind	192 \pm 44	220 \pm 65	200 \pm 78	200 \pm 65	220 \pm 84
CMJ post24h (cm)	Erw	37,1 \pm 5,7	37,5 \pm 4,5	37,4 \pm 4,8	37,4 \pm 5,1	35,7 \pm 4,5
	Kind	27,7 \pm 4,6	28,2 \pm 4,4	27,7 \pm 3,9	27,4 \pm 4,2	27,4 \pm 4,8
DOMS post24h	Erw	1,5 \pm 1,9	1,1 \pm 1,3	0,8 \pm 0,7	1,2 \pm 1,1	2,8 \pm 2,2
	Kind	1,0 \pm 1,5	0,3 \pm 0,6	0,5 \pm 1,4	0,1 \pm 0,3	0,5 \pm 1,1

3.2 Untersuchungsabschnitt II

Gruppenübergreifend war der Faktor Messzeitpunkt signifikant und resultierte in einer abnehmenden Ausdauer- (VO_{2peak} , V_{IFT}), Schnelligkeits- (t30 m) und Sprungleistung im CMJ von Pre zu Post I sowie einer Zunahme von Post I zu Post II. Eine tendenziell signifikante Interaktion liegt für VO_{2peak} vor ($p = 0,07$), mit einer signifikanten Steigerung der VO_{2peak} lediglich in T_{15} ($p \leq 0,05$) (Tab. 7). Während des Interventionszeitraums stieg CK in TG_{240} und TG_{15} signifikant auf 366 bzw. 567 U/l an und erreichte Post I wieder den Ausgangswert ($p \leq 0,05$), ohne signifikanten Gruppen- und Interaktionseffekt ($p > 0,05$). Speichelcortisol stieg in TG_{240} und TG_{15} nach den Trainingseinheit im Mittel signifikant an ($p \leq 0,05$), ohne signifikanten Gruppen- und Interaktionseffekt ($p > 0,05$).

Tab. 7. Ausgangswerte und Adaptationen im Rahmen eines elftägigen HIT-Mikroschockzyklus. Mittelwerte und Standardabweichungen (MW \pm SD).

Parameter	Gruppe	Pretest	Posttest I	Posttest II
VO_{2peak} (ml/kg/min)	TG_{240}	59,8 \pm 8,5	57,1 \pm 7,6	59,2 \pm 10,4
	TG_{15}	58,6 \pm 10,4	56,0 \pm 7,0	61,7 \pm 9,4
	KG	53,8 \pm 9,1	51,4 \pm 9,0	51,2 \pm 11,6
t30m (s)	TG_{240}	4,96 \pm 0,19	5,21 \pm 0,22	5,04 \pm 0,28
	TG_{15}	4,91 \pm 0,16	5,08 \pm 0,17	4,89 \pm 0,19
	KG	5,21 \pm 0,29	5,41 \pm 0,24	5,20 \pm 0,29
CMJ (cm)	TG_{240}	25,5 \pm 3,7	25,2 \pm 3,1	27,0 \pm 4,2
	TG_{15}	25,9 \pm 3,0	25,2 \pm 3,1	27,8 \pm 3,6
	KG	24,3 \pm 4,5	22,8 \pm 3,3	27,7 \pm 2,4

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sich HIT-Protokolle mit kurzer und langer Intervalldauer hinsichtlich der akuten Belastungsreaktionen und Ermüdungserscheinungen im Kindesalter nicht unterscheiden und geringere Belastungsreaktionen verursachen als bei Erwachsenen. Im Vergleich der Protokolle zeigte P_{15} in beiden Altersgruppen die geringsten Belastungsreaktionen, was jedoch möglicherweise auf eine im Vergleich geringere Trainingsintensität zurückgeführt werden kann und einer methodischen Anpassung bedarf. Während CK bei den Erwachsenen noch nach 24 h nach P_5 signifikant erhöht und die Leistung im CMJ signifikant vermindert war, wiesen die Kinder 24 h nach keinem der Protokolle akute Ermüdungserscheinungen auf, was insgesamt für eine gute Belastungstoleranz spricht.

Da sich die Belastungsreaktionen der Kinder zwischen den Protokollen, mit Ausnahme von P_{15} , kaum voneinander unterscheiden, sollte die Protokollwahl anhand des sportartspezifischen Anforderungsprofils erfolgen. Protokolle mit kürzeren Belastungsintervallen scheinen jedoch aufgrund des geringeren subjektiven Belastungsempfindens für das Kindesalter besser geeignet.

Im Vergleich der Adaptationsspektren zweier divergierender Protokolle (TG_{240} , TG_{15}) im Rahmen eines elftägigen Mikroschockzyklus kann aus den Ergebnissen eine Präferenz zu Protokoll TG_{15} abgeleitet werden, da im Gegensatz zu TG_{240} und der Kontrollgruppe eine signifikante Steigerung der VO_{2peak} um 5 % zu verzeichnen war und sich die akuten Belastungsreaktionen zwischen TG_{240} und TG_{15} nicht unterschieden. Hinsichtlich der Schnelligkeitsleistung zeigten sich keine Veränderungen in den drei Gruppen. Jedoch sollten hinsichtlich TG_{15} das Verletzungsrisiko infolge einer einseitigen hohen Belas-

tung bei der wiederholten Integration in das Training berücksichtigt werden, was die Anwendungsempfehlung im Rahmen eines Mikroschockzyklus einschränkt.

Da Speichelcortisol nach beiden HIT-Protokollen signifikant angestiegen ist und sich somit als mögliche Kontraindikation im Kindesalter erweisen könnte, bedarf es an dieser Stelle weiterer Forschung hinsichtlich mittel- und langfristiger Belastungsreaktionen. Ebenso bleibt die Nachhaltigkeit einer derartigen Intervention über einen Zeitraum von zwei Monaten hinaus zu evaluieren.

5 Literatur

- Breil, F.A., Weber, S.N., Koller, S., Hoppeler, H. & Vogt, M. (2010). Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO_{2max} and performance. *European journal of applied physiology*, 109, 1077-1086.
- Buchheit, M. (2008). The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *Journal of strength and conditioning research*, 22, 365-374.
- Buchheit, M. & Laursen, P.B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports medicine*, 43, 313-338.
- Engel, F. A. & Sperlich, B. (2014). (Hoch-)intensives Intervalltraining mit Kindern und Jugendlichen im Nachwuchsleistungssport. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 164, 228-238.
- Faude, O., Meyer, T., Scharhag, J., Weins, F., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2008). Volume vs. Intensity in the Training of Competitive Swimmers. *International journal of sports medicine*, 17, 241-248.
- Iaia, F.M., Rampinini, E. & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International journal of sports physiology and performance*, 4, 291-306.
- Issurin, V.B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports medicine*, 40, 189-206.
- Kappenstein, J., Engel, F., Fernández-Fernández, J. & Ferrauti, A. (2015). Effects of active and passive recovery on blood lactate and blood pH after a repeated sprint protocol in children and adults. *Pediatric exercise science*, 27, 77-84.
- Kappenstein, J., Ferrauti, A., Runkel, B., Fernández-Fernández, J., Müller, K. & Zange, J. (2013). Changes in phosphocreatine concentration of skeletal muscle during high-intensity intermittent exercise in children and adults. *European journal of applied physiology*, 113, 2769-2779.
- Paton, C.D. & Hopkins, W.G. (2004). Effects of High-intensity Training on Performance and Physiology of Endurance Athletes. *Sport science*, 8, 25-40.
- Ratel, S., Duché, P. & Williams, C.A. (2006). Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. *Sports medicine*, 36 (12), 1031-1065.
- Sperlich, B., Hoppe, MW. & Haegeler, M. (2013). Ausdauertraining – Dauermetode versus intensive Intervallmethode im Fußball. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64, 10-17.
- Stöggl, T., Stieglbauer, R., Sageder, T. & Müller, E. (2010): Hochintensives Intervall- (HIT) und Schnelligkeitstraining im Fußball. *Leistungssport*, 40, 43-49.
- Stone, N.M. & Kilding, A.E. (2009). Aerobic Conditioning for Team Sport Athletes. *Sports medicine*, 39, 615-642.

5.1 Projektbezogene Veröffentlichungen

- Kappenstein, J., Slopianka, M., Wiewelhove, T. & Ferrauti, A. (2014). Adaptationen und Belastungsverträglichkeit eines elftägigen HIT-Mikrozyklus im Nachwuchsleistungssport. In L.K. Maurer, F. Döring, K. Ferger, H. Maurer, M. Reiser & H. Müller (Hrsg.), *Trainingsbedingte Veränderungen – Messung, Modellierung und Evidenzsicherung* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 237, S. 33). Hamburg: Feldhaus.
- Slopianka, M., Kappenstein, J., Wiewelhove, T. & Ferrauti, A. (2014). Akutreaktionen des Nachwuchssathleten auf variierende HIT-Protokolle. In L.K. Maurer, F. Döring, K. Ferger, H. Maurer, M. Reiser & H. Müller (Hrsg.), *Trainingsbedingte Veränderungen – Messung, Modellierung und Evidenzsicherung* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 237, S. 34). Hamburg: Feldhaus.
- Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Acute Responses and Muscle Damage in Different High-Intensity Interval Running Protocols. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, Feb 10. [Epub ahead of print].