

Sperlich B, Hoppe MW, Haegele M

Ausdauertraining – Dauer- versus intensive Intervallmethode im Fußball

Endurance Exercise – High Volume vs. High-Intensity Interval Training in Soccer

Bergische Universität Wuppertal – Betriebseinheit Sportwissenschaft

ZUSAMMENFASSUNG

In Anbetracht der teilweise sehr hohen Trainings- und Spieldichte und damit gestiegenen metabolischen Anforderung im (Profi-) Fußball ergibt sich insbesondere in Trainerkreisen die Frage, mit welcher Ausdauertrainingsmethode sowohl die Grundfitness als auch die spezielle aeroben und anaeroben Fähigkeiten in der 1) Vorbereitungsperiode entwickelt sowie 2) während der Saison aufrechterhalten werden können. In diesem Zusammenhang wird mit dem „High Intensity Interval Training“ oder „(Hoch-) intensiven Intervalltraining (HIIT)“ aktuell eine Trainingsmethode wieder in den wissenschaftlichen und sportpraktischen Fokus gerückt. Obwohl umfangsorientiertes Ausdauertraining („high-volume training“ [HVT]) eine wichtige Basis für den sportlichen Erfolg ist, und auch Ausdauerspezialisten nach wie vor die meiste Zeit in diesem Intensitätsbereich trainieren, belegen jedoch immer mehr Studien die Wirksamkeit von HIIT und decken mögliche Adaptationsmechanismen auf, die denen des HVT ähneln oder sie sogar übersteigen. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass ab einem gewissen Trainingsstatus nur noch HIIT zu einer weiteren Ausdauerleistungssteigerung im Fußball führt. Sowohl die hohe Wettkampfdichte im Profifußball als auch der begrenzt zur Verfügung stehende Zeitraum, um konditionelle Fähigkeiten zu entwickeln, schaffen den Bedarf effizienter und effektiver Methoden, um sowohl aerobe als auch anaerobe Mechanismen der Energiebereitstellung zu verbessern und so die Ausdauerleistungsfähigkeit zu steigern. Trainingsstudien im Fußball zeigen, dass HIIT in der Lage ist, neben grundlagenorientiertem Ausdauertraining diese Trainingsziele zu erreichen. HIIT kann aufgrund der geringen zeitlichen Beanspruchung auch während der Saison mit Erfolg eingesetzt werden.

Schlüsselwörter: Ausdauertraining, High-Intensity Interval Training, High-Volume Training, Sauerstoffaufnahme.

EINLEITUNG

In Anbetracht der teilweise sehr hohen Trainings- und Spieldichte und damit gestiegenen metabolischen Anforderung im Fußball gewinnt die Ausdauerleistungsfähigkeit als eine wichtige Komponente der konditionellen Faktoren im Sinne einer „Grundfitness“ weiter an Bedeutung. In der (populär-) wissenschaftlichen Literatur wird seit geraumer Zeit eine „neue“ Trainingsform zur Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit diskutiert: „High-intensity Intervall Training“ oder deutsch: „(Hoch-) intensives Intervalltraining (HIIT)“. In Fachkreisen werden die unterschiedlichen Trainings- und Gesundheitseffekte von HIIT (hohe Intensität, kurze Dauer) und der Dauer- versus Intervallmethode („High-Volume-Training“, niedrige Intensität, lange Dauer) diskutiert (9,39,58,60,73). HIIT wird dabei mit maximaler (ca. 90-100% der maximalen Laufgeschwindigkeit, Herzfrequenz oder Sauerstoffaufnahme) und supramaximaler (>100%) Belastungsintensität sowie unterschiedlicher Belastungsdauer (15s-8min) bzw. Pausenlänge (45s-8min) und meist mit einer Blockung zwischen zwei und 12 Wochen durchgeführt (60).

SUMMARY

Given the high training load and match density in (professional) soccer, especially coaches raise the question of how basic fitness and specific aerobic and anaerobic abilities can be 1) developed during the preparation period, and 2) maintained during the season. In this context, "high-intensity interval training" (HIIT) has become increasingly popular for practitioners and scientists. Analysis of elite athletes' training strategies reveal great amounts of high volume training (HVT), showing its importance for success in endurance events. However, new focus of scientific research documents the efficiency of HIIT and discloses potential underlying mechanisms which seem to be similar to those of HVT and even beyond. Furthermore, it seems that after having reached a certain training status, further improvements in endurance performance can only be accomplished by applying HIIT. The high number of competitions as well as the limited training time available to develop endurance performance require an efficient training regime in soccer. Soccer-related studies utilizing HIIT showed significant improvements in endurance performance accompanied by central and peripheral adaptations. HIIT in combination with HVT is an efficient strategy to improve endurance performance in soccer even during the season. Exercise strategies in which HIIT as well as HVT are performed condensed or in blocks, seem to be time-saving and beneficial.

Key Words: Endurance exercise, high-intensity interval training, high-volume training, oxygen uptake.

ximaler (>100%) Belastungsintensität sowie unterschiedlicher Belastungsdauer (15s-8min) bzw. Pausenlänge (45s-8min) und meist mit einer Blockung zwischen zwei und 12 Wochen durchgeführt (60).

Eine Frage, die sich insbesondere Fußballtrainer/innen vielfach stellen, ist, mit welcher Ausdauertrainingsmethode sowohl die Grundfitness als auch die spezielle aeroben und anaeroben Fähigkeiten in der 1) Vorbereitungsperiode entwickelt sowie 2) während der Saison aufrechtgehalten werden können.

accepted: December 2012

published online: January 2013

DOI: 10.5960/dzsm.2012.052

Sperlich B, Hoppe MW, Haegele M: Ausdauertraining – Dauer- versus intensive Intervallmethode im Fußball. Dtsch Z Sportmed 64 (2013) 10-17.

SPIELCHARAKTERISTIK UND PHYSIOLOGISCHES BEANSPRUCHUNGSPROFIL IM FUSSBALL

Zahlreiche Laufweg- und Aktionsanalysen im Fußball belegen ein intermittierendes Bewegungsspektrum mit submaximaler bis maximaler Bewegungsgeschwindigkeit unterschiedlicher Dauer (5,86), davon ca. 30-40 Sprints (68) und Änderungen des Bewegungsmusters jede 3-5s (50). Im Fußball werden je nach Liga eine Gesamtlaufstrecke von 10-12km pro Spiel absolviert (86), davon ca. 2-3km mit einer Laufgeschwindigkeit über 15km/h sowie 600m über 20km/h (sprintend) (50). In niedrigeren Spielklassen ist zwar die Gesamtlaufstrecke von 10-12km ähnlich hoch, jedoch werden weniger (hoch-) intensive Läufe und Sprints absolviert (68). Bei den Laufweganalysen fällt zudem auf, dass die Laufstrecken mit hohen Geschwindigkeiten 1) mit der Spieldauer um 20-40% sowie 2) unmittelbar nach intensiven Laufphasen um 6-12% abnehmen (15,27,68,86).

Infolge des oszillierenden Bewegungsmusters kommt es zu rapiden Änderungen des Sauerstoffbedarfs in der Muskulatur. Eine Vielzahl an Studien hat die körperliche Beanspruchung im Fußball sowie die Effekte des Konditionstrainings bei Fußballspielern unterschiedlicher Leistungs- und Altersklassen untersucht (15,32,51,67,68,71,80). Die Sauerstoffaufnahme liegt im Durchschnitt bei 70-80% der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) (6,41), wobei Laufgeschwindigkeiten nahe oder jenseits der VO_{2max} auftreten (4). Daher scheint es einleuchtend, dass die Energiebereitstellung im Fußballspiel zu ca. 90% aerob erfolgt (5). Aufgrund der ca. 200 Aktionen im Fußballspiel (68) mit (hoch-) intensiver muskulärer Arbeit (wiederholtes Beschleunigen, Abbremsen, Sprünge etc.) wird zusätzlich Adenosintriphosphat (ATP) aus dem Abbau von muskulärem Kreatinphosphat (CrP) und der anaeroben Glykolyse bereitgestellt.

Im Vergleich zu Ausdauer spezialisten aus dem Mittel- und Langstreckenlauf ist die VO_{2max} von Fußballspielern je nach spieltaktischer Position mit 55-67mL/kg/min (46) als gut ausdauertrainiert einzustufen. Dabei zeigen Mannschaften in niedrigeren Spielklassen kaum Unterschiede in der VO_{2max} zu höheren Spielklassen (96). Spielerinnen weisen mit 39-58mL/min/kg (86) eine geringere VO_{2max} als männliche Spieler auf. Im Gegensatz zu den Spezialisten in Individualsportarten müssen Fußballspieler/innen nicht unbedingt eine außergewöhnliche Fähigkeit auf allen konditionellen Ebenen (Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit) besitzen, lediglich ein gewisser Ausprägungsgrad ist notwendig (50).

AUSDAUERTRAININGSMETHODEN IM FUSSBALL

Fußballspezifischen Lehrbüchern zufolge wird das Ausdauertraining zum Ausbau und Erhalt der „allgemeinen und spezifischen Grundlagenausdauer“ und „wettkampfspezifische Ausdauer durch Laufformen oder Spielformen“ trainiert (13). Zu den Methoden gehören: 1) Die „kontinuierliche oder diskontinuierliche Dauer methode“ ($Hf < 150S/min$, Blutlaktatkonzentration $< 3mmol/L$, Dauer: 30-60min), 2) die „extensive oder intensive Intervallmethode“ ($Hf < 120-160S/min$, Blutlaktatkonzentration 3-7mmol/L, Dauer: 45-60min), 3) die Wiederholungsmethode ($Hf: 140-180S/min$, Blutlaktatkonzentration 4-8mmol/L, Dauer: 60-80min) und 4) die „Wettspielmethode“ ($Hf < 120-180S/min$, Blutlaktatkonzentration $< 3-8mmol/L$, Dauer: 60-90min, Einzelbelastung 20s-

10min) (13). Ähnliche Strukturierungsmodelle sind in anderen Trainingsbüchern im Fußball zu finden (16,24,66,77,89,95). Aus praktischer und wissenschaftlicher Sicht sind diese jedoch kritisch zu hinterfragen. Eine klare Abgrenzung physiologischer Belastungskennziffern wie beispielsweise der Herzfrequenz $< 120S/min$ ist beim intensiven Intervalltraining kaum vorstellbar, es sei denn, es besteht eine krankhaft gestörte Herzfrequenzregulation. Die obere Begrenzung von 160S/min im intensiven Intervalltraining ist für den einzelnen Spieler evtl. zu niedrig. Eine Orientierung an individuellen maximalen Steuerungsgrößen (z.B. % der maximalen Laufgeschwindigkeit, Herzfrequenz oder Sauerstoffaufnahme) ist aus trainingsmethodischer Sicht zu bevorzugen.

Allerdings scheint in der deutschsprachigen Fußball-Literatur, die wichtige Theoriegrundlagen für Trainer/innen und Studierende darstellt, kein Konsens über die Inhalte und den wesentlichen Aufbau des Ausdauertrainings zu herrschen. Hierzu drei verschiedene Auffassungen: 1) „Das Training innerhalb der Vorbereitungsperiode soll vom Umfang her stark und schnell ansteigen, die Trainingsintensität dagegen erst am Ende der Periode angehoben werden“ (16). 2) „Zu Beginn der Vorbereitungsperiode ist es üblich, dass Dauerläufe das Trainingsprogramm dominieren. [...] Wir glauben, dass die Verwendung dieser Trainingsinhalte in den ersten 2-3 Trainingseinheiten sinnvoll ist. Daran anschließend ist es aber notwendig, zum Fußballspiel überzugehen [...]“ (77). 3) „Daher stehen in den ersten 3-4 Wochen mindestens zweimal wöchentlich Läufe mit niedriger Intensität (so dass man sich dabei noch unterhalten kann) im Vordergrund. [...] Nach diesen drei Wochen Grundlagenausdauer-Training wird das Ausdauertraining mit wechselnder Intensität durchgeführt, d.h. das Tempo wird angezogen bis zur Atemnot – jedoch nicht bis zur Erschöpfung – und anschließend abgesenkt bis zur Atemberuhigung“ (95).

Insbesondere in den leichtathletischen Ausdauerdisziplinen wird seit den 1980er Jahren eine Überlegenheit kontinuierlicher, niedrig-intensiver Belastungsformen („aerobes Grundlagentraining“) gegenüber intensiveren Kurzzeit-Intervallbelastungen propagiert. Entsprechend sind in älteren Lehrbuchausgaben folgende Begründungen für die Bevorzugung kontinuierlicher Methoden zu finden (48) und werden auch vielfach noch in Trainerkreisen gelehrt: 1) „Einschleifen eines dynamisch-motorischen Stereotyps“, 2) „bessere psychische Gewöhnung an eine auch im Wettkampf kontinuierlich zu absolvierende Distanz“ und 3) „gezieltes Stoffwechseltraining hinsichtlich der die aeroben Stoffwechselforgängen fördernden biochemischen Prozesse“.

Im Gegensatz dazu wurde HIIT schon vor 100 Jahren von Olympiasiegern wie Hannes Kolehmainen (1912), Paavo Nurmi (1920-1928) und Emil Zátopek (Olympiasieger 1920-1928) erfolgreich praktiziert und in grundlegenden trainingsphysiologische Arbeiten des vorigen Jahrhunderts dokumentiert (72). HIIT ist in den letzten Jahren wieder verstärkt in den wissenschaftlichen und sportpraktischen Fokus gerückt und hält Einzug nicht nur in die Spielsportarten (17,28) sondern auch in die Rehabilitation und Prävention (39,73). Bei HIIT werden wiederholt Belastungen hoher bis höchster Intensität absolviert, wobei je nach Studie die Intensität bei 75% - 170% der maximalen VO_{2max} (42,60,90), 90% - 100% der Hf_{max} (42) bzw. 80% - 175% der maximalen Leistung (60) durchgeführt wird. Die Dauer der Intervalle beträgt je nach Protokoll 15s-8min bei einer Anzahl von 4-47 Wiederholungen (35,42,60). Auch der Länge und Art der Pausengestaltung (aktiv

vs. passiv) (8,12) sowie HIIT mit Ball im Kleinfeldspiel wie z.B. „3 gegen 3“ oder „4 gegen 4“ (19,45,51,54,67,71,70) kommt eine wichtige Bedeutung zu. Die derzeitigen Studien zu HIIT umfassen lediglich einige Wochen bis Monate, so dass hinsichtlich der Nachhaltigkeit zukünftige Studien, insbesondere im Fußball, von Nöten sind.

EFFEKTE VON HIIT IM FUSSBALL

Einen guten Überblick sämtlicher HIIT Studien im Fußball liefern drei Übersichtsartikel, in denen die Trainingsstudien über einen Zeitraum von 5-12 Wochen mit 2-3 Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt wurden (50,86,87). In einer zentralen Studie hat eine norwegische Arbeitsgruppe (42) vier in der Trainingswissenschaft häufig verwendete Trainingsprotokolle ohne Ball miteinander verglichen: 1) HVT „Grundlagenausdauertraining“ bei 70% der Hf_{max} , 2) Laufgeschwindigkeit an der „Laktatschwelle“ bei ca. 85% Hf_{max} , 3) HIIT mit 47 x 15s-Läufen bei 90-95% Hf_{max} und einer aktiven 15s-Pause bei 70% Hf_{max} und 4) 4x4min bei 90-95% Hf_{max} jeweils gefolgt von 3min Pause mit Läufen bei 70% Hf_{max} . Die Zunahme der VO_{2max} beim 15/15-Protokoll sowie 4x4min-Protokoll lag signifikant bei 5,5 bzw. 7,2%, allerdings ohne Verbesserung der Laufökonomie und der laktatbasierten Schwellengeschwindigkeit. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch andere Arbeitsgruppen unter Verwendung des 4x4min-Protokolls (19,32,41,51,67). HIIT-Studien im Fußball haben gezeigt, dass eine Verbesserung der VO_{2max} von ca. 0,5-0,7% pro Trainingseinheit (7,41,67,80) möglich ist. Obwohl die Effektivität des 4x4min Intervalltrainingsprotokolls zur Steigerung der VO_{2max} (19,32,41,51,67,80), der Laufleistung im Yo-Yo- und Shuttle-Run Test (32,83) sowie der Laufleistung im Spiel (41,51) nachgewiesen ist, haben auch andere Intervall-Protokolle mit geringerer Intervalllänge (28,45,82) hohe Effekte auf diese Parameter gezeigt. Weiterhin führte ein einmal pro Woche durchgeführtes Intervalltraining im Kleinfeldspiel (2-4min Belastungsdauer; 1-2min Pause; insgesamt 30min) zu einer Steigerung der aeroben und anaeroben Ausdauerleistungsfähigkeit um 5-15% und könnte daher einem Leistungsabfall gegen Ende der Spielhälfte vorbeugen (52).

Manche Trainer/innen propagieren, das Ausdauertraining im Fußball mit Ball zu trainieren. In der Tat haben etliche Studien die Effekte von HIIT mit Ball auf die Ausdauerleistungsfähigkeit untersucht (19,45,51,67). Durch das Training mit Ball wird das Herzkreislaufsystem sowie der Stoffwechsel ebenso gefordert wie durch das Intervalltraining ohne Ball (47). Auch durch das Ausdauertraining mit Ball ist eine Zunahme der Sauerstoffaufnahme von 7-9% nach 10-12 Wochen zu erwarten (51,67). Eine Steuerung der Belastungsintensität mittels Herzfrequenz beim Intervalltraining mit Ball wird dabei empfohlen (47). Letztlich ist die Intensität bei Spielformen mit Ball abhängig von der Zielstellung, Anzahl der Spieler, Spielfeldgröße und der Anfeuerung des Trainerstabs.

PERIODISIERUNG IM FUSSBALL

Eine Herausforderung für den Trainerstab ist die geschickte Terminierung und Aneinanderreihung der zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten von Trainingsvariablen (Ausdauer-,

Kraft-, Schnelligkeits-, Technik- und Taktikinhalte etc.), was sicherlich erklärt, dass keine allgemeingültigen Periodisierungsmodelle im Fußball existieren. In der Saisonplanung stehen mit der Vorbereitung auf die erste und zweite Saisonhälfte im Junioren-, Amateur- und Profibereich ca. 4-6 Wochen zum Ausbau konditioneller Faktoren zur Verfügung, die nach allen Regeln der trainingswissenschaftlichen Kunst vielfältig planbar sind. Bei der Trainingsplanung müssen die unterschiedlichen Spielklassen berücksichtigt werden. In unteren Spielklassen werden 2-6 Trainingseinheiten pro Woche absolviert. Mit zunehmendem Leistungsvermögen steigert sich die Anzahl der Trainingseinheiten auf bis zu zwei Einheiten pro Tag. Diese Konzentration an Trainingseinheiten hat direkte Konsequenzen auf die Regenerationszeit zwischen den Trainingseinheiten. „Geblocktes Training“ im Sinne eines Trainingslagers oder „Condensed-Training“ mit mehreren Trainingseinheiten pro Tag und Woche wird meist nur in den höheren Spielklassen durchgeführt.

Periodisierte Trainingsmodelle mit systematischem Wechsel von Umfang und Intensität haben höhere Trainingseffekte gezeigt als lineare Trainingsmodelle („Umfang vor Intensität“) (33). Wesentliche Gründe für die höhere Effektivität des periodisierten Trainingsmodells ist sicherlich im Training der verschiedenen Muskelfasertypen, neuronalen Aktivierung und Nutzung verschiedener Energiebereitstellungswege durch die unterschiedliche Reizsetzung erklärbar (93).

Wöchentliche Periodisierungsmodelle, auch als Mikrozyklen bezeichnet, während der Fußballsaison hängen im Wesentlichen von der Leistungsklasse bzw. der zur Verfügung stehenden Trainingseinheiten und der zu absolvierenden Spiele ab (vgl. Abb. 1). Im Spitzenfußball sind mitunter zwei Spiele pro Woche über einen längeren Zeitraum, die sogenannten „Englischen-Wochen“, möglich. So ergibt sich eine andere Wochenperiodisierung als bei niederklassigen Mannschaften mit nur einem Spiel pro Woche. Dies hat letztlich Konsequenzen für das geplante Ausdauertraining. Während im Profifußball bei einem Spiel pro Woche oftmals mittwochs oder donnerstags ein intensiver Trainingsreiz (z.B. HIIT) gesetzt werden kann, erfolgt in der Regel kein HIIT innerhalb der Englischen-Wochen, bei denen die Regeneration und das mannschaftstaktische Verhalten im Vordergrund stehen. In Abb. 1 ist exemplarisch ein möglicher Mikrozyklus einer Landesliga- und einer Bundesligamannschaft während unterschiedlicher Zeitpunkte in der Saison dargestellt. Anzumerken bleibt ferner, dass Spieler, die am Wochenende nicht zum Einsatz kommen, keine Zunahme der VO_{2max} im Saisonverlauf zeigen (55), so dass sich das Ausdauertraining für Spieler mit und ohne Spieleinsatz unterscheiden sollte.

Kürzlich wurde die Effektivität eines geblockten hochintensiven Intervalltrainings oder des „Schockmikrozyklus“ untersucht. 13 HIIT Einheiten (4x4min Dribbelparcours) in 10 Tagen führten bei norwegischen Fußballspielern zu einer Zunahme der VO_{2max} um 7,3% (86).

Retrospektive Trainingsanalysen bei hochausdauertrainierten Athleten im Rudern (84,85), Skilanglauf (75), Radsport (74), Marathonlauf (10) etc. zeigten, dass diese Athleten zumeist einem polarisierten Trainingsregime folgen, wobei ein Großteil (ca. 75%) der Trainingseinheiten mit niedriger Intensität (unterhalb 2 mmol/L Blutlaktat, (75)) und hohen Umfängen absolviert wird (75). Dabei erfolgt nur ein marginaler Anteil im Bereich der anaeroben Schwelle (7% der Trainingszeit), die restliche

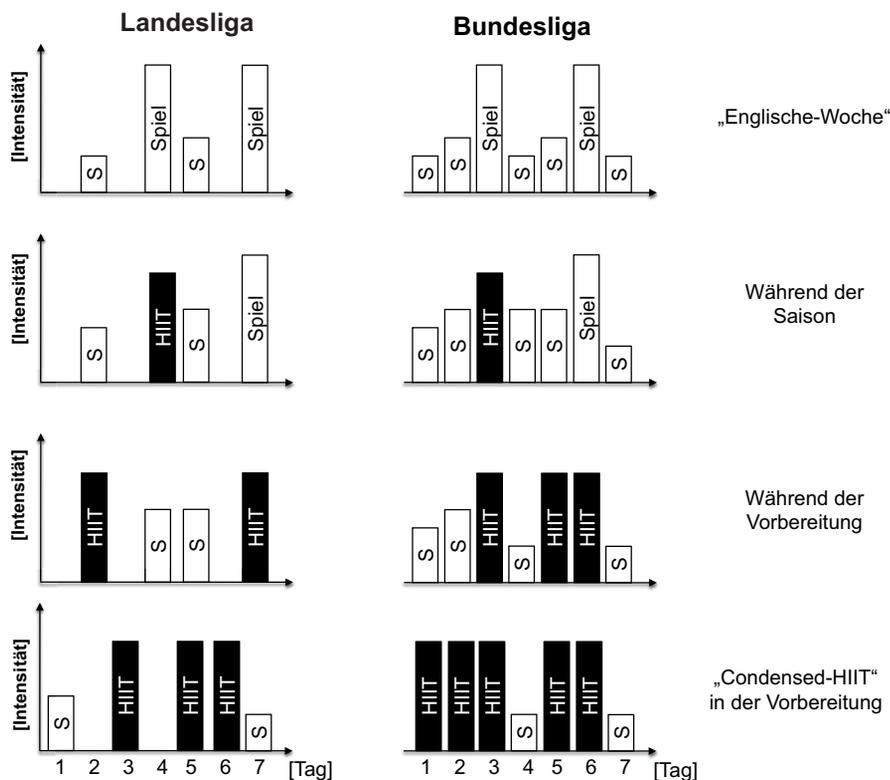
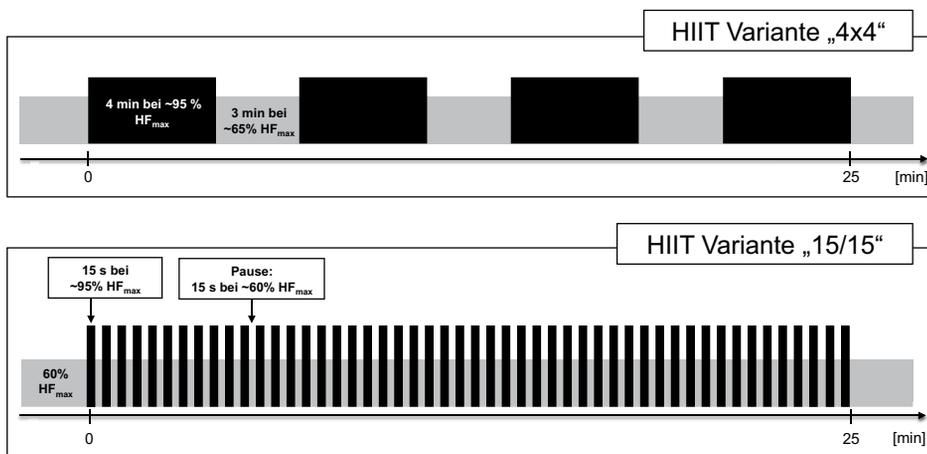


Abbildung 1: Exemplarischer Mikrozyklus (Wochenzyklus) einer Landesliga- und einer Bundesligamannschaft während unterschiedlicher Zeitpunkte in der Saison. Beispielhaft sind darüber hinaus zwei in der Vergangenheit erfolgsversprechende HIIT-Varianten aufgeführt (In Anlehnung an (42)). Anzumerken bleibt, dass es sich bei der Illustration lediglich um einen Periodisierungsvorschlag handelt. HIIT = Intensives Intervalltraining; S = sonstige Trainingsinhalte mit geringer bis moderater Intensität (z.B. regenerative Maßnahmen, Technik-/ Taktiktraining etc.).



Trainingszeit (15-20%) wird im intensiven (oberhalb 4mmol/L Blutlaktat,) Bereich absolviert (75). Im Gegensatz zu der Intensitätsverteilung von Ausdauersportlern zeigte eine andere retrospektivische Analyse mit norwegischen Fußballprofis eine Gleichverteilung der zuvor genannten Intensitätsanteile (3). Dieser Studie zufolge scheinen im Profifußball niedrig intensive Ausdaueranteile verhältnismäßig weniger häufig trainiert zu werden, als bei Ausdauerathleten. Nach Stolen und Mitautoren würde diese Verteilung Sinn ergeben, da niedrig intensives Ausdauertraining ohnehin in technischen und taktischen Trainingselementen vorkommt (86).

HIIT VS. HVT: ZENTRALE UND PERIPHERE ANPASSUNGEN

Die Trainingsanpassungen in der Folge von HIIT und HVT sind vielschichtig und hängen zum einen von 1) Intensität, Dauer sowie Art

der Erholung und 2) vom Trainingszustand des Spielers ab (Tab.1). Wird häufig derselbe Trainingsreiz wiederholt (in diesem Fall nur HIIT-ähnliche Protokolle oder nur HVT-Protokolle), führt dies in der Folge zu einer schwachen Homöostaseänderung und stellt somit keinen weiteren Stimulus für Trainingsadaptation dar (60).

ZENTRALE UND PERIPHERE ANPASSUNGEN VON HVT

Niedrigintensives Ausdauertraining (65-75% VO_{2max} (60) bzw. <80% der Hf_{max} (60)) führt bei mäßig Ausdauertrainierten zu einer Reihe funktionaler sowie morphologischer Veränderungen, die sowohl zentral als auch peripher stattfinden. HVT führt bei Untrainierten zu einer Zunahme des Schlag- (37) und Plasmavolumens (36) sowie des muskulären Blutflusses (23). Diese Anpassungen erfolgen relativ schnell (ca. nach 3 Tagen Training (36)), allerdings scheint ein größerer Trainingsaufwand (ca. 3-5 Wochen bei 3-5 Trainings-

Tabelle 1: Wesentliche Charakteristika von (hoch-) intensivem Intervalltraining (HIIT) und umfangsorientiertes Ausdauertraining (HVT).

HIIT	HVT	Gemeinsamkeiten von HIIT und HVT
<ul style="list-style-type: none"> • Variable Trainingsform die abwechslungsreich ins Training implementiert werden kann • Vielfältige aerobe und anaerobe sowie zentrale und periphere Anpassungen bei geringer Trainingszeit (60) • Trainingsreiz auch für bereits Ausdauertrainierte (59) • Verbesserte Pufferkapazität der Skelettmuskulatur (92) • Fähigkeit mehr Muskelfasern zu rekrutieren (64) • Näher am fußballspezifischen Beanspruchungsprofil und daher bessere Gewöhnung an die Spielbelastung • Entspricht bei Kindern- und Jugendlichen dem natürlichen Bewegungsverhalten • Keine Datenlage zu Langzeiteffekten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Trainingsumfänge mit zeitlicher Beanspruchung • Monotonie im Training • Schnelligkeitsverlust (?) • „Einfacher“ • „dosierbarer“ • Mehr erforscht 	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassungen aerober Stoffwechselprozesse • Trainingserfolg schon nach kurzer Zeit (je nach Trainingsstatus) • Gefahr der Überbelastung (11) • Gefahr der Leistungsstagnation bei chronischer Anwendung (60) • Verbesserte Erholungsfähigkeit

einheiten pro Woche) nötig zu sein, um weitere Anpassungen, wie einen Anstieg der VO_{2max} (44) und der Kapillar- und Mitochondriendichte (49) in der Arbeitsmuskulatur hervorzurufen. Weiterhin führt HVT zu einer geringeren Glukose- und Muskelglykogenutilisation (20,53), einer erhöhten Pufferkapazität und einer niedrigeren Laktatkonzentration bei gleicher absoluter Leistung (38).

Im Gegensatz zum untrainierten weist der trainierte Muskel bereits eine dreifach höhere Kapillardichte, eine drei- bis vierfach höhere Aktivität von aeroben Enzymen sowie eine höhere Anzahl an Typ I Muskelfasern auf (43). Nach bestehender Auffassung gehen Experten davon aus, dass bei Ausdauertrainierten bereits alle kardiorespiratorischen Anpassungen, die durch HVT zu erzielen sind, erfolgt sind (60). Aus diesem Grund scheint eine weitere Steigerung des Trainingsumfangs mit HVT keinen weiteren leistungssteigernden Effekt zu haben (21,22,57,63). Londeree et al. gehen davon aus, dass ein Sportler, der eine VO_{2max} von 60 mL/kg/min erreicht hat, diese nur noch durch einen Anstieg in der Trainingsintensität steigern kann (63). In diesem Zusammenhang zeigte eine Metaanalyse, dass bei hoch Ausdauertrainierten eine reine Umfangssteigerung zu keiner weiteren Leistungssteigerung führt (63). Die Nennung eines fixen VO_{2max} -Wertes (ca. 60 mL/kg/min (63)), bis zu dem HVT und HIIT zur Ausdauerverbesserung wirksam sein soll, ist kritisch zu sehen. Ursache hierfür ist, dass die VO_{2max} nicht nur durch das vorherige Training, sondern auch zu einem hohen Grad genetisch determiniert ist (14). Im Einzelfall ist daher im Trainingsprozess abzuklären, ob ein Spieler von HIIT und/oder HVT profitieren kann. Erwähnenswert ist sicherlich, dass bei wissenschaftlichen Trainingsstudien der Effekt der Intervention meist durch einen post-Test unmittelbar oder kurze Zeit nach Studienende im Vergleich zu Baselinebedingungen interpretiert wird. Es ist durchaus anzunehmen, dass etwaige HVT-bedingte Trainingseffekte zeitlich gesehen, aufgrund einer evtl. verlängerten Anpassungszeit erst später zu detektieren sind (58).

Wenngleich ein rein umfangsorientiertes Training nicht die volle Leistungsfähigkeit eines Hochtrainierten auszuschöpfen vermag, so ist die aerobe Kapazität dennoch aus vielerlei Gründen wichtig für den sportlichen Erfolg. So ist diese Basis für Gesundheit, schnelle Erholung, neuromuskuläre Kopplung als auch für einen effizienten Muskelstoffwechsel (58,76,94). Nicht umsonst ist das Training von Weltklasse-Ausdauerathleten zu einem großen Teil (ca. 75%) von einer geringen Intensität (unterhalb der ersten ventilatorischen Schwelle) geprägt, auch wenn deren eigentliche Wettkampfindensitäten weit darüber liegen (75).

Zusammengefasst führt submaximales, umfangsorientiertes Training bei nicht bis mäßig Trainierten zu einer Ökonomisierung des Muskelstoffwechsels sowie des Herz-Kreislauf-Systems (60) und schlussendlich zu einer Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Im Gegensatz dazu scheinen hoch Ausdauertrainierte auf HVT nicht oder nur noch zu geringem Teil mit einer Ökonomisierung des kardiorespiratorischen Systems bzw. Muskelstoffwechsels zu reagieren. Ein leistungssteigernder Effekt ist hier nicht mehr zu erwarten.

ZENTRALE UND PERIPHERE ANPASSUNGEN VON HIIT

Zunehmend werden neue Erkenntnisse über systemische und molekulare Anpassungen in Folge von HIIT veröffentlicht: So führt HIIT bei mäßig Trainierten zu einer vermehrten Kapillarisation der Skelettmuskulatur (30) mit zellulären Anpassungen von Typ I- (62) und II-Muskelfasern (9) mit einhergehender Aktivitätssteigerung wichtiger Enzyme des aeroben (z.B. Zitratsynthase (65)) und anaeroben Stoffwechsels (z.B. Hexokinase und Phosphofruktokinase (65)). Diese wesentlichen Anpassungen gehen einher mit einer erhöhten Fett- und einer geringeren Glykogenverstoffwechslung (30) sowie mit gesteigerten Leistungsparametern und VO_{2max} (2,18,25,26,35,56,60,78). Ergänzt werden sollte, dass HIIT den Laktattransport über vermehrt exprimierte Transportproteine (Monocarboxylattransporter vom Typ 1) beeinflusst (40) und somit den Laktat- und H^+ -Ionen austausch der Zelle fördert.

Trotz des mittlerweile wissenschaftlichen Nachweises der qualitativen Anpassung mitochondrialer Strukturen nach HIIT (18,25,26,35) hält sich nach wie vor als wesentliches Gegenargument in trainingswissenschaftlicher Standardliteratur zu intensivierten Trainingseinheiten „[...] dass bei zu häufigem intensivem, anaeroben Training die Leistungskapazität der Mitochondrien beeinträchtigt wird. Es kommt zur allmählichen Strukturzerstörung und schließlich zu einer Abnahme ihrer Zahl und Größe, was eine Verringerung der aeroben Arbeitskapazität und damit eine verschlechterte Erholungsfähigkeit bzw. Ermüdungsresistenz zur Folge hat“ (89). Aufgrund der neuen Erkenntnisse zu HIIT ist dieses Gegenargument nicht mehr haltbar und sollte für zukünftige Trainingskonzeptionen nicht mehr berücksichtigt werden.

Es ist zu betonen, dass Trainingsanpassungen und Leistungssteigerungen durch HIIT auch bei hochtrainierten Sportlern stattfinden (60). Wenige HIIT-Einheiten (6-8) führten bei hoch-

trainierten Ausdauersportlern immer noch zu einer Steigerung bzw. Erhöhung der T_{lim} (Zeit bis zur Erschöpfung), der Maximal- und Dauerleistung (61,91,92), der Laktat- (1) und ventilatorischen Schwellen (29) sowie der Fettoxidation (91).

Doch wieso sind mit HIIT und HVT völlig unterschiedliche Trainingsstimuli in der Lage, oxidative Stoffwechselfvorgänge in ähnlicher Weise positiv zu beeinflussen? Das Puzzle ist bei weitem nicht fertig, dennoch scheint eine wichtige Stellgröße gefunden: PGC-1 α , ein Protein welches insbesondere den Energiestoffwechsel reguliert und die Neubildung von Mitochondrien in der Zelle stimuliert (2,56,78) und letztlich den oxidativen Muskelstoffwechsels begünstigt (18,25,26,35). Interessanterweise wird PGC-1 α durch HIIT und HVT aktiviert, daher führen beide Ausdauertrainingsmethoden zu ähnlichen Trainingsanpassungen (58).

Zusammengefasst führt HIIT sowohl bei nicht bis mäßig Trainierten als auch bei Hochtrainierten zu einer Trainingsanpassung mit Leistungssteigerung, was vor allem auf eine 1) verbesserte Energieversorgung durch die Hochregulation aerober sowie anaerober Stoffwechselprozesse (60) und 2) erhöhte Sauerstofftransportkapazität (Herzminuten- (42) und Blutvolumen (79)) zurückzuführen ist.

AUSBLICK UND SCHLUSSFOLGERUNG

Das HIIT hat in den letzten Jahren (wieder) großes wissenschaftliches und sportpraktisches Interesse erfahren. Neue Trainingsstudien, in denen HIIT, nicht nur im Fußball, Anwendung finden, belegen zweifelsfrei, dass in entsprechend kürzerer Trainingszeit ähnliche bzw. höhere Trainingsanpassungen zu erreichen sind als bei umfangsorientiertem „Grundlagenausdauer-Training“ (31,34,67,80,81). HIIT vereint beides: aerobe und anaerobe sowie zentrale und periphere Anpassungen.

Während die physiologischen Anpassungen sowohl von HVT als auch HIIT bei mäßig Ausdauertrainierten bekannt sind und beide mit einer Leistungssteigerung einhergehen, so ist dies bei hoch Ausdauertrainierten nicht der Fall (60). So vermag eine reine Steigerung des Trainingsumfanges bei bereits Ausdauertrainierten keine Leistungsverbesserung mehr hervorzurufen. Es scheint, dass bei hohem Trainingsstatus eine weitere Leistungssteigerung wesentlich von der Trainingsintensität abhängt (69). Für die Trainingsplanung stellen sich also eher die Fragen, a) wie fit der Spieler momentan ist und b) welche Trainingsmethoden zuvor absolviert wurden, und nicht, ob grundsätzlich HIIT oder HVT trainiert werden soll.

In diesem Zusammenhang empfiehlt die Arbeitsgruppe von Stolen ein oder zwei „Schockmikrozyklen“ (13 HIIT-Einheiten in 10 Tagen) in der Saisonvorbereitung und eine solcher „Kuren“ während jeder Saisonhälfte (86). Zum Erhalt der VO_{2max} wird weiterhin eine HIIT-Einheit pro Woche während der Saison empfohlen (86). Bei Spielern mit einer niedrigeren VO_{2max} scheinen beide Trainingsmethoden (HIIT und HVT) erfolgversprechend. Je trainierter die Spieler jedoch sind, desto eher scheint HIIT Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit hervorzurufen. Anzumerken bleibt, dass die Nachhaltigkeit von HIIT auf die körperliche Leistungsfähigkeit, insbesondere im Fußball, zukünftig untersucht werden sollte. Zukünftige Langzeitversuche sollten abklären, ob durch HIIT Überlastungs- und Übertrainings-symptomaten, wie z.B. eine verminderte physische Leistungsfähigkeit sowie Ermüdung und

subjektiver Stress aufgrund chronisch wiederkehrender anaerober Belastung (88), induziert werden.

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

LITERATUR

1. ACEVEDO EO, GOLDFARB AH: Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Med Sci Sports Exerc* 21 (1989) 563-568. doi:10.1249/00005768-198910000-00011.
2. AKIMOTO T, POHNERT SC, LI P, ZHANG M, GUMBS C, ROSENBERG PB, WILLIAMS RS, YAN Z: Exercise stimulates Pgc-1alpha transcription in skeletal muscle through activation of the p38 MAPK pathway. *J Biol Chem* 280 (2005) 19587-19593. doi:10.1074/jbc.M408862200.
3. ALGROY EA, HETLELID KJ, SEILER S, STRAY PEDERSEN JI: Quantifying training intensity distribution in a group of Norwegian professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 6 (2011) 70-81.
4. BANGSBO J: *Aerobic and Anaerobic Training in Soccer*. Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, 2007.
5. BANGSBO J: The physiology of soccer—with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 619 (1994) 1-155.
6. BANGSBO J, MOHR M, KRUSTRUP P: Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci* 24 (2006) 665-674. doi:10.1080/02640410500482529. doi:10.1080/02640410500482529.
7. BAQUET G, BERTHOIN S, DUPONT G, BLONDEL N, FABRE C, VAN PRAAGH E: Effects of high intensity intermittent training on peak VO_2 in prepubertal children. *Int J Sports Med* 23 (2002) 439-444. doi:10.1055/s-2002-33742.
8. BILLAT LV: 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 (2001) 13-31. doi:10.2165/00007256-200131010-00002.
9. BILLAT LV: 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 (2001) 75-90. doi:10.2165/00007256-200131020-00001.
10. BILLAT VL, DEMARLE A, SLAWINSKI J, PAIVA M, KORALSZTEIN JP: Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 2089-2097. doi:10.1097/00005768-200112000-00018.
11. 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.
12. BILLAT VL, SLAWINSKI J, BOCQUET V, DEMARLE A, LAFITTE L, CHASSAING P, KORALSZTEIN JP: Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol* 81 (2000) 188-196. doi:10.1007/s004210050029.
13. BISANZ G, GERISCH G: *Fußball: Kondition – Technik – Taktik und Coaching*. Meyer & Meyer Verlag, Aachen, 2008.
14. BOUCHARD C, LESAGE R, LORTIE G, SIMONEAU JA, HAMEL P, BOULAY MR, PERUSSE L, THERIAULT G, LEBLANC C: Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins. *Med Sci Sports Exerc* 18 (1986) 639-646. doi:10.1249/00005768-198612000-00006.
15. BRADLEY PS, SHELDON W, WOOSTER B, OLSEN P, BOANAS P, KRUSTRUP P: High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 27 (2009) 159-168. doi:10.1080/02640410802512775.
16. BRÜGGEMANN D, ALBRECHT D: *Modernes Fußballtraining: das systematische Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter, Sportlehrer, Sportstudenten und Spieler*. Hofmann Verlag, Schorndorf, 2003.
17. BUCHHEIT M, LAURSEN PB, KUHNLE J, RUCH D, RENAUD C, AHMAIDI S: Game-based training in young elite handball players. *Int J Sports Med* 30 (2009) 251-258. doi:10.1055/s-0028-1105943.
18. BURGOMASTER KA, HOWARTH KR, PHILLIPS SM, RAKOBOWCHUK M, MACDONALD MJ, MCGEE SL, GIBALA MJ: Similar metabolic adaptations

- during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 586 (2008) 151-160. doi:10.1113/jphysiol.2007.142109.
19. CHAMARI K, HACHANA Y, KAOUACH 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.
 20. COGGAN AR, RAGUSO CA, WILLIAMS BD, SIDOSSIS LS, GASTALDELLI A: Glucose kinetics during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained humans. *J Appl Physiol* 78 (1995) 1203-1207.
 21. COSTILL DL, FLYNN MG, KIRWAN JP, HOUMARD JA, MITCHELL JB, THOMAS R, PARK SH: Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc* 20 (1988) 249-254. doi:10.1249/00005768-198806000-00006.
 22. COSTILL DL, THOMAS R, ROBERGS RA, PASCOE D, LAMBERT C, BARR S, FINK WJ: Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc* 23 (1991) 371-377.
 23. COYLE EF: Physiological determinants of endurance exercise performance. *J Sci Med Sport* 2 (1999) 181-189. doi:10.1016/S1440-2440(99)80172-8.
 24. DARGATZ T: Fußball-Konditionstraining: Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Beweglichkeit. Coppel Sport, München, 2008.
 25. DAUSSIN FN, PONSOT E, DUFOUR SP, LONSDORFER-WOLF E, DOUTRELEAU S, GENY B, PIQUARD F, RICHARD R: Improvement of $\dot{V}O_{2max}$ by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol* 101 (2007) 377-383. doi:10.1007/s00421-007-0499-3.
 26. DAUSSIN FN, ZOLL J, PONSOT E, DUFOUR SP, DOUTRELEAU S, LONSDORFER E, VENTURA-CLAPIER R, METTAUER B, PIQUARD F, GENY B, RICHARD R: Training at high exercise intensity promotes qualitative adaptations of mitochondrial function in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 104 (2008) 1436-1441. doi:10.1152/jappphysiol.01135.2007.
 27. DI SALVO V, GREGSON W, ATKINSON G, TORDOFF P, DRUST B: Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 30 (2009) 205-212. doi:10.1055/s-0028-1105950.
 28. 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. doi:10.1519/1533-4287(2004)18<584:TEOIH>2.0.CO;2.
 29. EDGE J, BISHOP D, GOODMAN C, DAWSON B: Effects of high- and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) 1975-1982. doi:10.1249/01.mss.0000175855.35403.4c.
 30. ESSEN B, HAGENFELDT L, KAIJSER L: Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol* 265 (1977) 489-506.
 31. FAUDE O, MEYER T, SCHARHAG J, WEINS F, URHAUSEN A, KINDERMANN W: Volume vs. intensity in the training of competitive swimmers. *Int J Sports Med* 29 (2008) 906-912. doi:10.1055/s-2008-1038377.
 32. 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.
 33. FLECK SJ: Periodized Strength Training: A Critical Review. *J Strength Cond Res* 13 (1999) 82-89.
 34. GIBALA MJ: High-intensity interval training: a time-efficient strategy for health promotion? *Curr Sports Med Rep* 6 (2007) 211-213. doi:10.1007/s11932-007-0033-8.
 35. GIBALA MJ, LITTLE JP, VAN ESSEN M, WILKIN GP, BURGOMASTER KA, SAFDAR A, RAHA S, TARNOPOLSKY MA: Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575 (2006) 901-911. doi:10.1113/jphysiol.2006.112094.
 36. GREEN HJ, JONES LL, HUGHSON RL, PAINTER DC, FARRANCE BW: Training-induced hypervolemia: lack of an effect on oxygen utilization during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 19 (1987) 202-206.
 37. GREEN HJ, JONES LL, PAINTER DC: Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22 (1990) 488-493. doi:10.1249/00005768-199008000-00012.
 38. GREEN HJ, JONES S, BALL-BURNETT M, FRASER I: Early adaptations in blood substrates, metabolites, and hormones to prolonged exercise training in man. *Can J Physiol Pharmacol* 69 (1991) 1222-1229. doi:10.1139/y91-179.
 39. GUIRAUD T, NIGAM A, GREMEAUX V, MEYER P, JUNEAU M, BOSQUET L: High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Med* 42 (2012) 587-605. doi:10.2165/11631910-000000000-00000.
 40. GUNNARSSON TP, CHRISTENSEN PM, HOLSE K, CHRISTIANSEN D, BANGSBO J: Effect of additional speed endurance training on performance and muscle adaptations. *Med Sci Sports Exerc* 44 (2012) 1942-1948. doi:10.1249/MSS.0b013e31825ca446.
 41. 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.
 42. 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 $\dot{V}O_{2max}$ more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 665-671. doi:10.1249/mss.0b013e3180304570.
 43. HENRIKSSON J: Effects of physical training on the metabolism of skeletal muscle. *Diabetes Care* 15 (1992) 1701-1711. doi:10.2337/diacare.15.11.1701.
 44. HICKSON RC, HAGBERG JM, EHSANI AA, HOLLOSZY JO: Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Med Sci Sports Exerc* 13 (1981) 17-20. doi:10.1249/00005768-198101000-00012.
 45. 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.
 46. HOFF J, HELGERUD J: Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 34 (2004) 165-180. doi:10.2165/00007256-200434030-00003.
 47. HOFF J, WISLOFF U, ENGEN LC, KEMI OJ, HELGERUD J: Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 36 (2002) 218-221. doi:10.1136/bjism.36.3.218.
 48. HOLLMANN W, HETTINGER T: Sportmedizin Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Schattauer Verlag, Stuttgart, 2000.
 49. HOPPELER H, WEIBEL ER: Structural and functional limits for oxygen supply to muscle. *Acta Physiol Scand* 168 (2000) 445-456. doi:10.1046/j.1365-201x.2000.00696.x.
 50. IAIA FM, RAMPININI E, BANGSBO J: High-intensity training in football. *Int J Sports Physiol Perform* 4 (2009) 291-306.
 51. IMPELLIZZERI FM, MARCORA 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.
 52. JENSEN J, RANDERS M, KRUSTRUP P, BANGSBO J: Effect of additional in-season aerobic high-intensity drills on physical fitness of elite football players. *J Sports Sci Med* 6 79.
 53. KARLSSON J, NORDESJO LO, SALTIN B: Muscle glycogen utilization during exercise after physical training. *Acta Physiol Scand* 90 (1974) 210-217. doi:10.1111/j.1748-1716.1974.tb05579.x.
 54. KINDERMANN W, COEN B, URHAUSEN A: Leistungsphysiologische Massnahmen im Fußball und Handball. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 56-60.
 55. KRAEMER WJ, FRENCH DN, PAXTON NJ, HAKKINEN K, VOLEK JS, SEBASTIANELLI WJ, PUTUKIAN M, NEWTON RU, RUBIN M, GOMEZ A, VESCOVI J, RATAMESS NA, FLECK SJ, LYNCH JM, KNUTTGEN HH: Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 121-128.
 56. KUSUHARA K, MADSEN K, JENSEN L, HELLSTEN Y, PILEGAARD H: Calcium signalling in the regulation of PGC-1alpha, PDK4 and HKII mRNA expression. *Biol Chem* 388 (2007) 481-488. doi:10.1515/BC.2007.052.
 57. LAKE MJ, CAVANAGH PR: Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 860-869. doi:10.1097/00005768-199607000-00013.
 58. LAURSEN PB: Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* 20 (2010) 1-10. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x.
 59. LAURSEN PB: Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* 20 (2010) 20(Suppl 2) 1-10. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x.

60. LAURSEN PB, JENKINS DG: The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 32 (2002) 53-73. doi:10.2165/00007256-200232010-00003.
61. LINDSAY FH, HAWLEY JA, MYBURGH KH, SCHOMER HH, NOAKES TD, DENNIS SC: Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 1427-1434. doi:10.1097/00005768-199611000-00013.
62. LINOSSIER MT, DENIS C, DORMOIS D, GEYSSANT A, LACOUR JR: Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 67 (1993) 408-414. doi:10.1007/BF00376456.
63. LONDEREE BR: Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 29 (1997) 837-843. doi:10.1097/00005768-199706000-00016.
64. LUCÍA A, HOYOS J, PARDO J, CHICHARRO JL: Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *Jpn J Physiol* 50 (2000) 381-388. doi:10.2170/jjphysiol.50.381.
65. MACDOUGALL JD, HICKS AL, MACDONALD JR, MCKELVIE RS, GREEN HJ, SMITH KM: Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 84 (1998) 2138-2142.
66. MAYER R, MAYER T: *Ausdauertrainer Fussball: Training planen, Leistung steigern, besser spielen*. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2009.
67. 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/bjism.2004.012526.
68. MOHR M, KRUSTRUP P, BANGSBO J: Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21 (2003) 519-528. doi:10.1080/0264041031000071182. doi:10.1080/0264041031000071182.
69. MUJIK A, CHATARD JC, BUSO T, GEYSSANT A, BARALE F, LACOSTE L: Effects of training on performance in competitive swimming. *Can J Appl Physiol* 20 (1995) 395-406. doi:10.1139/h95-031.
70. OWEN AL, WONG DEL P, PAUL D, DELLAL A: Effects of a periodized small-sided game training intervention on physical performance in elite professional soccer. *J Strength Cond Res* 26 (2012) 2748-2754. doi:10.1519/JSC.0b013e318242d2d1.
71. RAMPININI E, COUTTS AJ, CASTAGNA C, SASSI R, IMPELLIZZERI FM: Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med* 28 (2007) 1018-1024. doi:10.1055/s-2007-965158.
72. REINDELL H, ROSKAMM H: Ein Beitrag zu den physiologischen Grundlagen des Intervalltraining unter besonderer Berücksichtigung des Kreislaufes. *Schweiz Z Sportmed* 7 (1959) 1-8.
73. ROGNMO O, HETLAND E, HELGERUD J, HOFF J, SLORDAHL SA: High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 11 (2004) 216-222. doi:10.1097/01.hjr.0000131677.96762.0c.
74. SCHUMACHER YO, MUELLER P: The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 1029-1036. doi:10.1097/00005768-200206000-00020.
75. SEILER KS, KJERLAND GO: Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports* 16 (2006) 49-56. doi:10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x.
76. SEILER S, HAUGEN O, KUFFEL E: Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1366-1373. doi:10.1249/mss.0b013e318060f17d.
77. SENO M, BOURREL C: *Fußballtraining mit System: Handbuch für Fußballtrainer aller Alters- und Leistungsklassen; mit 69 methodisch aufgebauten Übungs- und Spielformen und vielen wertvollen Tipps für das tägliche Training*. bfp-Lindemann, Leer, 2002.
78. SERPIELLO FR, MCKENNA MJ, BISHOP DJ, AUGHEY RJ, CALDOW MK, CAMERON-SMITH D, STEPTO NK: Repeated Sprints Alter Signalling Related to Mitochondrial Biogenesis in Humans. *Med Sci Sports Exerc* (2011) doi:10.1249/MSS.0b013e318240067e.
79. SHEPLEY B, MACDOUGALL JD, CIPRIANO N, SUTTON JR, TARNOPOLSKY MA, COATES G: Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J Appl Physiol* 72 (1992) 706-711.
80. SPERLICH B, DE MAREES M, KOEHLER K, LINVILLE J, HOLMBERG HC, MESTER J: Effects of 5 weeks of high-intensity interval training vs. volume training in 14-year-old soccer players. *J Strength Cond Res* 25 (2011) 1271-1278. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d67c38.
81. SPERLICH B, ZINNER C, HEILEMANN I, KJENDLIE PL, HOLMBERG HC, MESTER J: High-intensity interval training improves VO₂(peak), maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11-year-old swimmers. *Eur J Appl Physiol* 110 (2010) 1029-1036. doi:10.1007/s00421-010-1586-4.
82. SPORIS G, RUZIC L, LEKO G: The anaerobic endurance of elite soccer players improved after a high-intensity training intervention in the 8-week conditioning program. *J Strength Cond Res* 22 (2008) 559-566. doi:10.1519/JSC.0b013e3181660401.
83. SPORIS G, RUZIC L, LEKO G: Effects of a new experimental training program on VO₂max and running performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48 (2008) 158-165.
84. STEINACKER JM: Physiological aspects of training in rowing. *Int J Sports Med* 14 (1993) (Suppl 1) S3-S10.
85. STEINACKER JM, LORMES W, LEHMANN M, ALTENBURG D: Training of rowers before world championships. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 1158-1163. doi:10.1097/00005768-199807000-00022.
86. STØLEN T, CHAMARI K, CASTAGNA C, WISLOFF U: Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35 (2005) 501-536.
87. STONE NM, KILDING AE: Aerobic conditioning for team sport athletes. *Sports Med* 39 (2009) 615-642. doi:10.2165/00007256-200939080-00002.
88. URHAUSEN A, GABRIEL H, KINDERMANN W: Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med* 20 (1995) 251-276. doi:10.2165/00007256-199520040-00004.
89. WEINECK J: *Optimales Fußballtraining: das Konditionstraining des Fußballspielers*. Spitta-Verlag, Balingen, 2004.
90. WENGER HA, BELL GJ: The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 3 (1986) 346-356. doi:10.2165/00007256-198603050-00004.
91. WESTGARTH-TAYLOR C, HAWLEY JA, RICKARD S, MYBURGH KH, NOAKES TD, DENNIS SC: Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75 (1997) 298-304. doi:10.1007/s004210050164.
92. WESTON AR, MYBURGH KH, LINDSAY FH, DENNIS SC, NOAKES TD, HAWLEY JA: Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75 (1997) 7-13. doi:10.1007/s004210050119.
93. WHYTE G: *The physiology of training*. Elsevier, Edinburgh, 2006.
94. YEO WK, PATON CD, GARNHAM AP, BURKE LM, CAREY AL, HAWLEY JA: Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J Appl Physiol* 105 (2008) 1462-1470. doi:10.1152/jappphysiol.90882.2008.
95. ZEEB G: *Fußballtraining: Planung, Durchführung, 144 Trainingsprogramme*. Limpert, Wiebelsheim, 2007.
96. ZIOGAS GG, PATRAS KN, STERGIU N, GEORGIOULIS AD: Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during pre-season. *J Strength Cond Res* 25 (2011) 414-419. doi:10.1519/JSC.0b013e3181bac3b9. doi:10.1519/JSC.0b013e3181bac3b9.

Korrespondenzadresse:
Jun.-Prof. Dr. Billy Sperlich
Betriebseinheit Sportwissenschaft
Bergische Universität Wuppertal
Fuhlrottstraße 10
42119 Wuppertal
E-Mail: sperlich@uni-wuppertal.de