

Thomas Bossmann

Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Universität Stuttgart

Auswirkungen eines Ultralangstreckenlaufs auf ausgewählte physiologische und psychologische Parameter als mögliche Marker von Überbelastungen

Zusammenfassung

Überbelastungen stellen ein weit reichendes Problem im Leistungs- und ambitionierten Freizeitsport dar. Allgemein gültige Diagnoseparameter fehlen ebenso wie hinreichend verlässliche Parameter, die frühzeitige Warnhinweise bei zu hohen Belastungsfaktoren geben könnten und in der Trainingssteuerung einsetzbar sind. Für Ultralangstreckenläufer, die häufig mehrtägige Wettkämpfe absolvieren, sind besonders solche Parameter interessant, die sich im Feld und in nicht invasiver Form ermitteln lassen. 6 männliche Ausdauersportler ermittelten während einer Trainingsphase mit normalem Belastungsumfang während eines 17-tägigen Ultramarathons (Deutschlandlauf) sowie während einer anschließenden Regenerationsphase täglich die morgendliche Ruheherzfrequenz, Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV) sowie die psychische Befindlichkeit. 4 der 6 untersuchten Sportler mussten den Lauf frühzeitig abbrechen, bei 3 Sportlern wurden diagnoserelevante Veränderungen bezüglich einer Überbelastung dokumentiert. Bei den Abbrechern traten bereits während der Wettkampfphase erhöhte Ruheherzfrequenzwerte, eine erniedrigte HRV sowie eine verschlechterte Befindlichkeit auf. Die untersuchten Parameter reagierten individuell unterschiedlich, zeigten jedoch bereits frühzeitig Auslenkungen an, die dem Abbruch des Laufs bzw. Diagnoseparametern einer Überbelastung vorausgingen.

Abstract

Overreaching and overtraining syndrome display far reaching problematic issues for professional as well as ambitious recreational athletes. Good diagnostic tools are lacking, just like sufficiently reliable parameters that could function as early warning signals when athletes train too hard or too much. Ultraendurance athletes are especially interested in parameters that can easily be measured in field situations and in a noninvasive manner. 6 endurance athletes measured morning heart rate, heart rate variability (HRV) and mood state during a normal training period, a 17 day ultramarathon (Deutschlandlauf) and during a following recovery period. 4 out of 6 runners could not finish the race due to injury or exhaustion. 3 of them showed diagnostically relevant criteria of overreaching. All runners, who quit the race, showed increased morning heart rate, decreased HRV and a decreased mood state during competition. The studied parameters showed individually different adaptations, but there were early changes that preceded the abortion of the run or gave diagnostically relevant information.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 60 (1), 21–25, 2012

Einleitung

Die Termini Überbelastung (nonfunctional overreaching) bzw. Übertrainingssyndrom beschreiben einen Symptomkomplex, der auf eine vorübergehende oder chronische systemische Erschöpfung zurückzuführen ist (Vogel, 2001). Ein solcher Zustand ist verbunden mit einer unerwarteten bzw. ungeplanten und längerfristigen Abnahme oder Stagnation der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit, ohne dass krankheitsbedingte Ursachen vorliegen. Die Konsequenzen sowie die zeitliche Dauer eines solchen Erschöpfungszustands sind nur unzureichend abschätzbar und gefährden neben sportlichen Zielen auch die Gesundheit von Athleten. Verwertbare Aussagen, wie sich intensiv trainierende Sportler anhand eines individuellen Trainingsmonitorings und einfach sowie selbstständig zu ermittelnder Parameter vor einem solchen systemischen Zusammenbruch schützen können, fehlen jedoch bis heute.

Angaben über die Häufigkeit des Auftretens von Symptomen, die einem Übertrainingssyndrom entsprechen könnten, sind selten. Die wenigen genannten Zahlen resultieren aus Befragungen oder längerfristigen Untersuchungen und zeigen kaum Übereinstimmung. Die genannten Schätzungen schwanken zwischen 15 und

66% (Hooper et al., 1995; Koutedakis & Sharp, 1998; Meeusen et al., 2006; O'Connor et al., 1989) und lassen darauf schließen, dass es sich um ein verbreitetes Phänomen im Leistungs- und ambitionierten Freizeitsport handelt. Besondere Gefahren im Hinblick auf das Auftreten von Überbelastungen und Übertrainingssyndromen birgt der Extremsport (Sims, 2001). Der extrem hohe Belastungsumfang in Verbindung mit kurzen Regenerationsphasen machen speziell den Ultralangstreckenlauf zu einem geeigneten Forschungsgebiet zum Thema Überbelastung und Übertrainingssyndrom.

Entwickelt wurde daher eine Feldstudie, in der Extremsportler sowohl während einer normalen Trainingsphase, als auch während eines 17-tägigen Ultralangstreckenlaufs (Deutschlandlauf) und einer anschließenden Regenerationsphase untersucht wurden. Zum Einsatz kam eine Kombination ausgewählter, bereits verwendeter Parameter, die im Feld individuell und nicht-invasiv einsetzbar sind und deren Anpassungsreaktionen ab einem individuell festzulegenden Grad als Warnzeichen für die Entstehung von Überbelastungen und Übertrainingssyndromen nutzbar sein könnten. Ziel der Studie war es, auftretende Parameterveränderungen vor dem Hintergrund äusserer Belastungsanforderungen einzelfallbezogen

auszuwerten und im Hinblick auf ihre mögliche diagnostische Relevanz zu diskutieren. Es ist davon auszugehen, dass die genannten Auffälligkeiten der untersuchten Parameter bereits vor einem möglichen Leistungsabfall auftreten und als mögliche Frühwarnsymptome dienen können (Urhausen & Kindermann, 2000). Die Interpretation der Daten sollte vor dem Hintergrund persönlicher Referenzwerte erfolgen (Judge & Potteiger, 2000).

Material und Methoden

Versuchspersonen

An der Studie nahmen 6 männliche Ausdauersportler teil. Diese waren zum Untersuchungszeitpunkt zwischen 31 und 52 Jahre alt und trainierten wöchentlich zwischen 6 und 20 h bzw. 50 und 180 km.

Deutschlandlauf

Der Deutschlandlauf fand vom 08. bis 24.09.2008 statt. Die Läufer starteten in Rügen und beendeten den Lauf in Lörrach nach 17 Tagesetappen ohne Ruhetag. Die Tagesetappen variierten in der Distanz zwischen 51.7 und 92.4 km, die durchschnittliche Etapenlänge betrug 70.9 km.

Geräte und Apparaturen

Zur Bestimmung der Ruheherzfrequenz (RHF) und der Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV) wurden die Pulsuhren RS800 und S810i der Firma Polar (Kempele, Finnland) verwendet. Die Auswertung der Daten erfolgte mittels Kubios-HRV 2.0. Die Befindlichkeit der Teilnehmer wurde mit Hilfe der Befindlichkeitskalen von Abele-Brehm & Brehm (1986) ermittelt.

Untersuchungsdurchführung

Für jeden Trainings- und Wettkampftag wurden die Art der Belastung, der Belastungsumfang und das Anstrengungsempfinden der Sportler dokumentiert. Weiterhin erfolgte täglich die Bestimmung der RHF und HRV morgens nach dem Aufstehen. Die Teilnehmer waren angehalten, nach dem Aufwachen und dem Entleeren der Blase, jedoch vor der Einnahme des Frühstücks, in liegender Position und mit geschlossenen Augen bei gleichmässiger und ruhiger Atmung während 15 min die Messungen selbstständig durchzuführen. Das Ausfüllen der Befindlichkeitsfragebogen erfolgte beim Frühstück zu identischer Tageszeit. Für jede Untersuchungsphase wurde die maximale Leistungskapazität der Sportler mittels stufenförmiger Ausbelastungstests auf dem Laufband bestimmt. Diesen zu Grund gelegt wurden die vom Swiss Olympic Medical Center aufgeführten Kriterien:

- Startgeschwindigkeit 10 km/h
- Stufendauer 3 min
- Pausen zwischen den Stufen zur Blutentnahme 30 s
- Steigerungsrate 1.8 km/h

Ausgehend von 2- bis 3-wöchigen normalen Trainingsphasen, die mit den Teilnehmern individuell abgestimmt waren (Phase 1), wurden individuelle Normwertbereiche für die ausgewählten Parameter erstellt (Kiviniemi et al., 2007). Dazu wurden für jeden Parameter jedes Teilnehmers Mittelwerte bestimmt und die jeweiligen Standardabweichungen addiert und subtrahiert. Die so gebildeten Wertebereiche dienten als Referenzwerte für individuelle Parameterveränderungen während der folgenden Messphasen. Unter- oder Überschreitungen dieser Bereiche während mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen wurden als kritische Ereignisse vordefiniert.

Der 2. Laktatstufentest wurde 3–5 Tage nach Beendigung des Deutschlandlaufs durchgeführt, die folgende 2- bis 3-wöchige Regenerationsphase endete mit einem 3. Leistungstest sowie einer Befragung der Teilnehmer zu ihrer subjektiven Einschätzung des individuellen Erholungsverlaufs.

Auswahl diagnostisch relevanter Kriterien für eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom

Die Einschränkung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit stellt den bisher einzigen allgemein anerkannten Parameter für eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom dar (Bosquet et al., 2001; Vogel et al., 2001). Weiterhin finden sich Angaben über eine erniedrigte maximale HF (MacKinnon, 2000), eine erhöhte RHF (Baumert et al., 2006; Slivka et al., 2010) sowie erniedrigte maximale Laktatkonzentrationen (MacKinnon, 2000; Urhausen & Kindermann, 2002). Andere Autoren quantifizieren Befindlichkeitsverschlechterungen und ziehen diese als Diagnosekriterium für Überbelastungen heran (Hooper et al., 1995).

A priori wurden folgende Veränderungen als diagnostisch relevante Kriterien für eine Überbelastung definiert (Vogel, 2001):

- eine Leistungsminderung von mindestens 10% beim 2. oder 3. Leistungstest
- eine Abnahme der maximalen Laktatkonzentration um mindestens 20% beim 2. oder 3. Leistungstest
- eine Abnahme der maximalen HF um mindestens 10 Schläge/min beim 2. oder 3. Leistungstest
- Abbruch des Deutschlandlaufs oder Überschreiten des Zeitlimits aufgrund von Erschöpfung, ohne dass eine Verletzung oder Krankheit vorlag

Zusätzlich wurde – ausgehend von den Ergebnissen der Normwertbestimmungen – davon ausgegangen, dass die untersuchten Parameter RHF, HRV und Befindlichkeit bereits vor dem Auftreten diagnostisch relevanter Veränderungen anzeigen. Da es während der Normwertbestimmung bei keinem Teilnehmer zu Auslenkungen eines Parameters an mehr als 2 aufeinanderfolgenden Tagen kam, wurden sogenannte kritische Ereignisse als Auslenkungen über mindestens 3 aufeinanderfolgende Tage vordefiniert.

Deskriptive Statistik

Zusätzlich zur Dokumentation kritischer Ereignisse wurden für jede Messphase die Mittelwerte \pm Standardabweichungen der untersuchten Parameter für jeden Teilnehmer ermittelt. Zum Vergleich der Mittelwerte wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Die Signifikanzüberprüfung erfolgte mittels post-hoc Tests nach Scheffé in SPSS 15.0. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgelegt.

Resultate

Zwei Sportler (Versuchsperson [VP] 1 und VP 5) absolvierten den Deutschlandlauf komplett und erreichten das Ziel in Lörrach. 3 Teilnehmer (VP 2, VP 4 und VP 6) brachen den Lauf aufgrund von Verletzungen, 1 Teilnehmer (VP 3) aufgrund mangelhafter Nahrungsaufnahme und Erschöpfung ab.

Tabelle 1 stellt die für jeden Teilnehmer während der ersten Messphase ermittelten Grenzwerte (Befindlichkeit) bzw. Normwertbereiche (HRV, RHF) dar. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit beschränkt sich die Darstellung der HRV auf die Variable rMSSD.

Tabelle 2 fasst die Untersuchungsergebnisse zusammen. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Kernaussagen machen:

- Diagnostisch relevante Parameter für eine Überbelastung traten nur bei denjenigen Sportlern auf, die den Lauf abbrechen mussten (VP 2, VP 3 und VP 6), wobei lediglich bei VP 3 eine akute Erschöpfung als Ursache genannt wurde.
- Alle untersuchten Sportler zeigten im Anschluss an den Lauf während eines beträchtlichen Zeitraums der Regenerationsphase während mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen und im Mittel eine zwischen 3 und 10 S/min erhöhte RHF.
- Bei allen 6 Sportlern konnte während der Regenerationsphase eine reduzierte HRV nachgewiesen werden.

	Befinden	Normbereich rMSSD	Normbereich RHF
VP 1 (erfolgreich)	1.92 – 3.65	85 – 117 ms	43 – 46 S/min
VP 2 (Abbruch)	1.38 – 3.25	111 – 141 ms	43 – 48 S/min
VP 3 (Abbruch)	1.20 – 1.82	30 – 51 ms	43 – 49 S/min
VP 4 (Abbruch)	1.89 – 2.84	41 – 61 ms	50 – 55 S/min
VP 5 (erfolgreich)	1.10 – 3.61	21 – 29 ms	53 – 57 S/min
VP 6 (Abbruch)	Nicht gemessen	56 – 126 ms	52 – 60 S/min
Maximale Herzfrequenz (max. HF); maximale Laktatkonzentration (max. Lak); Herzfrequenzvariabilität (HRV)			

Table 1: Normwertbereiche der Parameter Befindlichkeit, Herzfrequenzvariabilität (Parameter rMSSD) und Ruheherzfrequenz (RHF) bei 6 Teilnehmern

- Bei beiden erfolgreichen Teilnehmern (VP 1 und VP 5) zeigten sich kritische Ereignisse in Bezug auf die HRV während des Wettkampfes in Form zeitweise erhöhter Werte.
- Bei allen Sportlern, die den Deutschlandlauf abbrechen mussten, zeigte sich bereits vor Abbruch des Laufs eine kritisch erhöhte RHF, teils in Kombination mit einer beeinträchtigten Befindlichkeit, teils in Kombination mit einer reduzierten HRV.

Diskussion

Eine abschliessende Diagnose einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms ist aufgrund des Fehlens einer vollständigen klinischen Untersuchung im Anschluss an den Lauf sowie aufgrund des Vorliegens alternativer Ursachen für eine Leistungsminderung (Verletzungen) ausgeschlossen. Die bei VP 2, 4 und 6 aufgetretenen Verletzungen können dennoch das Resultat einer für die Läufer insgesamt zu hohen Gesamtbelastung darstellen. Bei den genannten Teilnehmern zeigte sich eine deutliche und stetige

Minderung der Laufgeschwindigkeit im Verlauf der Wettkampfphase, die mit kritischen Ereignissen und diagnoserelevanten Parameterveränderungen einher gingen.

Diagnoserelevante Kriterien einer Überbelastung

Lediglich VP 2 zeigte im Anschluss an den Lauf eine um mehr als 10% reduzierte maximale Leistungsfähigkeit bei den durchgeführten Stufentests, jedoch kam es zusätzlich bei VP 3 und 6 zu diagnoserelevanten Veränderungen. VP 4 und VP 5 konnten verletzungsbedingt keine Leistungstests im Anschluss an den Deutschlandlauf durchführen.

Bei VP 2 und 6 zeigten sich reduzierte maximale Laktatkonzentrationen (–27 bis 29%) beim 3. Leistungstest. Reduzierte maximale Laktatkonzentrationen wurden im Zusammenhang mit Leistungsminderungen auch an anderer Stelle nachgewiesen (Bosquet et al., 2001; Hedelin et al., 2000; Vogel et al., 2001). Als Erklärung für eine verminderte Laktatbildung im Zusammenhang mit Ermüdung gelten reduzierte Glykogenspeicher (Foster, 1998) sowie eine eingeschränkte Fähigkeit der Muskulatur, Laktat zu bilden (Bosquet et al., 2001). Jeukendrup & Hesselink (1994) nennen als weitere mögliche Ursachen eine Verbesserung der Abbauraten von Laktat als positiven Anpassungsmechanismus, eine verminderte sympathische Regulation des autonomen Nervensystems und eine verminderte Katecholaminsensitivität. Eine positive Leistungsanpassung oder eine sympathische Hemmung können bei VP 2 und 6 anhand der leistungsdiagnostischen und kardiologischen Messparameter allerdings ausgeschlossen werden.

Bei VP 3 kam es zu einer um 15 S/min erniedrigten maximalen HF, ohne dass diese mit einer nennenswerten Leistungsminde- rung einherging. Noakes (2000) nennt als möglichen Grund einen zentralen, regulierenden Steuerungsmechanismus, der die Pump- leistung des Herzens steuert, um die Blutzufuhr zum Herz selbst sicherzustellen und einer myokardialen Ischämie vorzubeugen. Somit kommt es zum Abbruch einer Belastung, noch bevor das Herzleistungsvermögen maximal ausgeschöpft wird. Eine solche zentrale Schutzhemmung könnte innerhalb eines zentralen autonomen Netzwerks modulierend wirken (Esperer, 2003).

Um 4 bis 15 S/min reduzierte maximale HF in Verbindung mit reduzierten Leistungen konnten mehrere Forschungsgruppen nachweisen (Bosquet et al., 2001; Coutts et al., 2007; Snyder et al., 1995). Beim Ausbleiben von Leistungsminderungen, wie es bei VP 3 der Fall war, konnten ebenfalls vereinzelt eine reduzierte maximale HF dokumentiert werden (Costill et al., 1988).

	Leistungstest 3–5 Tage nach DL	Leistungstest am Ende der Regeneration	Kritische Ereignisse während DL	Kritische Ereignisse während Reg
VP 1 (erfolgreich)	Leistung –4% max. HF → max. Lak +11%	Leistung → max. HF +6 S/min max. Lak +64%	Ruhe-HF +3 S/min* HRV +33%	Befindlichkeit –6% Ruhe-HF +10 S/min** HRV –64%**
VP 2 (Abbruch)	kein Test möglich	Leistung –10.5% max. HF –5 S/min max. Lak –39%	Befindlichkeit –17%** Ruhe-HF +5 S/min*	Befindlichkeit –14%** Ruhe-HF +3 S/min HRV –13%
VP 3 (Abbruch)	Leistung –2.5% max HF –15 S/min max. Lak →	Leistung +7% max. HF → max. Lak +118%	Ruhe-HF +12 S/min*	Ruhe-HF +6 S/min* HRV –5%*
VP 4 (Abbruch)	kein Test möglich	kein Test möglich	Befindlichkeit –45%** Ruhe-HF +18 S/min** HRV –73%**	Ruhe-HF +8 S/min** HRV –66%**
VP 5 (erfolgreich)	kein Test möglich	kein Test möglich	Befindlichkeit –9% HRV +100%	Ruhe-HF +5 S/min* HRV –40%
VP 6 (Abbruch)	Leistung –4% max. HF –4 S/min max. Lak –12%	Leistung –4% max. HF –3 S/min max. Lak –27%	Ruhe-HF +8 S/min* HRV –61%*	Ruhe-HF +8 S/min* HRV –69%*

Table 2: Zusammenfassung leistungsdiagnostischer Parameter und symptomatischer Veränderungen während des Deutschlandlaufs (DL) und der Regenerationsphase bei erfolgreichen und nicht erfolgreichen Teilnehmern; * p < 0.05, ** p < 0.01.

Kritische Ereignisse

– RHF

Die RHF war bei denjenigen Teilnehmern, die den Deutschlandlauf abbrechen mussten (VP 2, 3, 4 und 6), bereits während der Wettkampfphase signifikant erhöht. Bei allen Abbrechern kam es zu kritischen Ereignissen und mindestens 3-tägigen Auslenkungen aus dem Normbereich, bevor diagnoserelevante Veränderungen einer Überbelastung diagnostiziert wurden. Da sich die RHF in bisherigen Untersuchungen während oder nach hoch intensiven bzw. umfangreichen Belastungsphasen ohne auftretende Leistungsminderungen meist konstant verhielt (Atlaoui et al., 2007; Billat et al., 1999; Eanest et al., 2004), können die dokumentierten Veränderungen als individuelle Warnsymptome interpretiert werden. Slivka et al. (2010) verweisen in diesem Zusammenhang auf populärwissenschaftliche Quellen, die eine 10%ige Erhöhung der RHF als kritisch erachten und als einen Indikator für eine Überbelastung ansehen.

Auch Baumert et al. (2006) konnten um 6 S/min erhöhte RHF bei Ausdauersportlern bei gleichzeitigen Leistungsminderungen während eines Trainingslagers dokumentieren, die sich nach wenigen Tagen Regeneration allerdings wieder normalisierten. Weiterhin auffällig erscheinen die signifikanten Veränderungen der RHF bei allen Teilnehmern während der Regenerationsphase. Hier zeigten die deutlichen Auslenkungen im Anschluss an den Deutschlandlauf ein Absinken der parasympathischen Aktivität und damit verbunden eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit der Teilnehmer an (Arvay & Hofmann, 2001). Dies könnte auf eine zu hohe Belastung während des Deutschlandlaufs hinweisen. An anderer Stelle wird von einer recht schnellen Normalisierung der RHF innerhalb einer 3- bis 4-tägigen Regenerationsphase berichtet (Fry et al., 1994).

– HRV

Die HRV zeigte anhand signifikant erniedrigter Werte bei VP 4 und 6 während des Deutschlandlaufs eine parasympathische Hemmung und einen dominanten Einfluss der sympathischen Aktivität an. Eine reduzierte Parasympathikusaktivität wurde bei überbelasteten Sportlern bereits an anderer Stelle nachgewiesen (Hynynen et al., 2006, 2008; Mourot et al., 2004). Arvay & Hofmann (2001) konnten dokumentieren, dass die HRV sensibel auf Belastungen des Vortages reagiert. Der Rückstellungsprozess der HRV scheint dabei abhängig von der Belastung und Regenerationsfähigkeit der Sportler zu sein.

Eine deutliche Auslenkung der HRV – und damit verbunden eine beeinträchtigte Regenerationsfähigkeit der Sportler – liess sich bei allen untersuchten Sportlern während der dritten Messphase zeigen. Mindestens ein HRV-Parameter war bei VP 1, 3, 4 und 6 im Vergleich zur Normwertbestimmung (*Tab. 1*) signifikant erniedrigt. Bei VP 1, 4 und 6 wiesen die Veränderungen der HRV auf einen dauerhaft reduzierten parasympathischen Einfluss hin.

Im Gegensatz zu denjenigen Läufern, die den Lauf abbrechen mussten, zeigten sich bei VP 1 und 5 während des Deutschlandlaufs kritische Ereignisse anhand einer mindestens 3-tägigen Erhöhung vagal bzw. sympathisch-parasympathisch modulierter Parameter der HRV. Bei beiden Teilnehmern konnte somit zumindest während 3 aufeinanderfolgender Tage ein erhöhter parasympathischer Einfluss in der Wettkampfphase nachgewiesen werden.

Insgesamt zeigte sich bei allen Teilnehmern eine kritisch erhöhte RHF (+3 bis 10 S/min) bei gleichzeitig verminderter HRV (–5 bis 69%) während der an den Deutschlandlauf anschliessenden Regenerationsphase. Diese autonome Dysbalance zeigte keine Anzeichen einer Erholung, sodass von einer anhaltenden Ermüdung aufgrund der vorausgegangenen systemischen Gesamtbeanspruchung ausgegangen werden kann.

Chronische Höchstbelastungen in Training und Wettkampf wirken sich nach Israel (1976) auf die sympathische und parasympathische Aktivität des autonomen Nervensystems aus, die vielfach anhand unterschiedlicher Parameter der HRV ermittelt wird. Diese wird aktuell als vielversprechendes Instrument in der Übertrainingsdiagnostik angesehen (Earnest et al., 2004; Hoos, 2006; Meeusen et al., 2006) und könnte langfristige autonome Funkti-

onseinschränkungen anzeigen, die mit einem Übertrainingszustand in Verbindung gebracht werden können (Hoos, 2006). Die dokumentierten Veränderungen der RHF und HRV während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase stehen in Einklang mit Ausführungen weiterer Autoren (Fry et al., 1991; Kindermann, 1986) und könnten mit dem von Noakes (2000) postulierten Schutzmechanismus des Organismus in Zusammenhang stehen.

– Befindlichkeit

Eine Dysregulation der vegetativen Balance lässt auch Befindlichkeitsverschlechterungen erwarten, wie sie vielfach während umfangreicher Wettkampf- und Trainingsphasen dokumentiert werden konnten (Angelem et al., 2008; González-Boto et al., 2008; Meeusen et al., 2006). Da ein Konsens darüber besteht, dass sich zu hohe Belastungsanforderungen negativ auf die Befindlichkeit von Sportlern auswirken (Meeusen et al., 2006), vor allem dann, wenn es zeitgleich zu Leistungsminderungen kommt (Birrer, 2004; Raglin & Barzdukas, 1999), erscheint es überraschend, dass lediglich VP 2 und 4 eine signifikant verschlechterte Befindlichkeit während der Wettkampfphase aufwiesen, wobei wegen gewisser Messlücken eine zurückhaltende Interpretation der Daten angemessen erscheint.

Schlussfolgerungen

Die bereits während der Wettkampfphase aufgetretenen, kritischen Ereignisse in Bezug auf die RHF und HRV können als Warnsignale eines negativen Erholungs-Belastungs-Verhältnisses interpretiert werden und auf individueller Ebene als Frühwarnsymptome für Überbelastungen nutzbar sein. Dies sollte vor allem für die RHF zutreffen, die sich als sensibelster Parameter herausstellte. Die Ausnahme stellen die bei VP 1 und 5 ermittelten erhöhten Werte der HRV dar, da beide Sportler den Lauf erfolgreich absolvierten und keine diagnoserelevanten Kriterien einer Überbelastung zeigten. Einschränkend muss in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dass die Anpassungen der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei allen Teilnehmern dasselbe Muster zeigten, unabhängig davon, ob der Deutschlandlauf erfolgreich absolviert wurde und unabhängig der leistungsdiagnostischen Parameter beim abschliessenden Leistungstest. Eine konstante individuelle Überprüfung von RHF und HRV im Rahmen von Normwerten kann Hinweise auf Überlastungen geben, ohne aber eindeutig prädiktiven Charakter zu haben.

Korrespondenzadresse

Dr. Thomas Bossmann, Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Stuttgart, Allmandring 28F, D-70569 Stuttgart; +49/0711/685-60317, thomas.bossmann@inspo.uni-stuttgart.de

Literatur

- Abele-Brehm A., Brehm W. (1986): Zur Konzeptualisierung und Messung von Befindlichkeit. Die Entwicklung der Befindlichkeitsskalen. *Diagnostica* 32: 209–228.
- Angelem N., Lucas S.J.E., Rose E.A., Cotter J.D. (2008): Mood, illness and injury responses and recovery with adventure racing. *Wilderness Environ Med.* 19: 30–38.
- Arvay S., Hofmann P. (2001): Herzfrequenzvariabilität und Trainingssteuerung – Die Bestimmung der HFV als eine nicht-invasive Methode zur Beurteilung der körperlichen Beanspruchung durch sportliches Training. *Z. Österr. Sportw. Ges. (Suppl.)* 13: 5–13.
- Atlaoui D., Pichot V., Lacoste L., Barale F., Lacour J., Chatard J. (2007): Heart rate variability, training variation and performance in elite swimmers. *Int. J. Sports Med.* 28: 394–400.
- Baumert M., Brechtel L., Lock J., Hermsdorf M., Wolff R., Baier V., Voss A. (2006): Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clin. J. Sport Med.* 16: 412–417.

- Billat V.L., Flechet B., Petit B., Muriaux G., Koralsztein J.P. (1999): Interval training at $\dot{V}O_2\text{max}$: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 156–163.
- Birrer D. (2004): Einsatz psychometrischer Instrumente in der Übertrainingsdiagnostik. *Schweiz. Z. Sportmed. Traumatol.* 52: 57–61.
- Bosquet L., Leger L., Legros P. (2001): Blood lactate response to overtraining in male endurance athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 84: 107–114.
- Costill D.L., Flynn M.G., Kirwan J.P., Houmard J.A., Mitchell J.B., Thomas R., Park S.H. (1988): Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20: 249–254.
- Coutts A.J., Reaburn P., Piva T.J., Rowsell G.J. (2007): Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur. J. Appl. Physiol.* 99: 313–324.
- Earnest C.P., Jurca R., Church T.S., Chicharro J.L., Hoyos J., Lucia A. (2004): Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *Br. J. Sports Med.* 38: 568–575.
- Esperer H.D. (2003): Physiologische Grundlagen der Herzfrequenzvariabilität. In: *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport*, Hottenrott K. (Hr.), Czwalina, Hamburg, S. 11–40.
- Foster C. (1998): Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 1164–1168.
- Fry R.W., Morton A.R., Keast D. (1991): Overtraining in athletes. *Sports Med.* 12: 32–65.
- Fry R.W., Grove J.R., Morton A.R., Zeroni P.M., Gaudieri S., Keast D. (1994): Psychological and immunological correlates of acute overtraining. *Br. J. Sports Med.* 28: 241–246.
- González-Boto R., Salguero A., Tuero C., González-Gallego J., Márquez S. (2008): Monitoring the effects of training load changes on stress and recovery in swimmers. *J. Physiol Biochem.* 64: 19–26.
- Hedelin R., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsén K. (2000): Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 1531–1533.
- Hooper S.L., Mackinnon L.T., Howard A., Gordon R.D., Bachmann A.W. (1995): Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 27: 106–112.
- Hoos O. (2006): Spektralanalyse der Herzfrequenzvariabilität im Sport – Methoden und Anwendungen, Möglichkeiten und Grenzen. In: *Herzfrequenzvariabilität: Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin*, Hottenrott K. (Hr.), Czwalina, Hamburg, S. 28–55.
- Hynynen E., Uusitalo A., Kontinen N., Rusko H. (2006): Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: 313–317.
- Hynynen E., Uusitalo A., Kontinen N., Rusko H. (2008): Cardiac autonomic responses to standing up and cognitive task in overtrained athletes. *Int. J. Sports Me.*, 29: 552–558.
- Israel S. (1976): Zur Problematik des Übertrainings aus internistischer und leistungsphysiologischer Sicht. *Med. Sport* 16: 1–12.
- Jeukendrup A.E., Hesselink M.K. (1994): Overtraining – what do lactate curves tell us? *Br. J. Sports Med.* 28: 239–240.
- Jugde L., Potteiger J.A. (2000): Using a battery of tests to identify overtraining in throwers. *Mod. Athlete Coach.* 38: 8–12.
- Kindermann W. (1986): Das Übertraining – Ausdruck einer vegetativen Fehlsteuerung. *Dtsch. Z. Sportmed.*: 238–245.
- Kiviniemi A.M., Hautala A.J., Kinnunen H., Tulppo M.P. (2007): Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101: 743–751.
- Koutedakis Y., Sharp N.C. (1998): Seasonal variations of injury and overtraining in elite athletes. *Clin. J. Sport Med.* 8: 18–21.
- MacKinnon L.T. (2000): Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol. Cell. Biol.* 78: 502–509.
- Meeusen R., Duclos M., Gleeson M., Rietjens G., Steinacker J., Urhausen A. (2006): Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. *Eur. J. Sport Sci.* 6: 1–14.
- Mourot L., Bouhaddi M., Perrey S., Cappelle S., Henriët M.T., Wolf J.P., Rouillon J.D., Regnard J. (2004): Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin. Phys. Funct. Imag.* 24: 10–18.
- Noakes T.D. (2000): Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 10: 123–145.
- O'Connor P.J., Morgan W.P., Raglin J.S., Barksdale C.M., Kalin N.H. (1989): Mood state and salivary cortisol levels following overtraining in female swimmers. *Psychoneuroendocrinology* 14: 303–310.
- Raglin J., Barzdukas A. (1999): Overtraining in athletes: the challenge of prevention. *Health Fit J.* 3: 27–31.
- Sims S. (2001): The overtraining syndrome and endurance athletes. *Strength Cond. J.* 23: 45–46.
- Slivka D.R., Hailes W.S., Cuddy J.S., Ruby B.C. (2010): Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. *J. Strength Cond. Res.* 24: 2604–2612.
- Snyder A.C., Kuipers H., Cheng B., Servais R., Franssen E. (1995): Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: 1063–1070.
- Urhausen A., Kindermann W. (2000): Aktuelle Marker für die Diagnostik von Überlastungszuständen in der Trainingspraxis. *Dtsch. Z. Sportmed.* 51: 226–233.
- Urhausen A., Kindermann W. (2002): Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Med.* 32: 95–102.
- Uusitalo A.L. (2001): Overtraining: making a difficult diagnosis and implementing targeted treatment. *Phys. Sportsmed.* 29: 35–50.
- Vogel R. (2001): Übertraining: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. *Schweiz. Z. Sportmed. Traumatol.* 49: 154–162.
- Vogel R., Marti B., Birrer D., Held T., Seiler R., Hoppeler H. (2001): Leistungsniveau, Herzfrequenz-Regulation und psychologische Faktoren als potentielle Prädiktoren von Übertraining im Ausdauersport: Ergebnisse einer Prospektivstudie mit Spitzenathleten. *Schweiz. Z. Sportmed. Traumatol.* 49: 163–172.