

Evaluierung individueller Trainingsvorgaben auf Basis der Herzfrequenzvariabilität für ein Lauftraining im Freizeit- und Gesundheitssport

Evaluation of Heart Rate Variability-based Training Prescriptions in Recreational Running

^{1,2}Thomas Gronwald, ³Stephan Schulze, ⁴Sebastian Ludyga, ^{1,5}Kuno Hottenrott

Institut für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung¹, Departement für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie³, Departement Sportwissenschaft⁵, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Deutschland; Fakultät Sport und Interdisziplinäre Studien, Hochschule für Gesundheit & Sport, Technik & Kunst Berlin, Deutschland²; Departement für Sport, Bewegung und Gesundheit, Universität Basel⁴

Zusammenfassung: Die Belastungssteuerung über die Herzfrequenzvariabilität (HRV) gewinnt im Kontext der Trainingsindividualisierung immer mehr an Bedeutung. Ziel der Studie war es, zu überprüfen, ob sich die über ein Herzfrequenzmessgerät auf der Basis der HRV ermittelten Intensitätsbereiche in Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit über einen mehrwöchigen Trainingszyklus verändern. Freizeitläufer wurden für ein zwölfwöchiges Ausdauerprogramm rekrutiert. Vor und nach der Intervention wurde ein Stufentest mit Spirometrie durchgeführt. Zudem wurden die Belastungsvorgaben analysiert. Über den Interventionszeitraum hat sich die Unter- und Obergrenze der vorgegebenen Herzfrequenz in der niedrigsten Intensitätszone signifikant erhöht. Bezogen auf die Ausdauerleistung waren nach der Trainingsintervention zudem signifikante Verbesserungen zu verzeichnen. Die Anpassung der Herzfrequenzwerte an die veränderte Leistungsfähigkeit sichert in diesem Rahmen ein reizwirksames Training über eine mehrwöchige Trainingsintervention ab.

Schlüsselwörter: Herzfrequenzvariabilität – Herzfrequenzzonen – Trainingsintervention

Abstract: The quantification of training loads by using heart rate variability (HRV) indices is a recognized method for individual training prescription. The present study investigates whether or not intensity zones determined by individual HRV change in relation to aerobic performance over a mid-term training period. Recreational runners were recruited for an endurance training over 12 weeks. A graded exercise test with spirometry was performed at baseline and after the intervention. Additionally, possible changes of training prescriptions were investigated. Over the intervention period the lower and upper limit of the target heart rate in intensity zone I increased significantly. Subjects also significantly improved in performance parameters. Load quantification by HRV indices is progressive and pays attention to the individual fitness level.

Key words: heart rate variability – heart rate targets – training intervention

Résumé: Le contrôle de la charge par la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) gagne de plus en plus d'importance dans le contexte de l'individualisation de l'entraînement. L'objectif de l'étude était de vérifier s'il y a un changement des zones d'intensité à la base de la VFC en dépendance de la performance pendant un cycle d'entraînement de plusieurs semaines. Pour cela, divers coureurs occasionnels ont été recrutés pour un programme d'endurance de douze semaines. Avant et après l'intervention, un test progressif avec une spirométrie a été réalisé. Pendant la période d'intervention, les limites de la fréquence cardiaque inférieure et supérieure pour la zone d'intensité la plus faible ont augmentées significativement. Il y avait en outre des améliorations significatives par l'intervention d'entraînement en rapport avec l'endurance. L'adaptation des résultats de la fréquence cardiaque aux changements de la performance assurera un entraînement plus spécifique sur une période de plusieurs semaines.

Mots-clés: variabilité de fréquence cardiaque – zones d'intensité – programme d'endurance

Im Artikel verwendete Abkürzungen:

HF _{max}	Maximale Herzfrequenz	U	Untrainierte Athleten
HRV	Herzfrequenzvariabilität	v _{max}	Maximale Geschwindigkeit
RPE	Rating of Perceived Exertion	v _{lat}	Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle
SD	Standardabweichung	v _{La4}	Geschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktatkonzentration
T	Ausdauertrainierte Athleten	VO _{2max}	Maximale Sauerstoffaufnahme

Einleitung

Die Wirkung wiederholter Ausdauerleistungen ist massgeblich von den Trainingsstimuli abhängig [1]. Längerfristige Über- und Unterbelastungen sollten dabei vermieden werden, da es sonst zu einer Stagnation oder negativen Entwicklung der Leistungsfähigkeit kommt [2]. In Abhängigkeit des Trainingszustands verändert sich auch die Schwelle, ab der ein Stimulus als trainingswirksam einzustufen ist [3]. Folglich müssen Belastungsvorgaben im Trainingsprozess immer wieder an das veränderte Ausdauerleistungsniveau angepasst werden. Studien zeigen, dass eine Belastungssteuerung gestützt auf die Herzfrequenzvariabilität (HRV) nicht nur zu einer Optimierung des Trainings beitragen kann, sondern auch zu starken Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme und Leistung führt [4–9].

Gleichermassen lassen sich über Parameter der HRV individuelle Trainingsbereiche ableiten [10]. Nachweislich nimmt der HRV-Parameter der Kurzzeitvariabilität SD1 (Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser) mit zunehmender körperlicher Belastung ab und bildet bei 50–55 % der VO_{2max} ein Plateau aus, welches bei ca. 65 % der HF_{max} liegt [10,11]. Weiterführende Untersuchungen haben gezeigt, dass das Plateau mit der spirometrisch und laktatbasierten aeroben Schwelle korreliert ($0,82 \leq r \leq 0,89$) [10]. Diesen Ansatz hat sich die Firma Polar mit dem OwnZone™-Konzept zunutze gemacht, um den Intensitätsbereich für ein reizwirksames Ausdauertraining abzuleiten [13]. Die Ausbildung des HRV-Plateaus wird dabei als Untergrenze der OwnZone™ 1 verwendet. Die Belastungssteuerung erfolgt ausschliesslich nach den individuellen Herzfrequenzvorgaben in den drei Trainingsbereichen der jeweiligen OwnZone™ und nicht nach definierten Laufgeschwindigkeiten. Bei der Validierung der OwnZone™-Funktion anhand von Laktatmessungen wurde dies in der Studie von Schulz et al. [14] nicht beachtet.

Im HF-Messgerät FT 60 (Polar Electro, Finnland) ist das STAR-Programm hinterlegt, das auf dem OwnZone™-Konzept basiert. Mittels Messungen der HRV und Ruhe-HF wird dabei der aktuelle Fitnesszustand regelmässig neu ermittelt, um konkrete Zeit- und Intensitätsvorgaben zu bestimmen. Während die Wirksamkeit des STAR-Programms für die Verbesserung der Ausdauerleistung bereits nachgewiesen wurde [4,5,15], ist eine Veränderung der OwnZone im Zusammenhang mit einer veränderten Leistungsfähigkeit bisher noch nicht untersucht.

Die vorliegende Studie evaluiert dementsprechend die Veränderungen der Trainingsvorgaben und die Leistungsentwicklung während einer zwölfwöchigen Halbmarathonvorbereitung unter Nutzung des Herzfrequenz-Trainingscomputers FT60.

Methodik

Versuchspersonen

Es wurden 20 ausdauertrainierte Läuferinnen und Läufer (10 m, 10 w) rekrutiert (Alter: $39,2 \pm 8,0$ Jahre; Körpergrös-

se: $171,5 \pm 7,4$ cm; Körpergewicht: $68,2 \pm 9,5$ kg; Körperfett: $21,3 \pm 6,8$ %). Eingeschlossen wurden nur gesunde Personen, die keine kardiovaskulären, pulmonalen oder orthopädischen Einschränkungen aufwiesen. Eine weitere Voraussetzung für die Teilnahme war ein Trainingsumfang von mindestens 15 km Lauftraining pro Woche über die letzten drei Monate. Alle Probanden wurden über Risiken und Nutzen der anstehenden Untersuchungen informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis für die freiwillige Teilnahme. Das Studiendesign wurde im Vorfeld durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg genehmigt.

Untersuchungsdesign

Im Vorfeld der Studie erfolgte ein Eingangsscheck nach der S1-Richtlinie der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention [16], der ein medizinisches Screening, eine Eigenanamnese sowie die Erfassung des Ruhe-EKG beinhaltet. Das medizinische Screening beinhaltete zudem eine orthopädische Statuserhebung sowie eine Spirometrie. Es konnten keine Abweichungen des Ruhe-EKG festgestellt werden und alle Probanden wurden als sportgesund ohne Einschränkungen eingestuft. Anschliessend wurden anthropometrische Parameter und der aktuelle Fitnesszustand mit dem Polar-OWN-Index bestimmt. Dieser Indexwert beruht auf den Parametern Körpergewicht, Körpergrösse, kalendarisches Alter, Aktivitätsniveau (niedrig, mittel, hoch, top) und der HRV und korreliert stark mit der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme. Zur Beurteilung des Ausdauerleistungsniveaus wurde im Anschluss eine Spiroergometrie (Metamax 3b, Fa. Cortex®) auf einem Sprintlaufband (Pulsar 4.0, Fa. h/p/cosmos®) durchgeführt und die körperliche Leistungsfähigkeit der Probanden in einem Stufentest bestimmt (Start: 7 km/h, Stufeninkrement: 1,5 km/h, Stufenlänge: 3 min, Belastungspause: 1 min). Als Ausbelastungskriterium wurde ein RPE >17 (Rating of Perceived Exertion) oder ein respiratorischer Quotient >1,10 festgelegt. Im Anschluss absolvierten die Studienteilnehmer ein zwölfwöchiges Trainingsprogramm zur Vorbereitung auf einen Halbmarathon-Wettkampf. Nach Abschluss der Trainingsintervention wurde die Leistungsdiagnostik wiederholt und es erfolgte die Teilnahme am Halbmarathonlauf im Rahmen des Mitteldeutschen Marathons 2013.

Trainingssteuerung und -dokumentation

Die Studienteilnehmer erhielten zu Studienbeginn einen Polar-Trainingscomputer (Modell: FT60), der auf Basis der in der Leistungsdiagnostik ermittelten Parameter (VO_{2max} , HF_{max}) und der anthropometrischen Daten (Körperhöhe, Gewicht, Geburtsdatum, Geschlecht) sowie dem aktuellen Aktivitätsniveau (basierend auf den Trainingsstunden pro Woche) für jeden Studienteilnehmer individuell konfiguriert wurde. Weiterhin wurde die Durchführung der OwnZone-Bestimmung in einer Infor-

mationsveranstaltung vor Interventionsbeginn vermittelt und unter Anleitung praktisch durchgeführt. Anschließend absolvierten die Studienteilnehmer das im Trainingscomputer vorbereitete adaptive Trainingsprogramm «Fitness maximieren» über eine Dauer von zwölf Trainingswochen. Bei diesem Trainingskonzept erhält der Durchführende individuelle Vorgaben für die wöchentliche Trainingsdauer, verteilt auf drei Herzfrequenzbereiche (I=ca. 60–70 % HF_{max} ; II=ca. 70–80 % HF_{max} ; III=ca. 80–90 % HF_{max}). Haupttrainingszone des Trainingsalgorithmus für das Ziel «Fitness maximieren» bildete die Zone II. Dieses Ziel wurde in Absprache mit den Probanden hinsichtlich ihres bestehenden Leistungsniveaus festgelegt. Details hinsichtlich fester Trainingstermine oder Anzahl an Trainingseinheiten wurden nicht vorgegeben. In Abhängigkeit der Erfüllung der wöchentlichen Trainingsvorgabe wird eine Bilanz gezogen und der Sportler erhält ein Feedback. Nach sechs Trainingswochen wird die Belastungsvorgabe über den implementierten Berechnungsalgorithmus des STAR-Programmes im Trainingscomputer angepasst. Während des Interventionszeitraumes wurden die Zonen-Grenzwerte an jedem Trainingstag zu Beginn der Trainingseinheit neu bestimmt, um den aktuellen Status des autonomen Nervensystems über die Herzfrequenzvariabilität in der Trainingssteuerung zu berücksichtigen. Die Herzfrequenzvorgaben in den Zonen (I-III) variierten folglich von Tag zu Tag. Die Trainingsdokumentation erfolgte über die Online-Datenauswertung des Trainingscomputers via Webbrowser basierter Software Polar-Personal-Trainer und zusätzlich als analoges Trainingstagebuch. Im Anschluss wurden in Vorbereitung der Analyse alle Grenzwerte der Zone I für jede Trainingseinheit analysiert und ein Wochen-Mittelwert für die jeweilige Trainingswoche gebildet.

Statistik und Auswertung

In die Datenauswertung wurden nur Probanden eingeschlossen, die Ihre persönliche Vorgabe hinsichtlich der Trainingsdauer zu einem Anteil von mindestens 80 %,

bezogen auf den gesamten Trainingszeitraum, einhalten konnten. Im Vorfeld der inferenzstatistischen Prüfung wurden die Variablen mittels Histogramm-Analyse und K-S-Anpassungstest auf Normalverteilung geprüft. Bei vorliegender Normalverteilung erfolgte zum deskriptiven Vergleich eine Berechnung der Mittelwerte (MW) und der Standardabweichungen (SD). Die Prüfung auf Mittelwertdifferenzen erfolgte als Pre-Post-Vergleich per T-Test für verbundene Stichproben in den Dimensionen: Körperstatus (Körpergewicht, Körperfett, Magermasse, OWN-Index, Ruheherzfrequenz, Blutdruckwerte), Leistung im Stufentest (v_{max} , v_{iat} , v_{La4} , VO_{2max} , HF_{max}) und als Trainingsanalyse der Zone I (Untergrenze, Obergrenze, Spannweite) des angewandten Polar-STAR-Trainingsprogramms.

Ergebnisse

Körperstatusanalyse, Blutdruck, Ruheherzfrequenz und OWN-Index

Im Vergleich der beiden Messzeitpunkte konnte nach Abschluss der Trainingsintervention eine signifikante Verringerung des Körpergewichts und des Körperfettanteils bei einer tendenziellen Erhöhung der Magermasse beobachtet werden. Weiterhin erhöhte sich der OWN-Index signifikant, und es kam zu einer Verringerung der Ruheherzfrequenz und der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte (Tab. 1).

Leistungsfähigkeit und -entwicklung

Die Analyse der Leistungsfähigkeit beim Laufbandstufentest zeigte sowohl für die Maximal-, als auch für die Schwellengeschwindigkeiten eine signifikante Zunahme nach Abschluss der Trainingsintervention. Die spiroergometrischen Analysen ergaben einen signifikanten Anstieg der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme. Für die maximale Herzfrequenz wurden vergleichbare Werte in

Tabelle 1. Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) sowie Ergebnisse des Mittelwertvergleichs (Pre vs. Post) für die Parameter zum Körperstatus, OWN-Index, Ruheherzfrequenz (HF_{Ruhe}) und Blutdruck

	Pre		Post		T-Test	
	MW	SD	MW	SD	T	p
Körpergewicht (kg)	68,2	9,5	67,5	8,9	2,115	0,048
BMI (kg·m⁻²)	23,1	1,7	22,9	1,5	2,075	0,052
Körperfett (%)	21,3	6,8	19,7	6,6	2,974	0,008
Magermasse (kg)	51,2	8,4	51,6	8,8	-0,941	0,359
OWN-Index	42,3	5,1	43,1	5,2	-2,311	0,032
HF_{Ruhe}	63,1	6,8	58,3	7,6	2,102	0,024
RR syst. (mmHg)	135,3	14,4	130,1	12,6	2,340	0,030
RR diast. (mmHg)	86,2	9,4	81,0	10,1	3,152	0,002

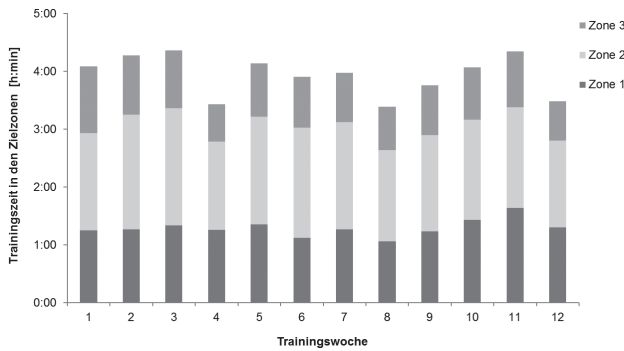


Abbildung 1. Trainingszeit in den Herzfrequenz-Zielzonen.

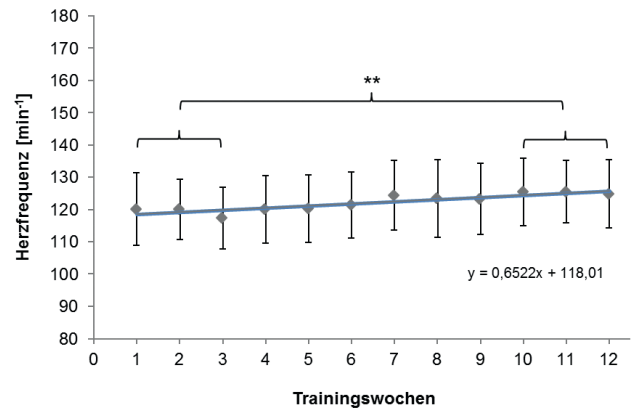


Abbildung 2. Regressionsanalyse der Herzfrequenz-Untergrenzen der OwnZone I. Dargestellt werden Mittelwerte und Standardabweichung des zwölfwöchigen Interventionszeitraums (**p < 0,001 im Vergleich Woche 1–3 vs. Woche 10–12).

der Eingangsdiagnostik und nach Abschluss der Intervention erfasst (Tab. 2).

Trainingsanalyse

Die Auswertung der Trainingsprotokolle und die Software-Analyse der Trainingsdaten ergaben eine durchschnittliche Trainingsplanerfüllung von 86,5%. Der wöchentliche Trainingsumfang betrug $4,1 \pm 0,3$ h und verteilte sich zu 96,3% auf das Training innerhalb der vorgegebenen Trainingszonen (Zone I: 31,7%; Zone II; 42,9%; Zone 3: 21,7%) und zu 3,7% der Trainingszeit ausserhalb der vorgegebenen Herzfrequenzbereiche (Abb. 1).

Die Zielvorgaben für die drei Trainingszonen veränderten sich über den Interventionszeitraum. In Abbildung 2 werden die Trainingsherzfrequenzvorgaben für die Zone I dargestellt. Die Regressionsanalyse zeigt einen ansteigenden Trend für den Grenzwert der Trainingszone 1. Im Vergleich des Mittelwertes der Wochen 1–3 vs. Wochen 10–12 konnte eine signifikante Anhebung der Untergrenzen ($119,3 \pm 9,3 \text{ min}^{-1}$ auf $125,3 \pm 9,4 \text{ min}^{-1}$; $p=0,006$) und Obergrenzen ($135,1 \pm 9,0 \text{ min}^{-1}$ auf $140,4 \pm 8,9 \text{ min}^{-1}$; $p=0,008$) nachgewiesen werden (Tab. 3). Es kam gleichzeitig zu ei-

Tabelle 2. Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD) sowie Ergebnisse des Mittelwertvergleichs (Pre vs. Post) für die Maximal- und Schwellengeschwindigkeiten (v_{iat} , v_{La4}), die erreichte Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) im Laufbandstufentest.

	Pre		Post		T-Test	
	MW	SD	MW	SD	T	p
v_{max} (km·h ⁻¹)	14,20	1,58	14,89	1,76	-5,670	<0,001
v_{iat} (km·h ⁻¹)	11,51	1,41	12,29	1,38	-4,668	<0,001
v_{La4} (km·h ⁻¹)	12,00	2,18	13,10	1,67	-4,449	<0,001
VO_{2max} (l·min ⁻¹)	3,01	0,64	3,16	0,70	-4,843	<0,001
VO_{2max} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	44,19	7,07	47,06	7,85	-5,910	<0,001
HF_{max} (min ⁻¹)	189,1	11,3	187,6	11,5	0,998	0,337

Tabelle 3. Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) der Trainingswochen 1–3 und 10–12 sowie Ergebnisse des Mittelwertvergleichs (Pre vs. Post) der Grenzwerte (Untergrenze [UG], Obergrenze [OG], Spannweite [Range]) der Trainingszone 1 für das durchgeführte STAR-Trainingsprogramm.

	Woche 1–3		Woche 10–12		T-Test	
	MW	SD	MW	SD	T	p
UG Zone I (min ⁻¹)	119,3	9,3	125,3	9,4	-3,069	0,006
OG Zone I (min ⁻¹)	135,1	9,0	140,4	8,9	-2,972	0,008
Range (min ⁻¹)	15,8	1,0	15,0	1,5	2,437	0,025

ner leichten Verringerung der Herzfrequenz-Bandbreite in der Trainingszone 1.

Diskussion

Eine Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit durch ein grundlagenorientiertes Ausdauertrainingsprogramm geht mit einer Verschiebung der stoffwechselbezogenen Grenzwerte bei herzfrequenzgesteuerter Trainingsvorgabe einher. Im Vergleich zu ausdauertrainierten Athleten (T) liegt bei Untrainierten (U) eine vergleichbare Stoffwechselbeanspruchung bei einer geringeren relativen Belastungsintensität (% der Maximalleistung) vor (vgl. ACSM: U 60–70 % HF_{max} , T 70–85 % der HF_{max} ; Karvonen: U 50–60 %, T 70–80 % der HF-Reserve). Die Daten der vorliegenden Studie belegen, dass sich die OwnZone-Grenzwerte mit der Zunahme der Leistungsfähigkeit im Verlauf der Trainingsintervention verschieben.

Aus Sicht der langfristigen Leistungsentwicklung sind Anpassungen in den Steuergrößen des Trainings für die Sicherung der adaptiven Wirkung im Trainingsprozess unabdingbar. Hintergrund für diese Veränderungen ist die im Zuge der aeroben Leistungssteigerung ebenfalls steigende Aktivität des parasympathischen Nervensystems, was bereits in zahlreichen Studien für die vagalen HRV-Parameter (RMSSD, High-Frequency, SD1) gezeigt wurde [6–9,17,18]. Neben der Verschiebung der Own Zone-Grenzwerte zeigte sich über die Trainingsintervention auch eine Verkleinerung der Spannweite (Range). Diese Beobachtung ist darauf zurückzuführen, dass mit der Zunahme der Leistungsfähigkeit der reizwirksame Intensitätsbereich immer kleiner wird. Die Forschungen von Tulppo et al. [10,19] sind als Grundlage für die spätere Implementierung der variabilitätsgesteuerten Intensitätsbereichsbestimmungen zu sehen, die später Eingang in die Polar-OwnZone-Bestimmung fanden. Höhere vagale Einflüsse führen hierbei konsequent zu einer Erhöhung der Belastungsherzfrequenzvorgaben in den Trainingszonen. Der grundsätzliche vagusstimulierende Effekt eines aeroben Ausdauertrainings wurde bereits in diversen Studien thematisiert. Ausführliche Betrachtungen finden sich in der Metaanalyse von Sandercock et al. [20], die unter Berücksichtigung von zwölf Studien mit insgesamt 298 Probanden aufzeigen konnten, dass es durch ein aerobes Trainingsprogramm von mehr als vier Wochen Dauer zu einem Anstieg im *Nervus-vagus*-assoziierten High-Frequency-Spektralband kam. Zudem konnte durch das hier durchgeführte Ausdauertraining eine verringerte Ruheherzfrequenz festgestellt werden, was im Sinne einer Ökonomisierung der Herz-Kreislauf-Tätigkeit diskutiert werden kann [21,22]. Grundsätzlich muss darüber hinaus jedoch für die Trainingsplanung eine Berücksichtigung der Dosis-Wirkungs-Beziehung von Trainingsbelastung und autonomer Anpassung erfolgen [23,24]. Eine individuelle Anpassung der Vorgaben an den jeweiligen Trainingszustand, an Alter und Geschlecht ist eine Voraussetzung für ein erfolgreiches Ausdauertraining unter Einbezug der Herzfrequenzvariabilität [25].

Vor diesem Hintergrund sind neben der Leistungsverbesserung durch das Ausdauertraining der vergleichsweise geringe Drop-out und die hohe Trainingsplanerfüllung zu betrachten. Von insgesamt 20 Teilnehmern, die an der Eingangsdiagnostik teilnahmen, beendete lediglich ein Studienteilnehmer die Studie vorzeitig (persönliche Gründe). In den Feedback-Anmerkungen der Studienteilnehmer wurde zusätzlich mehrfach dokumentiert, dass die Implementierung des Monitoring-Systems in den Trainingscomputer mit wöchentlicher Feedbackfunktion einen sehr positiven Beitrag zur Aufrechterhaltung der Motivation im Studienverlauf darstellte. Am abschliessenden Halbmarathonlauf nahmen 19 der 20 Studienteilnehmer teil. Sie erreichten eine mittlere Ziel-Zeit von 1 h 54 min \pm 14 min. Alle gestarteten Teilnehmer erreichten das Ziel, es kam zu keinen Abbrüchen.

Schlussfolgerung

Ein Trainingsprogramm, das die Intensitätsvorgaben von der individuellen HRV ableitet, führt zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Dabei verändert sich die OwnZone ebenfalls und passt sich der gesteigerten Leistungsfähigkeit an. Somit wird eine Progression der Belastungsintensität gewährleistet, die fortwährend die Reizwirksamkeit der Trainingsstimuli sichern soll. Obwohl ursprünglich für den Fitnessbereich entwickelt, zeigen die eigenen Erfahrungen, dass der Einsatz des STAR-Programms ebenfalls zur Vorbereitung von Halbmarathonläufen geeignet ist. Hierbei wird als grosser Vorteil angesehen, dass eine variable Einteilung der Trainingstermine sowie der Dauer der Trainingseinheiten möglich ist und eine stetige Kontrolle der Trainingsintensität sowie ein Feedback zum Training erfolgt.

Key messages

- Individuelle Herzfrequenzvorgaben auf Basis der HRV (Herzfrequenzvariabilität) können adäquat zur Trainingssteuerung eingesetzt werden.
- Die Zielzonen zur Steuerung passen sich an die gesteigerte Leistungsfähigkeit an.
- Dem Trainingsprinzip einer progressiven Belastungssteigerung kann damit auf einfache Weise Folge geleistet werden.
- Das vorgestellte Trainingskonzept bietet genügend Flexibilität, um auch im Sinne der Compliance eine einfache Umsetzung im Freizeit- und Gesundheits-sport sicher zu stellen.

Bibliografie

1. Borresen J, Lambert MI: The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Med* 2009; 39: 779–795.
2. Lehmann M, Foster C, Keul J: Overtraining in endurance athletes: A brief review. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25: 854–862.

3. Bouchard C, Rankinen T: Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 446–451.
4. Hottenrott K, Ludyga S, Schulze S: Evaluierung von unterschiedlichen Trainingsmodellen bei berufstätigen Freizeitläufern. *Sportwiss* 2013; 43: 157–165.
5. Hottenrott K, Ludyga S, Gronwald T, Schulze S: Effects of an individualized and time based training program on physical fitness and mood states in recreational endurance runners. *Am J Sports Sci* 2014; 2: 131–137.
6. Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Tulppo MP: Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol* 2007; 101: 743–751.
7. Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, et al.: Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42: 1355–1363.
8. Le Meur Y, Pichon A, Schaal K, et al.: Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45: 2061–2071.
9. Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M: Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112: 3729–3741.
10. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Takala TE, Seppänen T, Huikuri HV: Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol* 1996; 271: 244–252.
11. Virtanen P, Vasankari T, Vuorimaa T, Laukkanen R: HRV plateau in exercise intensity determination in endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 611.
12. Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ: Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med* 2008; 29: 652–657.
13. Polar Electro Oy: Scientific development and evaluation of the Polar OwnZone feature 2005. <http://www.spoteo.de/objects/technologies/561/polar-ownzone.pdf>. Letzter Zugriff: 10.10.2013.
14. Schulz H, Horn A, Heck H: Validierung der Herzfrequenzvorgabe der OwnZone™-Funktion anhand von Laktatmessungen. *Dtsch Z Sportmed* 2007; 58: 86–91.
15. Ring-Dimitriou S, von Duvillard SP, Stadlmann M, et al.: Changes in physical fitness in moderately fit adults with and without the use of exercise telemetry monitors. *Eur J Appl Physiol* 2008; 102: 505–513.
16. DGSP – Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention – Deutscher Sportärztebund: S1-Leitlinie. Vorsorgeuntersuchung im Sport, 2007. <http://www.dgsp.de/seite/278046/antragsformular.html>. Letzter Zugriff: 10.10.2013.
17. Buchheit M: Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 2014; 5: 1–19.
18. Hottenrott K, Gronwald T: Bedeutung der Herzfrequenzvariabilität für die Regenerationssteuerung. *Leistungssport* 2014; 44: 9–13.
19. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV: Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol* 1998; 274: H424–429.
20. Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA: Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 433–439.
21. Ekblom B, Kilbom A, Soltysiak J: Physical training bradycardia and autonomic nervous system. *Scand J Clin Lab Invest* 1973; 32: 251–256.
22. Smith ML, Hudson DL, Graitzer HM, Raven PB: Exercise training bradycardia: the role of autonomic balance. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21: 40–44.
23. Iwasaki K, Zhang R, Zuckerman JH, Levine BD: Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *J Appl Physiol* 2003; 95: 1575–1583.
24. Okazaki K, Iwasaki K, Prasad A, et al.: Dose-response relationship of endurance training for autonomic circulatory control in healthy seniors. *J Appl Physiol* 2005; 99: 1041–1109.
25. Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD: Heart rate variability and physical exercise. Current status. *Herz* 2006; 31: 544–552.

Manuskript eingereicht: 5.4.2016

Manuskript nach Revision angenommen: 3.5.2016

Interessenskonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenskonflikt besteht.

Dr. phil. Thomas Gronwald MBA

Hochschule für Gesundheit und Sport
 Dekan der Fakultät Sport und Interdisziplinäre Studien
 Vulkanstrasse 1
 10367 Berlin
 Deutschland

thomas.gronwald@my-campus-berlin.com