

Symposium Herzfrequenzvariabilität im Sport

Prävention, Rehabilitation und Training

8. Dezember 2001 in Marburg

Abstracts



Veranstalter:

Bereich Sportmedizin der Philipps-Universität Marburg

Polar Electro GmbH Deutschland

Grundlagen der Herzfrequenzvariabilität und Anwendungsmöglichkeiten im Sport

Mit diesem Referat wird eine allgemeine Einführung zur Thematik gegeben. Es werden Grundlagen zur Herzfrequenzvariabilität (HRV) vermittelt und Anwendungsmöglichkeiten im Sport aufgezeigt. Vorgestellt und erläutert werden die verschiedenen Parameter der Zeitbereichs- und Frequenzanalyse (Tab. 1 und 2). Zum besseren Verständnis von Frequenzanalysen wird ein allgemeiner theoretischer Bezug hergestellt und generelle Möglichkeiten von Frequenzanalysen (Fast-Fourier-Transformation, Autokorrelationsfunktionen) skizziert. Abschließend werden Fragen zur Normierung und Standardisierung diskutiert.

Tab 1: Parameter der Zeitbereichsanalyse der HRV

Parameter	Weitere Bezeichnung	Einheit	Definition
RR	avgRR	ms	Durchschnittliche Dauer aller RR-Intervalle
RRSD	SD, SD_{RR}	ms	Standardabweichung aller RR-Intervalle (=Gesamtvariabilität) (entspricht dem Langzeitparameter SDNN)
RMSSD	r-MSSD	ms	Wurzel aus den quadrierten Differenzen aller RR-Intervalle
pNN50	NN50	%	ANTEIL AUF EINANDERFOLGENDER RR-INTERVALLE > 50 MS AN DER GESAMTZAHL DER RR-INTERVALLE
D_L		ms	Länge des Längsdurchmessers der 95%-Vertrauensellipse
D_Q	D_W	ms	Länge des Querdurchmessers der 95%-Vertrauensellipse
SD1	stdb, SO_Q , SD-quer	ms	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der RR_i / RR_{i+1} -Punkte zum Querdurchmesser der Ellipse
SD2	stda, SO_L , SD-längs	ms	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der RR_i / RR_{i+1} -Punkte zum Längsdurchmesser der Ellipse

Tab 2: Parameter der Frequenzanalyse der HRV

Parameter	Weitere Bezeichnung	Einheit	Definition
TP	Total power	ms^2	Gesamtspektrum (Gesamtleistungsdichtespektrum)
VLF	Very low frequency	ms^2 %	Leistungsdichtespektrum von 0,00 bis 0,04 Hz Prozentualer VLF-Anteil am Gesamtspektrum
LF	Low frequency	ms^2 %	Leistungsdichtespektrum von 0,04 bis 0,15 Hz PROZENTUALER LF-ANTEIL AM GESAMTSPEKTRUM
HF	High frequency	ms^2 %	Leistungsdichtespektrum von 0,15 bis 0,40 Hz Prozentualer HF-Anteil am Gesamtspektrum
LF/HF		%	Prozentualer Anteil von LF zu HF

Leistungsdiagnostische Wertigkeit der Herzfrequenzvariabilität bei der Fahrradergometrie

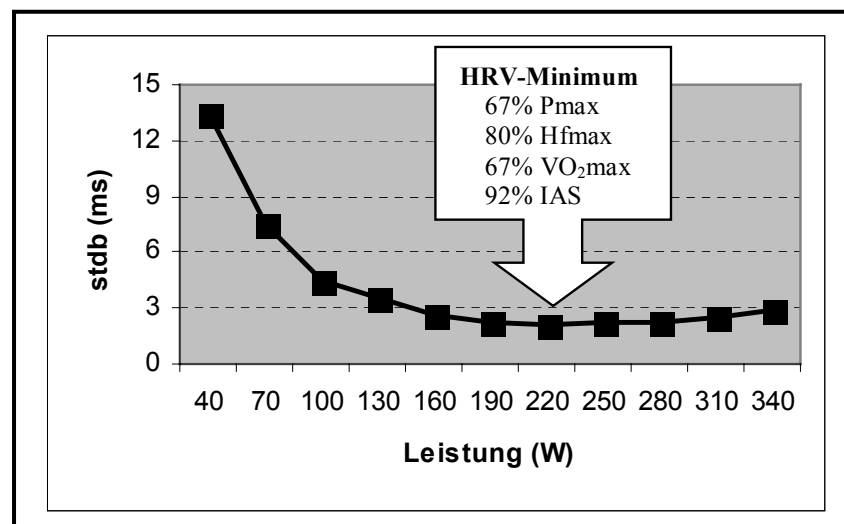
In der vorliegenden Studie wird die diagnostische Aussage der Herzfrequenzvariabilität (HRV) bei standardisierter Fahrradergometrie untersucht. Im Vordergrund stand dabei die Fragestellung, ob ein Zusammenhang zwischen der HRV und praxisrelevanten leistungsdiagnostischen Parametern besteht und inwieweit die HRV für die Ableitung individueller Trainingsbereiche genutzt werden kann.

Die HRV verringert sich mit zunehmender körperlicher Belastung. Diese Abnahme widerspiegelt Veränderungen der vegetativen Steuerung der Herztätigkeit (Abnahme des Vagotonus und Zunahme des Sympathikotonus).

Die HRV-Parameter des Streudiagramms (stda, stdb), der Zeitbereichsanalyse (SD, rMSSD) und der Frequenzanalyse (TP, LF, HF) zeigen unter Belastung einen charakteristischen Verlauf. Nach einem steilen Abfall der HRV zu Beginn der Belastung folgt eine weitere langsame Abnahme im mittleren Intensitätsbereich. An diese Phase schließt sich bei den Kurzzeitvariabilitätsparametern (stdb, rMSSD, HF), die Veränderungen des Vagotonus repräsentieren, eine Plateaubildung mit einem geringen Wiederanstieg zum Belastungsende hin an, während die Langzeitvariabilitätsparameter (stda, SD, TP, LF) eine kontinuierliche Abnahme bis zum Belastungsabbruch aufweisen.

Bei 46 gut trainierten Ausdauerathleten der Sportarten Triathlon und Radsport (26 ± 6 Jahre, $75,3 \pm 8,9$ kg, $183,2 \pm 5,4$ cm, maximale Leistung P_{max} $4,66 \pm 0,45$ W/kg, VO_{2max} $61,1 \pm 5,0$ ml/kg·min) wurde die Dynamik der HRV bei standardisierter Fahrradergometrie (Belastungsbeginn 40W, Stufendauer 5 min, Steigerung um 30W bis zur Ausbelastung) in Relation zu kardiopulmonalen (Hf , VO_2) und metabolen Funktionsgrößen (Leistung bei Lactat 2 und 4 mmol/l, IAS nach Dickhuth) untersucht. Bei 12 Sportlern erfolgte zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der HRV-Parameter eine Kontrolluntersuchung nach zwei Tagen.

Bei allen Sportlern fand sich eine signifikante Abnahme der HRV. Die Plateaubildung der Kurzzeitvariabilitätsparameter begann bei durchschnittlich 1,5 mmol/l Lactat (55% P_{max} , 70% Hf_{max} , 55% VO_{2max}). Das individuelle Minimum der Kurzzeitvariabilitätsparameter wurde als HRV-Schwelle definiert und lag bei durchschnittlich 2,4 mmol/l Lactat (67% P_{max} , 80% Hf_{max} , 67% VO_{2max}). Die HRV-Schwelle verschiebt sich analog zu metabolen und ventilatorischen Schwellen in Abhängigkeit von der Ausdauerleistungsfähigkeit. Die HRV-Schwelle lag bei den Sportlern im Durchschnitt knapp 10% unter der Leistung der IAS.



Beim Vergleich von Test und Retest ergab sich eine gute Reproduzierbarkeit der HRV-Parameter ($p < 0,001$).

In der untersuchten Sportlerpopulation konnte eine gute Übereinstimmung zwischen der HRV-Schwelle und trainingsrelevanten Belastungsintensitäten im aerob-anaeroben Stoffwechselbereich nachgewiesen werden.

Verhalten der Herzfrequenzvariabilität bei Dauerbelastungen unterschiedlicher Intensität auf dem Fahrradergometer

Problemstellung: Im Stufentest zeigt sich ein Abfall der Herzfrequenzvariabilität (HRV) mit zunehmender Belastungsintensität (P), der bis ca. 60% VO_2max überproportional und darüber bis zu maximalen Intensitäten asymptotisch verläuft. Differenzierende Analysen im Frequenzbereich und im Pointcaré Plot dokumentieren zudem einen Wiederanstieg anteiliger schneller Oszillationen der HRV ab ca. 80% P_{max} . Aufgrund der größeren Veränderungen der HRV-Parameter im Vergleich zur Herzfrequenz und Laktat bis in moderate Belastungsbereiche ist ein möglicher Einsatz der HRV in der Trainingspraxis für die Belastungssteuerung zu diskutieren. Grundlegend sind in diesem Zusammenhang Kenntnisse über das Verhalten der HRV im Vergleich zu metabolischen Messgrößen bei ansteigenden Intensitäten sowie über das zeitabhängige Verhalten bei Beanspruchungen längerer Dauer. Mit der vorliegenden Studie wurde die HRV bei Fahrradergometer-Dauerbelastungen unterschiedlicher Intensität in Relation zum maximalen Laktat-Steady-state (maxLass) untersucht.

Methodik: 11 Probanden (25 ± 5 J, 82 ± 14 kg, 182 ± 5 cm) absolvierten nach einem Eingangsstufentest 11 bis 21 30minütige Fahrradergometer-Dauertests in randomisierter Reihenfolge (Abstufung 10 Watt von 30% P_{max} bis 1 Test oberhalb P_{maxLass} , d.h. LA-Anstieg $> 0,05 \text{ mmol l}^{-1} \text{ min}^{-1}$). Kontinuierlich wurden die RR-Intervalle mit dem Polar Vantage® aufgezeichnet sowie 8 ohrkapillare Laktatbestimmungen durchgeführt. Neben der Streuung um die mittlere RR-Intervalldauer (RR_{SD} zu RR_{MW}) im Zeitbereich wurde die HRV mittels quantitativer Analysen der Streuung im Pointcaré Plot (SO_L und SO_W entsprechend Stda und Stdb) untersucht.

Ergebnisse: Bei zunehmender Intensität bis ca. 60-65% P_{maxLass} fallen SO_W und RR_{SD} und SO_L exponentiell ab. Im Gegensatz zu SO_W und RR_{SD} steigt SO_L im Mittel bei 93% P_{maxLass} (191 ± 36 Watt; 72% P_{max}) wieder signifikant an, wobei die individuelle Leistung im SO_L -Minimum signifikant mit P_{maxLass} (206 ± 41 Watt, 78% P_{max}) korreliert ($r=0.94$). Entsprechend ist die Relation von SO_L zu RR_{MW} ($\text{SO}_L/\text{RR}_{\text{MW}}$) zwischen ca. 50-93% P_{maxLass} konstant, um bei Intensitäten im P_{maxLass} sprunghaft anzusteigen. Die zeitabhängigen Effekte sind für alle HRV-Parameter isoliert betrachtet nicht signifikant. Jedoch steigen mit Erreichen der P_{maxLass} besonders SO_L/SO_W , $\text{SO}_L/\text{RR}_{\text{MW}}$ deutlich mit der Aktivitätsdauer ($p < 0,05$).

Schlussfolgerung: Untersuchungen zufolge trainieren ca. 35% der Freizeitläufer mit Laktatwerten $\geq 4 \text{ mmol l}^{-1}$ in gesundheitlich und trainingsphysiologisch ungünstiger Intensität. Wir zeigten, dass der bei gesundheitsrelevanten niedrigen bis moderaten Intensitäten sensible Belastungsparameter HRV darüber hinaus unter intensiverer Belastung über den Anstieg spontaner Fluktuationen (SO_L) ein Indikator einsetzender partiell anaerober Energiebereitstellung ist. Insbesondere, wenn SO_L im Verhältnis zu der Gesamtvariabilität sowie der Basis Herzfrequenz betrachtet wird, zeigt die HRV ansteigende Ermüdung während längerer intensiverer Beanspruchung an. Online erfasst, könnte somit die HRV kombiniert mit dem traditionellen Herzfrequenzmonitoring für die akute Trainingssteuerung eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

Bestimmbarkeit individueller Trainingszonen auf der Basis der Herzfrequenzvariabilität

Im Ausdauersport nimmt die individuelle Belastungssteuerung eine zentrale Rolle ein. Die Wahl der „richtigen“, d.h. auf das Trainingsziel abgestimmten Belastungsintensität ist Grundvoraussetzung für die Ausprägung der komplexen Ausdauerleistungsfähigkeit. Werden die Trainingsbelastungen fortwährend auf die individuelle Leistungsfähigkeit und die aktuelle Belastbarkeit abgestimmt, ist ein Optimum in der Belastungssteuerung gegeben.

Ziel der Studie ist es, zu überprüfen inwieweit die Herzfrequenzvariabilität (HRV) bzw. Parameter der HRV für die Bestimmung individueller Trainingszonen geeignet sind.

Dazu wurden zwei Versuchsreihen auf dem Laufband mit 16 lauferfahrenden Sportlern im Alter $27,3 \pm 5,2$ Jahren (Stufentest I: Beginn 8-10 km/h, 2 km/h Steigerung alle 3 min, 1 min Pause; Stufentest II: Beginn 2 km/h, Steigerung 2 km/h alle 2 min ohne Pause) durchgeführt, bei denen im Gehen/Laufen die HRV, Hf, Sauerstoffaufnahme sowie die Polar „Own-Zone-Grenzen“ mit dem Messgerät „M52“ bestimmt wurden.

Ergebnisse: Die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) (Basislaktat $+1,5$ mmol/l vgl. Dickhuth et al. 1989) wird im Stufentest I bei $3,1 \pm 0,5$ mmol/l Laktat, $86,8 \pm 2,5$ % der Hfmax und $79,9 \pm 7,6$ % der VO_2 max erreicht. Im Stufentest II wird für die OWN-ZONE-Low ein Herzfrequenzbereich von $120,1 \pm 8,3$ bis $140,1 \pm 8,3$ Schlägen/min bestimmt, was $62,7 \pm 5,0$ % bis $73,5 \pm 4,8$ % der individuell bestimmten maximalen Herzfrequenz entspricht. An der oberen Grenze der OWN-ZONE-High beträgt die Herzfrequenz $160,1 \pm 8,3$ Schläge/min ($83,6 \pm 4,9$ %Hfmax).

Die HRV im Stufentest II sinkt auf den ersten Belastungsstufen bis zu einer Sauerstoffaufnahme von 60% der VO_2 max signifikant und im weiteren Verlauf tendenziell gegen Null. Anders stellt sich der Verlauf beim Kurzzeitvariabilitätsparameter „stdb“ (=SD1) dar. Die Werte nehmen ebenso auf den ersten Belastungsstufen signifikant ab und erreichen bei 78% der maximalen Herzfrequenz bzw. 66% der VO_2 max ein absolutes Minimum. Auf den folgenden intensiveren Belastungsstufen steigt der stdb-Wert wieder an.

Der Intensitätsbereich von 66% der VO_2 max kennzeichnet ein reizwirksames Training in primär aerober Stoffwechsellage und wäre damit ein äußerst interessanter Wert für das Ausdauertraining. Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme liegen bei diesem SD1-Minimum signifikant unter der individuellen anaeroben Schwelle.

Einfluß eines Ausdauertrainings auf die Herzfrequenzvariabilität bei Untrainierten

Problemstellung: Eine größere Herzfrequenzvariabilität (HRV) ist mit einer geringeren Herzkreislaufmortalität verbunden. Ausdauertrainierte weisen sowohl geringere Ruheherzfrequenzwerte als auch eine höhere Herzfrequenzvariabilität (HRV) im Vergleich zu Untrainierten auf. Ziel der Untersuchung war es deshalb zu überprüfen, ob die trainingsbedingte Zunahme der HRV auf die Herzfrequenzabnahme oder die veränderte Ausdauerleistungsfähigkeit zurückzuführen ist.

Methodik: 16 Probanden (7m/7w; 37 ± 12 Jahre; 172 ± 10 cm; 73 ± 16 kg) (TR) führten ein 12wöchiges Laufausdauertrainingsprogramm durch (2-3mal pro Woche jeweils 40-60 min). Vor dem Training und am Ende des Trainingsprogramms wurde eine Leistungsdiagnostik auf dem Laufband durchgeführt. Die Bestimmung der HRV-Parameter erfolgte in Ruhe mit dem Polar Vantage® durch die quantitative Auswertung des Poincaré-Plots (SO_L : Standardabweichung der orthogonalen Abstände zum Längsdurchmesser der 95%-Vertrauensellipse; SO_W : Standardabweichung der orthogonalen Abstände zum Querdurchmesser der 95%-Vertrauensellipse). Eine Kontrollgruppe (KO) bestehend aus 16 Probanden (8m/8w; 39 ± 10 Jahre; 170 ± 8 cm; 72 ± 16 kg) absolvierte bis auf das Training die gleichen Untersuchungen wie TR.

Ergebnisse: Die Ergebnisse der Leistungsdiagnostik und der beat-to-beat Ruheherzfrequenzmessung sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

		v_4 (m/s)		HF (1/min)		SO_W (ms)		SO_L (ms)	
		vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
TR	MW	2,5	2,9	68	61	64	91	36	45
	SD	0,6	0,6	12	8	37	39	30	28
	n=14 p<	0,001		0,01		0,01		n.s.	
KO	MW	57	45	63	64	57	45	57	45
	SD	4	16	8	8	4	16	4	16
	n=16 p<	0,05		n.s.		n.s.		n.s.	

Die Änderung von SO_Q korreliert mit der Änderung der v_4 ($p < 0,05$) nicht jedoch mit der Hf-Änderung. Für SO_L bestehen keine signifikanten Korrelationen mit v_4 und Hf.

Schlußfolgerung: Die Zunahme von v_4 bei KO kann durch einen Gewöhnungseffekt an das Laufband erklärt werden. Die Zunahme der HRV durch ein Ausdauertraining wird möglicherweise durch metabolische Veränderungen in der trainierten Muskulatur mit beeinflusst. Eine mögliche Brauchbarkeit von SO_Q als Indikator für Trainingsanpassungen wird wahrscheinlich durch die große intraindividuelle Variabilität der HRV-Parameter eingeschränkt.

Autonome Kardiovaskuläre Kontrolle und Herzfrequenzvariabilität bei Ausdauerathleten, Kraftsportlern und untrainierten Normalpersonen

Problemstellung: Ausdauertraining und sportliche Aktivität führt zu Anpassungsprozessen im Herzkreislaufsystem, welche eine erhöhte Leistungsfähigkeit dieser Einheit ermöglichen. Andererseits führen kardiovaskuläre Erkrankungen zu Funktionseinschränkungen dieses Systems. Neben mit bildgebenden Verfahren darstellbaren morphologischen Adaptationen kommt es zu Veränderungen im Einfluß des autonomen Nervensystems auf die kardiale Funktion. Die Herzfrequenzvariabilität (HFV) stellt eine aktuelle, nichtinvasive Meßmethode zur Darstellung der Einflüsse von Sympathicus und Parasympathicus auf die autonome Kontrolle des Herzens dar. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Unterschiede in der HFV zwischen Ausdauertrainierten, Kraftsportathleten sowie untrainierten Gesunden aufzuzeigen, um Anhalte und Einflußfaktoren über die autonome Kontrolle des kardiozirkulatorischen Systems in diesen Gruppen zu gewinnen.

Methodik: 3 altersangeglichene Gruppen (Ausdauertrainierte N=99, davon Radsport Straße n=27, Radsport Offroad n=5, Triathlon n=22, Leichtathletik n=2, Fussball n=3, Biathlon n=40; Kraftathleten N= 10, davon Gewichtheben n=6, Ringen n=4; Normalpersonen N=46;) wurden mittels automatisierter HRV Messung (Zeit- und Frequenzdomäne) in einem standardisierten Lagewechsel-Test untersucht. Vegetative Störgrößen wurden mittels eines Fragebogens erfaßt. Mittelwerte und Gruppenunterschiede wurden berechnet.

Ergebnisse: Trainierte Sportler zeigten im Vergleich zu Normalpersonen eine signifikant höhere Vagusaktivität (Zeitdomäne: MeanNN, SDNN, CVNN, pNN50, $p < 0,01$) sowie eine schnellere Regulierung der autonomen Kontrolle nach Lagewechsel. Es zeigten sich signifikanten Unterschiede bezüglich der sympathovagalen Balance (Frequenzdomäne: $\ln LF/HF$) in den Liegephasen. Die Ruheherzfrequenz zeigte keine signifikanten Unterschiede. Im Vergleich zwischen Ausdauer und Kraftsport zeigt sich im Bereich der Zeitdomäne meanRR ein signifikanter Unterschied ($p=0,02$), was sich auch im Unterschied der Ruheherzfrequenz widerspiegelt. Im Vergleich der Sportarten untereinander zeigen sich signifikante Unterschiede vor allem zwischen den Biathlonathleten und den Gewichthebern im Bereich der Zeitdomäne. Selbst zwischen den Ausdauersportarten Biathlon und Straßenradsport zeigen sich vereinzelt signifikante Unterschiede in der Zeitdomäne.

Schlußfolgerung: Trainierte zeigen signifikante Unterschiede im Anpassungsverhalten ihrer autonomen kardialen Kontrolle im Vergleich zu Normalpersonen. Während Ausdauerathleten sich deutlich von Normalprobanden unterscheiden und vor allem im Bereich der Zeitdomäne auch signifikante Unterschiede zu Kraftathleten aufweisen, ist dies zwischen Kraftathleten und Normalpersonen nicht in dieser Deutlichkeit gegeben. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, daß aufgrund der sich unterscheidenden Belastungsweise der Kraftsport mit einer höheren Sympathischen Aktivität einher und die parasympatische Regulation in Ausdauersportarten eine größere Rolle spielt.

Auswirkungen eines 10-wöchigen Ausdauertrainings auf die Herzfrequenz-Variabilität bei Laufeinsteigern

Die Herzfrequenz-Variabilität findet neben ihrer klinisch-kardiologischen Bedeutung auch zunehmend Beachtung in der Sportmedizin, hier vor allem im Leistungssport. Ziel der vorliegenden Studie war es zu untersuchen, ob sich Änderungen des sympathiko-vagalen Gleichgewichts an Hand der Parameter der Herzfrequenz-Variabilität schon bei geringen Trainingsumfängen im freizeitsportlichen Bereich nachweisen lassen.

An der Untersuchung nahmen 7 gesunde untrainierte Personen (6 weiblich, 1 männlich, Alter: $39,9 \pm 4,9$ Jahre, Größe: $169,9 \pm 10,6$ cm, Gewicht: $72,3 \pm 18,8$ kg) teil, die sich einem 10wöchigen Ausdauertraining im Rahmen eines Laufeinsteigerkurses unterzogen.

Während des 10wöchigen Trainings wurden 2 Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt. Diese bestanden aus Lauf- und Gehphasen im Wechsel, wobei sich deren Verhältnis kontinuierlich zu Gunsten der Laufphasen verschob, so dass sich am Ende eine reine Laufzeit von 60 Minuten ergab.

Die Registrierung der Herzfrequenz erfolgte alle 2 Wochen mit Hilfe des Pulsmesssystems Polar® Vantage NV im Schlag-zu-Schlag-Modus, und zwar vor, während und 5 bzw. 15 Minuten nach der Belastung.

Zur Auswertung der Daten wurde ein an der Universität Bochum (Heck et al.) entwickeltes Programm verwendet, das nach Elimination von Artefakten und linearer Trendbereinigung die gebräuchlichen Parameter der Herzfrequenz-Variabilität im Zeitbereich an Hand eines Messbereichs von 256 Schlägen berechnet.

Signifikante Veränderungen im Trainingsverlauf ergaben sich für die Parameter RR_{MW} , ΔRR_{MW} , RR_{SD} , $r-MSSD$, D_L , D_Q , SO_L und SO_Q , während für ΔRR_{SD} , SA_{rel} , $pNN50$ und $pNN6,25$ ein Unterschied statistisch nicht zu sichern war.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich im Rahmen eines Ausdauertrainings bei untrainierten Personen schon in relativ kurzer Zeit signifikante Veränderungen der Herzfrequenz-Variabilität ergeben.

Morgendliche Herzfrequenzvariabilität von Triathleten im Jahresverlauf

Fragestellung: Parameter der Herzfrequenzvariabilität können möglicherweise im Hochleistungstraining zur Beurteilung des vegetativen Funktionszustandes in Training und Regeneration und somit zur Verhinderung trainingsbedingter Überlastungsreaktionen beitragen. Hierzu ist die Kenntnis von Langzeitverläufen der Herzfrequenzvariabilität in der Saison erforderlich. Derartige Daten liegen jedoch nach Kenntnis der Autor/innen derzeit nicht vor. In der vorliegenden Studie wurden die Herzfrequenzvariabilität von 3 Triathleten im Verlauf einer ganzen Saison dokumentiert und mögliche Zusammenhänge mit dem Training analysiert.

Methodik: 3 Triathleten (P1, P2, P3: 28, 28, 34 Jahre, Trainingsalter 7, 6, 7 Jahre, p4: 4.2, 4.0, 3.2 Watt/kg) nahmen an der Untersuchung teil. Zwischen Dez. 1996 und Okt. 1997 wurden von den Probanden morgens vor dem Aufstehen über mindestens 10 min Herzfrequenz-Tachogramme mit dem Polar Herzfrequenzmessgerät Vantage NV im Beat-to-Beat Modus in Körperruhe in Rückenlage aufgezeichnet. Die Athleten wurden gebeten, möglichst mehrmals wöchentlich Messungen durchzuführen. Die Hard- und Software von Polar wurde ebenfalls zur Erhebung und Dokumentation der Trainingsdaten im gesamten Untersuchungszeitraum eingesetzt. Erhoben wurden hierbei die gesamte Trainingsdauer (TRD) unabhängig von den einzelnen Disziplinen und die Trainingsintensität (TRI) als Prozentsatz der jeweiligen Trainingsherzfrequenz von der maximalen Herzfrequenz (niedrig: 55-75%, mittel: 75-90%, hoch: 90-95% und sehr hoch: 95-100% der Hf_{max}). Dauer (D) der Erhebungsphase, Anzahl der Aufzeichnungen (n) und Anzahl (n-ausw) und Prozentsatz (%) der tatsächlich auswertbaren Tachogramme sind in der nebenstehenden Tabelle dargestellt. Die Auswertung der Herzfrequenzvariabilität erfolgte nach optischer Kontrolle der Tachogramme im Zeitbereich als Analyse des RR-Abstandes (RR in ms) und im Frequenzbereich mittels der Spektralanalyse. Ausgewertet wurden hierbei die jeweiligen exakten Positionen des Low- (LF, 0.04 – 0.15 Hz) und Highfrequency-Bereichs (HF, 0.15 – 0.4 Hz) sowie die zugehörigen maximalen Werte der Spektraldichten (SD_{max} in ms^2/hz). Die LF wird hierbei vor allem mit dem Sympathicotonus, die HF mit dem Parasympathicotonus in Zusammenhang gebracht.

	D (Tage)	n	n-ausw / %
P1	330	210	139 / 66
P2	310	139	107 / 76
P3	220	74	54 / 72

Ergebnisse: Trotz hoher Compliance waren nur etwa 2/3 bis 3/4 der aufgezeichneten Tachogramme auswertbar. Die Messungen sind also sehr sorgfältig durchzuführen und jedes Tachogramm ist individuell auf Artefakte zu prüfen und zu beurteilen. Jeder der 3 Probanden wies eine individuelle Charakteristik in der Funktion der Spektralanalyse auf. Die exakten LF- und HF-Positionen variierten bei allen 3 Athleten deutlich um bis zu 100 % im Saisonverlauf. Ebenfalls wiesen die maximalen Spektraldichten im LF- und HF-Bereich erhebliche Schwankungen über den Zeitverlauf auf. Gleiches gilt für die RR-Intervalle resp. die morgendlichen Ruhe-Herzfrequenzen. Die Trainingsaufzeichnungen waren nahezu komplett. Die Trainingsdauer variierte zwischen 0 und 560 min/d, verteilt auf alle Intensitätsbereiche. Die Betrachtung ausgewählter, offensichtlich in der Spektralanalyse auffälliger Untersuchungstage ließ folgende allerdings nicht immer einheitlichen Tendenzen in Zusammenhang mit dem durchgeführten Training erkennen: Hohe Trainingsbelastungen (Umfänge und/oder Intensitäten) führten tendenziell zu einer Zunahme der LF-Power, regenerative Belastungen zu einer Zunahme der HF-Power. Die Effekte waren zwischen 1-3 Tagen nach der Trainingsbelastung in den Tachogrammen sichtbar. Ähnliche tendenzielle Zusammenhänge zum durchgeführten Training waren bei den RR-Intervallen resp. der Ruheherzfrequenz nicht zu erkennen.

Schlussfolgerung: Die Beurteilung der Parameter der Herzfrequenzvariabilität muss individuell erfolgen. Bei insgesamt sehr hoher inter- und intra-individueller Variation scheinen sich Trainingsmaßnahmen teilweise in den LF- und HF-Spektraldichten, bei der hier durchgeführten Untersuchung nicht jedoch in ähnlicher Weise in den Ruheherzfrequenzen abzubilden. Eine Nutzung der individuellen Herzfrequenzvariabilität in der Trainingssteuerung ist denkbar, jedoch sind noch viele Zusammenhänge unklar. Die Studie wurde gefördert mit Mitteln des BISP (VF 0408/01/03 A/97/98/99)

Nächtliche Herzfrequenz im Jahresverlauf bei Ausdauerathleten und deren Beziehung zum absolvierten Training

Fragestellung: In der bisherigen Sportpraxis basiert die Steuerung des Regenerationsprozesses im wesentlichen auf der subjektiven Einschätzung von Sportler/innen und Trainer/innen. Es ist jedoch wünschenswert, den Regenerationsprozess anhand von objektiven Indikatoren qualitativ und quantitativ beurteilen und somit optimieren zu können. In der vorliegenden Untersuchung wurde versucht, mittels mathematischer Methoden mögliche Interdependenzen recht einfach zu erhebender Parameter des nächtlichen Herzfrequenzverhaltens mit detaillierten Trainingsaufzeichnungen im Rahmen von Einzelfallanalysen im Längsschnittverlauf aufzudecken.

Methodik: 2 Triathleten und ein Radfahrer (TR1,2, R: Alter: 24-29 Jahre, p4: 3.8 – 4.7 Watt/kg) nahmen an der Untersuchung teil. Registrierungen der nächtlichen Herzfrequenz (Hf) sollten 2x/Woche in der Zeitspanne zwischen Okt. 1997 und Sep. 1998 (301 – 363 Tage) mit dem Messgerät Vantage NV der Fa. Polar, Finnland, im 60s Aufzeichnungsmodus erfolgen. Probleme ergaben sich teilweise durch Verrutschen des Gurtes. Die auswertbaren Hf-Aufzeichnungen wurden durch Vorgabe einer oberen und unteren Hf-Grenze (90 min^{-1} / 30 min^{-1}) gefiltert. Ermittelt wurden: die mittlere Hf (HfMW), Standardabweichung (HfSD) und der Variationskoeffizient (HfVK). Die Hard- und Software von Polar wurde ebenfalls zur Erhebung und Dokumentation der Trainings- (TR-) Daten im gesamten Untersuchungszeitraum eingesetzt. Erhoben wurden hierbei die Dauer in den Einzeldisziplinen, die gesamte TR-Dauer und für das Radfahren und Laufen ferner die jeweilige TR-Intensität (TRI) als Prozentsatz der TR-Hf von der maximalen Hf (≥ 40 , ≥ 50 , ≥ 65 , ≥ 75 , ≥ 85 , ≥ 90 , $\geq 95\%$ der $Hf_{\max}$). Es wurde versucht, allgemeine Beziehungen zwischen den Hf-Parametern und den Trainingsdaten sowie exemplarisch zwischen Extremwerten/Ausreißern der Hf-Daten und dem absolvierten Training anhand standardisierter mathematischer Verfahren zu belegen. Um die zeitliche Dynamik des Zusammenwirkens der Messgrößen zu erfassen, wurden die Werte der TR-Variablen zu verschiedenen Zeitpunkten (Lags) bis zu 7 Tagen vor Erhebung der Hf-Variablen berücksichtigt.

Ergebnisse: TR-Umfänge, -Inhalte und -Intensitäten variierten erwartungsgemäß deutlich im Jahrestrainingszyklus. Die Gesamtumfänge betrugen im Mittel 108-114 min/Tag bei 190-276 TR-Tagen. Es fanden sich eine Vielzahl von Auto- und Kreuzkorrelationen zwischen den einzelnen Trainingsmaßnahmen. Dies ließ eine differenzierte Analyse der Effekte einzelner Intensitäten auf die Hf-Variablen nicht sinnvoll erscheinen. Die Anzahl der auswertbaren nächtlichen Hf-Messungen sowie die weiteren Kenndaten der Messungen sind der nebenstehenden Tabelle zu entnehmen. Auch hier fanden sich große inter- und intra-individuelle Variationen im Saisonverlauf. Einige Extremwerte/Ausreißer der Hf-Parameter von TR1 und TR2, nicht jedoch von R, ließen sich auf außergewöhnliche vorausgegangene Trainingsbelastungen zurückführen. Unter Einbeziehung der unsummierten, bis zu 7 Tagen voraus gegangenen TR-Umfänge konnten sich für TR1, TR2 und R nur sehr wenige, sowohl positive als auch negative, Zusammenhänge zu den Hf-Parametern nachweisen lassen. Die Einbeziehung der summierten, bis zu 7 Tagen voraus gegangenen TR-Umfänge ergab ebenfalls einige wenige Zusammenhänge zu den Hf-Parametern für TR1 und TR2, nicht jedoch für R.

		HfMW (min^{-1})	HfSD (min^{-1})	HfVK (%)
TR1	MW	46	5.1	11.1
n=69	Min	39	1.2	2.8
	Max	63	13.0	23.4
	Sd	4.3	1.1	3.5
TR2	MW	53	3.5	6.8
n=55	Min	43	1.9	3.3
	Max	61	7.0	16.3
	Sd	4	0.8	1.8
R	MW	56	4.0	7.0
n=103	Min	44	1.0	2.1
	Max	77	14.1	18.9
	Sd	6.5	1.8	2.6

Schlussfolgerung: Insgesamt lässt sich festhalten, dass zwar einige Extremwerte und Ausreißer auf hohe Trainingsbelastungen folgen, man kann jedoch nicht davon ausgehen, dass ein hoher Trainingsumfang in jedem Fall außergewöhnliche Messwerte der nächtlichen Hf-Variablen nach sich zieht, oder dass umgekehrt alle diese Messwerte durch extreme Trainingsbelastungen verursacht wurden. Anhand der Berechnung von Korrelationskoeffizienten wurden einige wenige Interdependenzen zwischen TR-Daten und Parametern der nächtlichen Hf aufgedeckt. Dies variierte sehr stark von Athlet zu Athlet, so dass für weitere Untersuchungen sowie einen möglichen Einsatz in der TR-Praxis eine individuelle Betrachtung erforderlich erscheint. Die Studie wurde gefördert mit Mitteln des BISP (VF 0408/01/03 A/97/98/99)

Beeinflusst Stretching die autonome Steuerung des Herzens?

Problemstellung: Quantifizierungen der Herzratenvariabilität (HRV) erlauben eine Beurteilung sympathischer („stress-bezogener“) und parasympathischer („entspannungsbezogener“) Einflüsse. Ein dauerhaftes Überwiegen sympathischer Erregung kann mit einem erhöhten Erkrankungsrisiko (z.B. für Herzleiden, Neuropathien, Depression) assoziiert sein. Im Gegensatz dazu haben Maßnahmen wie Sport, Medikamente oder Psychotherapie einen günstigen Einfluss auf Gesundheit und HRV, weshalb diese als leicht zu messender Indikator für Therapiewirkungen gilt. Stretching („Muskeldehnung“) ist eine nebenwirkungsarme, preiswerte und überall durchführbare Maßnahme, die für viele Risikopatienten geeignet ist. - Wir stellten uns die Frage, ob Stretching die HRV beeinflusst.

Methode: Im Rahmen einer laufenden Studie wurden bislang 11 gesunde gut trainierte männliche Kraftsportler eines Sportstudios (Alter: 24 bis 44 Jahre) vor und 20 Tage nach Beginn eines Stretchingprogramms mit täglichem Training untersucht. Als Zielparameter werden Lebensgewohnheiten, Persönlichkeitseigenschaften, Befindlichkeiten, die Flexibilität in wichtigen großen Gelenken und die HRV (während ruhigem Sitzen, Stretching, Liegen und Orthostase) mit dem Polar®-Advantage erfasst.

Ergebnisse: Neben einem Trend zu verbesserter Befindlichkeit am Tag 20, verzeichneten v.a. vagale Indikatoren der HRV - während Ruhe (RMSSD Tag 0: 26+/-14 ms, Tag 20: 52+/-26 ms; pNN50 Tag 0: 4+/-4 %; Tag 20: 13+/-8 %) und Intervention (RMSSD Tag 0: 21+/-8 ms, Tag 20: 35+/-15 ms; pNN50 Tag 0: 2+/-1 %; Tag 20: 6+/-3 %) - im Verlauf des 20-Tage-Programms einen signifikanten ($p<0.01$) Anstieg. Über diesen globalen Befund hinaus ergaben sich - unabhängig vom „Dehnungserfolg“ - Zusammenhänge zwischen HRV-Steigerungen und Lebensalter: Bei „Älteren“ stieg die HRV deutlich stärker an.

Interpretation: RMSSD und pNN50 beschreiben u.a. die vagale Aktivität. Alle drei Parameter haben sich im Verlauf des 20-tägigen Stretchingprogramms eindeutig im Sinne einer (wünschenswerten) vermehrten parasympathischen Aktivierung verändert. Das Ausmaß ähnelt dem therapeutischer Interventionen (Medikamente, Sport, Psychotherapie). Entgegen unseren Erwartungen waren die Effekte vom Stretching-Erfolg unabhängig. „Ältere“ Studienteilnehmer erzielten einen geringeren Dehnungszuwachs, waren aber weitaus „vagotoner“ als die muskulär flexibler gewordenen jüngeren Teilnehmer.

Schlussfolgerungen: Vor dem skizzierten Hintergrund ist es wahrscheinlich, dass Stretching besonders bei „älteren“ Männern günstige Effekte auf Herzfunktion und autonomes Nervensystem ausübt. Möglicherweise können auch Leistungssportler Stretching mit Gewinn zur Stabilisierung der „autonomen Balance“ nutzen.

Über noch zu untersuchende „Vernetzungen“ scheinen Herz und psychisches Befinden günstig mitzureagieren. Sollten sich die angedeuteten Zusammenhänge bestätigen, würden sich damit - z.B. via Stressreduktion und kardiorespiratorische Ökonomisierung - interessante neue Ansätze für präventivmedizinische Maßnahmen und innovative Behandlungsansätze von Krankheiten eröffnen.

Einfluss einer speziellen Entspannungs- und Konzentrationstechnik (Freeze-Frame®) auf Parameter der Herzfrequenzvariabilität

Im Institute of Heart Math (Kalifornien) wurde eine Entspannungs- und Konzentrationstechnik entwickelt, die sich Freeze-Frame® nennt und aus 5 Schritten besteht (vgl. Childre 1994, 27). Mit dieser Technik soll auftauchender Streß unmittelbar abgebaut werden. Die Anwendung dieser Technik bewirkt sichtbare Veränderungen im RR-Intervall-Tachogramm in Form eines sinusförmigen Verlaufs. Bei drei Probanden (Einzelfallbetrachtungen), die unterschiedliche Erfahrungen mit dieser Technik hatten, überprüfen wir die Auswirkungen auf Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV). Dazu wurde die HRV über eine Dauer von 10 Minuten in Ruhe aufrecht sitzend mit dem Hf-Messgerät Polar Vantage NV aufgezeichnet. Die Entspannungs- und Konzentrationstechnik wurde nach fünfminütiger Datenspeicherung angewendet. Mit der Software Precision Performance 2.0 (Polar) wurden die Daten der ersten und zweiten fünf Minuten getrennt voneinander ausgewertet (s. Tab.). Insgesamt wurden 60 Messungen durchgeführt, jeweils 10 Messungen unmittelbar nach vorangehender sitzender Tätigkeit und ca. 30 Minuten nach vorangehender sportlicher Ausdaueraktivität. Die deutlichsten Veränderungen wurden bei den Frequenzparametern in Form einer Verschiebung des prozentualen Anteils in den LF-Bereich (0,04-0,15 Hz) beobachtet (Tab.).

Tab.: Veränderung des Frequenzanteils im LF-Bereich vor und während der Konzentrationsphase (KonPh) bzw. vor und nach sportlicher Aktivität.

Proband	LF-Anteil (%±Stabw)	Vor KonPh	Während KonPh	t-test (p-Wert)
A.B.	Vor Sport	22,8 ± 4,5	59,4 ± 13,1	<0,01
	Nach Sport	27,7 ± 5,7	70,6 ± 9,9	<0,01
t-test (p-Wert)		<0,05	<0,01	
J.H.	Vor Sport	14,7 ± 7,2	66,0 ± 12,4	<0,01
	Nach Sport	26,9 ± 10,2	73,3 ± 11,7	<0,01
t-test (p-Wert)		<0,05	=0,094	
K.V.	Vor Sport	23,9 ± 8,1	85,6 ± 5,3	<0,01
	Nach Sport	23,5 ± 4,9	83,9 ± 2,4	<0,01
t-test (p-Wert)		=0,45	=0,19	

Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit einer speziellen Entspannungs- und Konzentrationstechnik deutliche Änderungen der HRV bei gleicher Hf ergeben. Damit stellt die HRV-Messung eine mögliches Biofeedbackverfahren beim Erlernen dieser Techniken dar.

Literatur:

Childre, D.L. (1994). FREEZE-FRAME®. Fast action stress relief. Boulder Creek / Kalifornien: Planetary Publications.

Objektivieren von Entspannungseffekten mit Hilfe der Herzfrequenzvariabilität

Fragestellung: Welche Untersuchungsparameter eignen sich zur Objektivierung von Entspannungszuständen, insbesondere für die tägliche Arbeit in der therapeutischen Praxis?

Methode: Bei 166 Männern und Frauen im Alter zwischen 30 und 50 Jahren wurde der Grad der Entspannung bei verschiedenen Entspannungstechniken ermittelt. Messgrößen waren die Herzfrequenz (Hf), Herzfrequenzvariabilität (gemessen mit Polar Vantage NV), Blutdruck und der subjektive Entspannungsgrad. Auf der Basis der Herzfrequenzvariation (HfV) berechnet die Polar-Uhr Vantage NV die Entspannungsrate (modifizierter Abweichungswert der Herzfrequenzvariation) als Maß für das körperliche und mentale Stressniveau. Die Maßeinheit ist eine Millisekunde (ms). Untersuchungsgegenstand waren die Wirkungen einer mentalen (Autogenes Training = AT) sowie einer körperorientierten Entspannungstechnik (Rollermassage = RM).

Ergebnisse und Diskussion: Ein gesundes Herz zeichnet sich im entspannten Zustand durch eine hohe Variation der Herzschlagfrequenz aus, wobei das Maß der Variation von Individuum zu Individuum stark schwanken kann. Deshalb sind Vergleiche zwischen Personen nur begrenzt möglich, sinnvoller sind intraindividuelle Vergleiche (vorher/ nachher). Tendenziell gilt jedoch: Je höher die Herzfrequenzvariation, desto höher die Entspannungsrate, desto größer ist die körperliche und mentale Entspannung. Umgekehrt heißt das, je geringer Herzfrequenzvariation bzw. Entspannungsrate (RLX), desto größer ist das körperliche und mentale Stressniveau.

Durch die Entspannungsübungen sank die Hf im Mittel von 77 S/min bei AT und RM auf je 64 S/min. Die ER stieg dabei von 19 ms auf 24 ms (AT) bzw. 35 ms (RM). Während anhand der Hf keine Unterschiede zwischen den Entspannungstechniken nachweisbar waren, ließ sich durch die ER eine größere Entspannung bei der RM nachweisen.

Bei Personen mit niedrigen Hf-Ausgangswerten fiel der entspannungsbedingte Abfall der Hf relativ gering aus. Für diese Personen ist die Hf als Indikator für Entspannungseffekte nur bedingt geeignet. Während der Entspannung sank der systolische Blutdruck im Mittel um 5 mmHg ab (nicht signifikant), der diastolische Druck veränderte sich nicht. Nur bei deutlich erhöhten Ausgangswerten konnte meist ein leichtes Absinken beobachtet werden.

Schlussfolgerungen: Während Blutdruck und Hf nur bedingt zur Darstellung von entspannungsbedingten Veränderungen des vegetativen Funktionszustands geeignet sind, bietet sich die relativ leicht bestimmbare Herzfrequenzvariabilität bzw. RLX für den schnellen und unproblematischen Einsatz in der Praxis zur Objektivierung von Entspannungseffekten an.

Intraindividuelle Variabilität von Parametern der Herzfrequenzvariabilität

Problemstellung: Mit Hilfe der Herzfrequenzvariabilität kann die sympato-vagale Gleichgewichtslage beurteilt werden. Dies macht die HRV-Parameter u.a. für die Diagnostik von Überlastungszuständen bzw. nicht ausreichender Regeneration im Leistungstraining interessant. Für die praktische Anwendung ist es jedoch Kenntnisse der intraindividuelle Variation dieser Parameter ohne Trainingseinfluß notwendig. Ziel der Untersuchung war es deshalb, die Variabilität von HRV-Parametern innerhalb einer Messung sowie die Variabilität bei Messungen an verschiedenen Tagen zu überprüfen.

Methodik: Bei 19 Probanden (11m/8w; 28±4 Jahre; 183±8 cm; 82±7 kg) wurden an 4-5 Tagen jeweils vier Serien mit 15minütiger beat-to-beat Herzfrequenzaufzeichnung (sowohl Spontanatmung als auch Taktatmung mit 6/min in zufälliger Reihenfolge) mit dem Polar Vantage® vorgenommen. Zur Bestimmung der Variabilität von-Tag-zu-Tag wurde jeweils ein Serientest zufällig ausgewählt. Gemessene HRV-Parameter: Standardabweichung der RR-Intervalle (RR_{SD}); Quantitative Auswertung des Poincaré-Plots (SO_L : Standardabweichung der orthogonalen Abstände zum Längsdurchmesser der 95%-Vertrauensellipse; SO_W : Standardabweichung der orthogonalen Abstände zum Längsdurchmesser der 95%-Vertrauensellipse).

Ergebnisse: Die intraindividuelle Variation der Herzfrequenz und HRV-Parameter ist in nachfolgender Tabelle dargestellt:

		Spontanatmung				Taktatmung (6/min)			
		HF (1/min)	RR_{SD} (ms)	SO_Q (ms)	SO_L (ms)	HF (1/min)	RR_{SD} (ms)	SO_Q (ms)	SO_L (ms)
in Serie	MW	60	75	97	41	61	115	85	42
	VK (%)	5	20	20	19	5	16	21	19
	minVK (%)	1	7	6	8	1	2	4	7
	maxVK (%)	14	36	34	54	14	48	58	70
von Tag zu Tag	MW	57	79	102	45	59	93	122	47
	VK (%)	8	22	23	22	7	20	19	21
	minVK (%)	2	9	11	7	2	5	6	6
	maxVK (%)	13	50	50	53	13	94	94	42

Zwischen der Spontanatmung und der Taktatmung mit 6/min besteht kein wesentlicher Unterschied.

Schlußfolgerung: Die intraindividuelle Variation der HRV ist deutlich größer als die Variation der Herzfrequenz. Die von-Tag-zu-Tag-Variation lässt sich im wesentlichen durch die Variation in Serie erklären, wobei unter dieser Versuchsbedingung von einer Stabilität der vegetativen Reaktionslage auszugehen ist. Aufgrund der großen Variation ist eine Brauchbarkeit der HRV-Parameter zur Beurteilung der autonomen Reaktionslage bei Längsschnittuntersuchungen limitiert.

Validierung des Polar Advantage für die standardisierte HRV-Bestimmung

Die Herzratenvariabilität wird heute in vielen Bereichen der Medizin und der Psychologie zu wissenschaftlichen bzw. diagnostischen Zwecken eingesetzt. Neben einer Beurteilung der bio-psycho-sozialen Fitness in Feldstudien nutzen wir das HRV-Paradigma auch für psychopharmakologische Untersuchungen bei Patienten (z.B. um anticholinerge Effekte von Psychopharmaka zu kontrollieren). Leider sind die mit unterschiedlichen Geräten ermittelten Werte nicht unbedingt vergleichbar, was zu vielfältigen Missverständnissen geführt hat und führt. Aus diesem Grunde hat 1996 eine europäische und nordamerikanische Task-Force-Gruppe Richtlinien zur Ermittlung von HRV-Parametern publiziert. Gemäß einem Vorschlag der Gruppe sollten vor dem klinischen Einsatz neuer Gerätschaften diese validiert werden.

In einem experimentellen Setting mit vier unterschiedlichen Bedingungen (1. Ruhe; 2. Entspannung - Musik; 3. Taktatmung 6/min; 4. „Stresstest“ – Kopfrechnen) haben wir bei 43 gesunden Probanden (23 m, 20 w; mittleres Alter: 23,3 +/- 3,5 Jahre) den RR-Abstand - simultan mit dem Polar Advantage und einem konventionellen EKG - jeweils für mindestens drei Minuten registriert. Die Auswertung erfolgte mit der Polar-Software bzw. mit dem Programm Chart 6.3 mit HRV-Extension (ADI, Australien). Letzteres wird weltweit in mehr an 10.000 Laborplätzen nach den Task-Force-Richtlinien eingesetzt.

Wir fanden, dass für die beiden Geräte die simultan bestimmten HRV-Parameter des Zeitbereichs gut bis sehr gut ($0,8 < r^2 < 0,98$), die des Frequenzbereich mäßig bis gut ($0,6 < r^2 < 0,85$) korrelieren. Allerdings fallen manche der mit dem Advantage bestimmten Werte (pNN50 und Frequenz-Parameter) im Mittel doppelt so hoch aus.

Beachtet man diesen unsystematischen Fehler, so eignen sich die zeitabhängigen Parameter des Polar Advantage gerade aus Kostengründen und der einfachen Applikationsform wegen für das HRV-Screening im Labor und im Felde.

Simulation zum Einfluss der Höhe der Herzfrequenz auf HRV-Parameter im Zeit- und Frequenzbereich

Problemstellung: Besonderes Merkmal sportmedizinischer Studien zur Herzfrequenzvariabilität (HRV) sind die mit großer Spannbreite auftretenden Herzfrequenz(HR)en. In Ruhe weist das HRV-Powerspektrum zwei charakteristische Peaks um 0.1 und 0.3 Hz (low-, highfrequency; LF, HF) auf. Unter körperlicher Belastung unterliegt das Spektrum qualitativer und quantitativer Veränderungen, wobei sich der LF-Peak in Richtung langsamerer und der HF-Peak atmungssynchron in Richtung schnellerer Frequenzen verlagert. Die HRV ist mit geringerem Aufwand im Zeitbereich (timedomain = TD) deskriptiv-statistisch und mittels quantitativer Analysen von Pointcaré Plots zu beschreiben. Befunde zum qualitativen Zusammenhang zwischen TD- und Frequenzparametern liegen vor. Bislang ungeklärt und Fragestellung dieser Arbeit ist, wie im TD die HRV-Parameter quantitative Änderungen der LF- und HF-Power (LFP, HFP) abbilden und ob unabhängig von der biologischen zusätzlich mathematisch-methodische Komponenten die Absolutwerte beeinflussen. Besonders gilt dies für die physiologische Wechselwirkung variierender HR. Zur Umgehung physiologischer Effekte auf das Spektrum bieten sich Analysen generierter RR-Signale mit Simulation systematisch variierender Schwingungsniveaus und Amplitudenmodulationen an.

Methodik: RR-Zeitreihen (256 RR-Intervalle) mit überlagerten 0.1 und 0.3 Hz Schwingungen, deren Amplituden jeweils 3-fach variierten, wurden generiert. Dieser Datensatz aus 9 RR-Reihen wurde für 3 mittlere Schwingungsniveaus (entspr. HR 60;100;150 min⁻¹) erstellt. Die RR_{SD}, die Streuung zum Längs- und Querdurchmesser im Pointcaré Plot (SO_L und SO_W entspr. Staba, Stabb) sowie die LFP, HFP und Totalpower (TP) im Frequenzbereich wurden berechnet und für jede HR korreliert.

Ergebnisse: Die HR beeinflusst die Absolutwerte der LFP und HFP sehr gering (mittlerer VK 1±0.6 und 1.6±1%). Im TD ist RR_{SD} konstant, SO_L fällt mit zunehmender HF jedoch unabhängig von der Amplitudenmodulation (mittl. VK 40±1%). Im Vergleich zu SO_L steigt SO_W (mittl. VK 11±5%), und variiert stärker mit zunehmender spektraler Leistung im 0.3 zum 0.1 Hz-Band. SO_L korreliert stabil, unabhängig von der Höhe der HR, nahezu vollständig mit HFP $r \geq 0.98$ sowie mit TP und LFP schwächer mit steigender HR. RR_{SD} korreliert mittel aber HR-stabil mit beiden Frequenzbereichen ($r=0.69-0.72$). SO_W korreliert bei niedriger HR (60 min⁻¹) sehr hoch mit der LFP und TP ($r=0.91, 0.92$). HR-Anstiege (100, 150 min⁻¹) verringern den Zusammenhang von SO_W zu LFP ($r=0.78$ und 0.73) und erhöhen die Korrelation zu TP ($r=0.96$ und 0.97).

Schlussfolgerung: Die HR beeinflusst quantitativ die Höhe der HRV-Parameter in unterschiedlichem Maße und führt zu qualitativen Verschiebungen der Korrelationen im Frequenzspektrum für RR_{SD} und SO_W. Mit SO_L hingegen liegt ein stabiler Hochfrequenzfilter vor. Die Studie hat gezeigt, dass infolge HR-Änderung bei jedoch stabilem Spektrum (LFP, HFP konst.) SO_L ab- und SO_W zunimmt. Mit diesem methodenbedingt konträren Verhalten verschiebt sich scheinbar die Relation von respiratorischer- (SO_L) zur Gesamtvariabilität (SO_W). Sollten dennoch Rückschlüsse über Veränderungen der autonomen Tonuslage (z.B. Ruhe vs körperlicher Aktivität) im Zeitbereich zu ziehen sein, muss dies in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Monitoring der Herzfrequenzvariabilität zur Belastbarkeitsdiagnostik

Erfolg im Leistungssport setzt sichere und praktikable Verfahren für eine optimale Trainingssteuerung voraus. Während die Herzfrequenz (Hf) bereits seit langem zur Steuerung der Trainingsbelastung Anwendung findet, wird die Herzfrequenzvariabilität (HRV), die sehr differenziert Veränderungen des vegetativen Zustandes widerspiegelt, bisher noch wenig genutzt. Im Rahmen einer Längsschnittanalyse, die als Einzelfallstudie angelegt war, wurde die Eignung der HRV zur Belastbarkeitsdiagnostik untersucht.

Bei dem Probanden handelt es sich um einen leistungsstarken Langstreckentriathleten (Alter: 38 Jahre, Trainingsumfang: 1000 h/Jahr, Wettkampfzeit IRONMAN®: ca. 9 Std.). Die Datenerhebung erfolgte mit dem Vantage NV der Firma Polar in einer täglichen fünfminütigen Aufzeichnung der Herzzeitintervalle morgens über einen Zeitraum von insgesamt vier Jahren. Eine detaillierte Analyse der HRV erfolgte mit der Software Polar Precision Performance. In die Untersuchung wurden Parameter des Streudiagramms (stda, stdb), der Zeitbereich- (SD, RMSSD) und Frequenzanalyse (TP, LF, HF, HF%, LF/HF%) einbezogen. Durch die Auswertung von 684 Einzeldatensätzen ergaben sich bei einer durchschnittlichen Hf von $43 \pm 4 \text{ min}^{-1}$ folgende Referenzwerte der HRV: stdb 128ms, SD 140ms, RMSSD 181ms, TP 20633ms², HF 15936ms², HF 77% und LF/HF 8%. Vor allem die den Vagus repräsentierenden Kurzzeitvariabilitätsparameter (stdb, RMSSD, HF und HF%) sind bei dem untersuchten Triathleten, verglichen mit Normalwerten aus der Literatur, stark erhöht (z.B. RMSSD 181ms vs. 27ms). Beim Vergleich der HRV in verschiedenen physischen und psychischen Belastungssituationen zeigen sich charakteristische Veränderungen. Bei subjektiv schlechter Befindlichkeit, gestörtem Schlafmuster, mentaler Anspannung, Infekten, verletzungsbedingtem Stress und einer zu hohen Trainings- oder Wettkampfbelastung kommt es zu einer Verschiebung des vegetativen Gleichgewichts in Richtung erhöhter sympathikotoner Funktionslage, verbunden mit einer signifikanten Zunahme der Hf und Abnahme der HRV ($p < 0,01$). Belastungs- und umfeldbedingte Einflüsse auf das vegetative System können sich dabei überlagern. Eine längerfristige Unterschreitung der individuellen Referenzwerte der HRV kann als Ausdruck eines möglichen Regenerationsdefizits bzw. eines beginnenden Übertrainings gewertet werden. Im Anschluss an physische Extrembelastungen, wie beispielsweise einen IRONMAN®, ermöglicht die Kontrolle der HRV Rückschlüsse auf den Regenerationsverlauf.

Für die tägliche Trainingssteuerung ist neben der computergestützten Auswertung eine Sofortinformation über die aktuelle HRV von besonderem Interesse. Deshalb wurde in einer weiteren Untersuchung die diagnostische Aussage des RLX-Wertes überprüft, der als modifizierte Standardabweichung auf dem Display des Sporttesters erscheint und alle fünf Sekunden aktualisiert wird. Zwischen den, während der fünfminütigen Messung abgelesenen RLX-Werten (höchster und niedrigster Wert) und den Kurzzeitvariabilitätsparametern konnten hochsignifikante Korrelationen ($p < 0,01$) nachgewiesen werden. Der RLX-Wert erweist sich also für die tägliche Trainingssteuerung als geeignet, um Aussagen bezüglich der augenblicklichen Belastungsverträglichkeit zu treffen.

Die gewonnenen Ergebnisse machen deutlich, dass sich die HRV für die Trainingspraxis als aussagekräftiger Parameter erweist, da mit der HRV komplexe Zusammenhänge vegetativer Regulationen erfasst werden können. Durch eine regelmäßige Kontrolle der Hf und HRV lassen sich sowohl funktionelle Umstellungen und Anpassungen infolge positiver Belastungsverarbeitung, als auch vegetative Dysbalancen auf Grund zu hoher Gesamtbelastung (physisch und/oder psychisch) oder gesundheitlicher Beeinträchtigungen nachweisen.

G. ROMBACH

Ladenburg

Mobile Belastungsdiagnostik und daraus resultierende optimierte Regenerations- und Trainingssteuerung eines Athleten.

Bei diesem Beitrag handelt es sich um keine Forschungsarbeit im üblichen Sinne, sondern vielmehr um die Erfahrungen eines Athleten mit der mobilen Belastungsdiagnostik in einem 4 Jahre andauernden Selbstversuch.

Der Autor, Triathlontrainer und aktive Triathlet berichtet über seine Erfahrungen mit konsequenter Belastungsdiagnostik unter Einbeziehung aller auf den Athleten einwirkenden Stressoren.

Neben den trainingsphysiologischen Stressoren behandelt der Beitrag anhand praktischer Beispiele die auf den Athleten einwirkenden psychologischen Stressoren wie Familie, Beruf, Verein und Gesundheit.

Er zeigt auf, wie aus den Messergebnissen des Polar Vantage NV resultierend die Regenerationsphase des Athleten optimiert wird und die aktuellen Parameter in die tägliche Trainingssteuerung für einen höchstmöglichen Trainingswirkungsgrad genutzt werden kann.