Martin Laser/Reinhard Beise/Georg Michelson

Leistungsoptimierung im Fechtsport durch Training des autonomen und visuellen Nervensystems

Im Fechtsport, wie auch in anderen Kampfsportarten, kommt es auf ein optimales Zusammenspiel von Technik, Taktik, Koordination, Kondition, Sehvermögen und mentaler Stärke an. Die ersten vier Faktoren sind seit Langem Bestandteil des Trainings, mentale Faktoren dagegen unterlagen bislang oft dem eigenverantwortlichen Training bzw. waren abhängig von den Möglichkeiten, die im Trainingszentrum geboten werden. Eine Trainierbarkeit des Sehvermögens war bis vor Kurzem nicht bekannt. Ein systematisches Training im neuronalen/autonomen Bereich war damit bisher eher die Ausnahme. Im Folgenden sollen neue Möglichkeiten zur Diagnostik und Leistungsverbesserung des visuellen Systems, des autonomen Nervensystems sowie der Stressverarbeitung im Leistungssport dargestellt werden.
In das Pilotprojekt wurden 11 Fechterinnen und Fechter (A-, B- und C-Kader, Florett und Degen) eingeschlossen. Für das visuelle System wurden die zentrale Sehschärfe und die zentrale Kontrastsensitivität untersucht. Insgesamt ergab sich eine hohe Variabilität der Sehfunktion unter den Teilnehmern; beim Vergleich mit den Ranglistenpunkten des Deutschen Fechter-Bundes ergab sich eine signifikant positive Korrelation zwischen Sehschärfe, Kontrastsensitivität und Ranglistenpunkten. Durch zweimaliges wöchentliches Training (je 30 Minuten) konnte innerhalb von 15 Wochen eine Steigerung der zentralen Sehschärfe von 1,5 (150 Prozent) auf 2,0 (200 Prozent) erreicht und die Kontrastsensitivität von 1,5 auf 1,0 Prozent um ca. 0,5 bis 0,75 Prozent verbessert werden.
Zur Beurteilung des autonomen Nervensystems wurden die Herzratenvariabilität (HRV), die Kurzzeit-HRV und die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA-Test) bestimmt und die funktionellen Parameter Stressindex, RMSSD (root mean square of successive differences), E-A (maximale Pulsdifferenz im RSA-Test) und Rhythmisierungsgrad erfasst.
Auch hier fand sich unter den Sportlern eine ausgeprägte Variabilität, jedoch ohne Bezug auf die Ranglistenpunkte. Durch regelmäßiges HRV-Biofeedback-Training (täglich zweimal 5 Minuten) mit einem mobilen Gerät (Qiu, Fa. Biosign) war es möglich, eine signifikante Verbesserung der HRV-Parameter Rhythmisierungsgrad und Stressindex zu erreichen. Durch den RSA-Test war es möglich, Übertraining und Infekte frühzeitig zu erkennen.
Zusammenfassend ist die Variabilität der visuellen und autonomen Funktion unter Leistungssportlern sehr hoch. Hinsichtlich der Sehfähigkeit gibt es Hinweise für eine positive Korrelation mit dem sportlichen Erfolg. Eine Verbesserung der jeweiligen Parameter des visuellen und autonomen Nervensystems durch entsprechendes Training ist möglich. Durch den RSA-Test können beispielsweise frühzeitig Übertraining oder eine Erkältungserkrankung erkannt werden mit entsprechenden Konsequenzen für die Trainingsplanung.

Eingegangen: 16.10.2011

1. Hintergrund

Bei fast allen Sportarten sind eine überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit der Sehbahn sowie eine mentale Stabilität notwendig, um schnell und optimal reagieren zu können. Perfektes Erkennen von feinen Bewegungen im zentralen und mittelperipheren Gesichtsfeld ist dabei von großer Bedeutung und hängt auch maßgeblich vom Zustand des autonomen Nervensystems (Sympathikus und Parasympathikus) ab und damit von der mentalen Verfassung. Die zentrale Sehschärfe und die zentrale Kontrastsehfähigkeit sind wichtige Faktoren für die Integrität und Funktion der Sehbahn. Weniger bekannt war bislang, dass auch das Nervensystems des Auges (Li et al., 2009) und das autonome Nervensystem trainierbar sind (Mück-Weymann & Beise, 2005).
Speziell die Sportart Fechten, wie auch andere „Kampfsportarten", benötigen sehr gutes Sehen im Blickzentrum und im peripheren Gesichtsfeld. Das Erkennen von feinsten Bewegungen des Gegners ermöglicht bereits, den Ansatz eines Angriffs zu erkennen und mit entsprechenden eigenen Strategien zu reagieren. Verstärkt wird die frühzeitige Erkennung durch Antizipation, welche wiederum nur in einem optimalen Gleichgewicht des autonomen Nervensystems („Kohärenz") möglich ist – oft auch als „Flow" bezeichnet. Bislang wurde im Fechten ein spezielles Training der visuellen Wahrnehmung sowie des autonomen Nervensystems im Hochleistungssportbereich nicht durchgeführt.
Neben den Möglichkeiten zur Leistungsverbesserung durch neuronales Training stellt auch die Ruhe-Diagnostik der Herzratenvariabilität (HRV) mit dem funktionalen RSA-Test (respiratorische Sinusarrhythmie) eine hervorragende Möglichkeit dar, die körperliche Verfassung der Sportler zu ermitteln. Um die Umsetzbarkeit dieser neuen Trainings- und diagnostischen Ansätze im Trainings-Alltag zu beurteilen, wurden in diesem Pilotprojekt 11 Kader-Fechterinnen und -Fechter des Olympiastützpunkts Tauberbischofsheim über ein Jahr wissenschaftlich begleitet.

2. Untersuchungsmethodik

Messung der Sehfähigkeit

Es wurde die Sehfähigkeit von 11 Kader-Fechterinnen und -Fechtern des Olympiastützpunkts Tauberbischofsheim bestimmt und in Korrelation zur Rangliste gesetzt. Es wurden das periphere Bewegungssehen bei schwachem Kontrast (örtlich-zeitliche Kontrastsensitivität), die zentrale Kontrastsensitivität, die Morphologie der Netzhautgefäße und der Sehnervenfasern sowie der standardisierte Sehtest G37 bestimmt. Die Sehfunktionen wurden ohne und mit Fechtmaske bestimmt. Die zentrale Sehschärfe und die zentrale Kontrastsensitivität wurden mit dem FraCt-System nach Michael Bach (Bach, 1995) bestimmt (Computer-gesteuerte Erkennung der Ausrichtung von Optotypen bei zunehmender Ortsfreqenz bzw. abnehmendem Kontrast) in 3 Blöcken à 10 Minuten. Die Untersuchungsergebnisse der Sehfähigkeit und der Kontrastsensitivität wurden in Korrelation zu den aktuellen Ranglistenpunkten zum Untersuchungszeitpunkt (Rangliste vom 19.9. 2009 des Deutschen Fechter-Bundes) gesetzt.

Training der Sehfähigkeit

Es wurden die zentrale Sehschärfe und die zentrale Kontrastsensitivität trainiert. Dabei erfolgte das Sehtraining zweimal pro Woche für jeweils 30 Minuten.

Ablauf von Woche 2 bis Woche 16:
- 2 x 30 min/Woche über 15 Wochen
- 30 min Sehtraining mittels FraCt in 3 Blöcken à 10 min
- 50 x zentrale Sehschärfe, Ergebnis dokumentieren
- 50 x zentrale Kontrastsensitivität, Ergebnis dokumentieren
- 50 x Vernier-Schärfe, Ergebnis dokumentieren
- Pause
- 50 x zentrale Sehschärfe, Ergebnis dokumentieren
- 50 x zentrale Kontrastsensitivität, Ergebnis dokumentieren
- 50 x Vernier-Schärfe, Ergebnis dokumentieren
- Pause
- 50 x zentrale Sehschärfe, Ergebnis dokumentieren
- 50 x zentrale Kontrastsensitivität, Ergebnis dokumentieren
- 50 x Vernier-Schärfe, Ergebnis dokumentieren.

Screening autonomer Funktionen/ autonome Funktionstests

Durch Analyse der Herzratenvariabilität (HRV-Scanner, Fa. Biosign, Ottenhofen), abgeleitet mittels 1-Kanal-EKG oder Pulssensor, wurden verschiedene funktionelle Parameter des autonomen Nervensystems untersucht.

Kurzzeit-HRV

Die Analyse der Kurzzeit-HRV (5 minütige Aufzeichnung) umfasst die mittlere Herzrate (HR mean), die Standardabweichung (SD), den Variationskoeffizienten (CV), den Stressindex (SI), die Power-HF (High Frequency), die Power-LF (Low Frequency), Total Power und die LF/HF-Ratio.

Der **Stressindex** ist die mathematische Beschreibung der Histogramm-Darstellung der HRV. Berechnet wird der Stressindex in Anlehnung an Prof. Baevsky, der diesen Parameter im Rahmen der russischen Weltraummedizin entwickelt und validiert hatte. Der Stressindex erfreut sich zunehmender Beliebtheit, weil er sensitiv auf Verschiebungen des vegetativen Gleichgewichts zwischen Sympathikus und Parasympathikus reagiert. Er stellt letztlich eine mathematische Beschreibung des Histogramms dar:

$$\text{Stressindex} = \frac{\text{Amo}}{2 \times \text{Mo} \times \text{MxDMn}}$$

Hierbei steht Mo für Modalwert (häufigster Wert des RR-Intervalls), Amo für Anzahl der dem Modalwert entsprechenden RR-Intervalle in Prozent der Gesamtzahl aller Messwerte und MxDMn für die Variabilitätsbreite (Differenz der maximalen und minimalen RR-Intervalle).

Die Power-Werte entsprechen der spektralen Power des Herzfrequenzverlaufs in einem bestimmten Frequenzspektrum, wobei HF den High-Frequency-Bereich (0,15 bis 0,4 Hz) und LF den Low-Frequency-Bereich (0,04 bis 0,15 Hz) umfasst. Als LF/HF-Ratio bezeichnet man das Verhältnis der Powerwerte. Die LF/HF-Ratio ist Ausdruck der vegetativen Balance zwischen Sympathikus und Parasympathikus (Malik et al., 1996; Mück-Weymann, 2004).

RSA-Test

Die Messung der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) erfolgte über 1 Minute mit 6 maximal tiefen Atemzügen. Anschließend wurde die mittlere Herzrate bestimmt sowie die Differenz der höchsten inspiratorischen und der niedrigsten exspiratorischen Herzrate (E-I-Differenz), der RMSSD (root mean square of successive differences = Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Differenzen der RR-Intervalle aufeinanderfolgender Herzschläge), die Standardabweichung und die Variationskoeffizienten (Claus, 2006; Löllgen, 2009).

HRV-Biofeedback-Training

Zum Biofeedback-Training der HRV wurde erstmals ein mobiles Biofeedbackgerät eingesetzt (Qiu, Fa. Biosign, Ottenhofen). Der Qiu (s. Abb. 6c) misst den Puls an der palmaren Handfläche oder an einer Fingerkuppe der umschließenden Hand. Aus dem Puls wird eine besondere Form der HRV, die respiratorische Sinusarrhythmie, berechnet und visualisiert. Die Darstellung der HRV geschieht mittels verschiedener Lichtfarben (Farbskala von rot nach grün, rot = niedrige, grün = hohe HRV). Das mobile Biofeedbackgerät speichert Datum und Uhrzeit jedes Trainings sowie die komplette Herzfrequenzkurve. Die gespeicherten Daten werden online via E-Mail übertragen und mit einer speziellen Software, dem HRV-Scanner (Fa. Biosign), ausgewertet.
Als Verlaufsparameter für den Trainingserfolg wurden der Rhythmisierungsgrad und der Stressindex in Anlehnung an Prof. Baevsky verwendet (s.o.).
Der **Rhythmisierungsgrad** quantifiziert „Qualität" und „Quantität" der respiratorischen Sinusarrhythmie. „Quantität" meint dabei die Größe (Amplitude) der respiratorischen Sinusarrhythmie, „Qualität" drückt aus, ob neben der resporatorischen Sinusarrhythmie noch weitere Regelprozesse in der Herzfrequenz

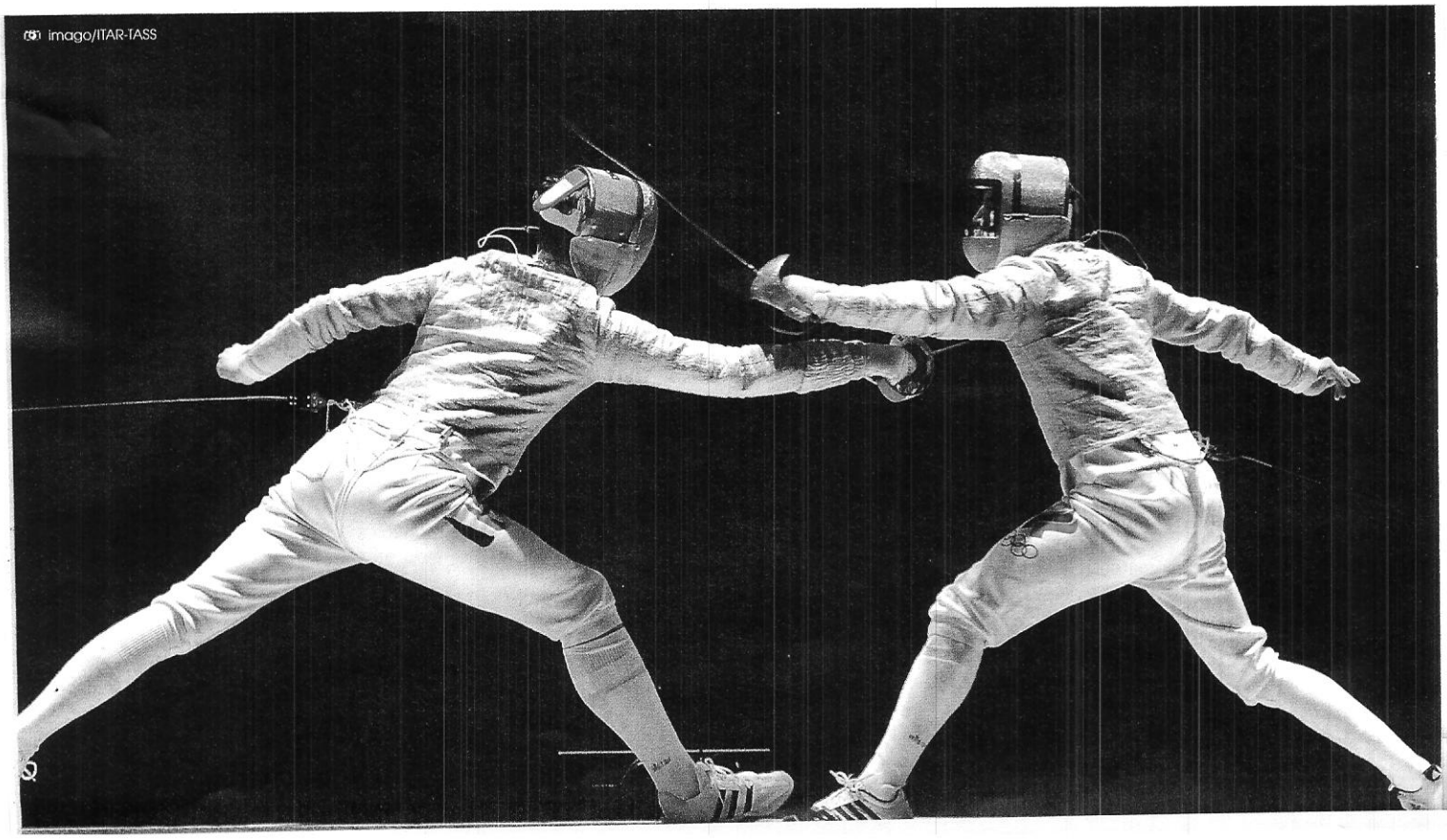
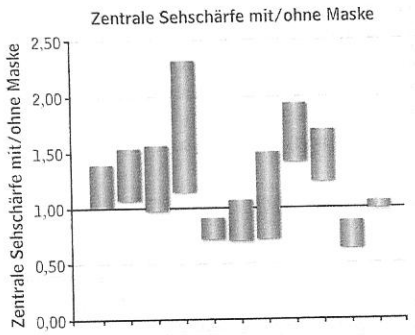
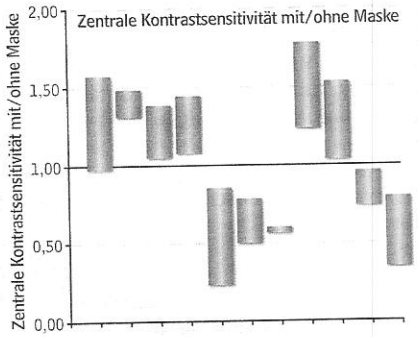

imago/ITAR-TASS

ABB. 1 Zentrale Sehschärfe



Zentrale Sehschärfe mit (unterer Wert) und ohne Fechtmaske (oberer Wert). Sieben von elf Athleten hatten Visuswerte besser als 1.3.

ABB. 2 Kontrastsensitivität



Zentrale Kontrastsensitivität mit (unterer Wert) und ohne Fechtmaske (oberer Wert). Sechs von elf Athleten hatten eine Kontrastsensitivität von kleiner 1 Prozent. Die zentrale Kontrastsensitivität verschlechterte sich durch die Fechtmaske im Mittel um 0.3 Prozent.

sichtbar sind (Mück-Weymann & Beise, 2005; Childre & Howard, 1999).

3. Untersuchungsergebnisse

Eingangs-Sehvermögen

Einige Fechterinnen und Fechter wiesen bereits im Eingangstest ein überdurchschnittliches Sehvermögen auf. 7 von 11 Sportlern zeigten Visuswerte deutlich über 130 Prozent. Die Variabilität des Sehvermögens zwischen den untersuchten Sportlern war beachtlich (Abb. 1). Die Fechtmaske führte in nahezu allen Fällen zu einer Minderung des Sehvermögens. Der Abfall des zentralen Visuswertes durch die Fechtmaske betrug im Mittel 0,3 (30 Prozent). Abb. 2 zeigt die zentrale Kontrastsensitivität mit und ohne Fechtmaske. 6 von 11 Athleten hatten eine Kontrastsensitivität ohne Fechtmaske von weniger als 1 Prozent. Die zentrale Kontrastsensitivität verschlechterte sich durch die Fechtmaske im Mittel um 0,3 Prozent.

Korrelation zwischen Sehtests und DFB-Rangliste

Es fanden sich jeweils signifikante Korrelationen zwischen dem peripheren Bewegungssehen, der zentralen Kontrastsensitivität und der Punktezahl der DFB-Rangliste zum Untersuchungszeitpunkt (Abb. 3 und 4).

Trainingseffekt

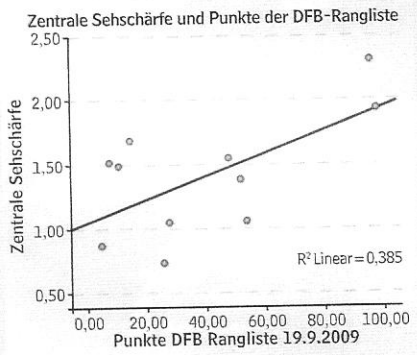
Nach 15 Trainingswochen (zweimal 30 Minuten/Woche) verbesserten sich die Sehschärfe und die zentrale Kontrastsensitivität signifikant.

Im Mittel kam es zu einer Steigerung der zentralen Sehschärfe von 1.5 (150 Prozent) auf 2.0 (200 Prozent) nach einem Seh-Training über 15 Wochen. Bei einer Fechterin steigerte sich die Sehschärfe bis auf knapp 300 Prozent (Abb. 5). Ebenso verbesserte sich die Kontrastsensitivität von 1.5 auf 1.0 um ca. 0,5 bis 0,75 Prozent. Diese Verbesserung entspricht der Stärke der Minderung der Kontrastsensitivität durch das Maschenwerk der Fechtermaske (Daten nicht abgebildet).

Messung der Herzratenvariabilität (HRV)

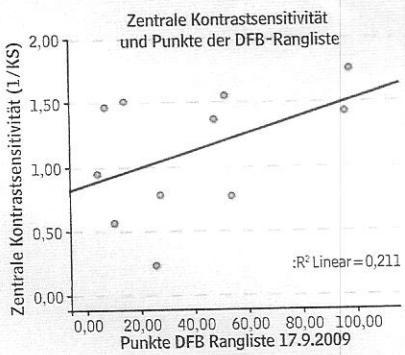
Die Messung der HRV kann über eine EKG-Ableitung (Abb. 6b; diese und alle folgenden Abbildungen auf den Seiten 60 und 61) oder über einen Pulssensor (integriert im Qiu, Abb. 6c) aufgezeichnet und für die Berechnung weiterer Parameter verwendet werden. Durch die Pulsableitung können die Abstände von Schlag zu Schlag aus dem EKG oder dem Pulssignal in Millisekunden (ms) berechnet und als Herzfrequenz über die Zeit grafisch dargestellt werden (Abb. 6a, links oben). Bei einer regelmäßigen Atmung mit 6 Atemzügen/Minute lassen sich bereits sinusartige Pulsschwingungen erkennen, die atemsynchron ablaufen. Bei Inspiration erkennt man die durch Verringerung der Vagusaktivität vermittelte Zunahme der Herzfrequenz, bei Exspiration kommt es Vagus-(Parasympathikus)-vermittelt zur Abnahme der Herzfrequenz. Findet sich eine entsprechende Frequenzkopplung in Abhängigkeit von den Atemzyklen, spricht man von Kohärenz, Herzkohärenz oder Kohärenzatmung. Die Frequenz dieser atemabhängigen Schwingung lässt sich durch eine Fourier-Transformation auch in Form eines Spektrums darstellen (Abb. 6a, rechts). Der hohe, grüne Peak hat sein Maximum bei einer Frequenz von 0,1 Hz, was die Frequenz der 6 Atemzyklen/Minute widerspiegelt. Das Signal unter der Kurve bei 0,1 Hz

ABB. 3 Korrelation I



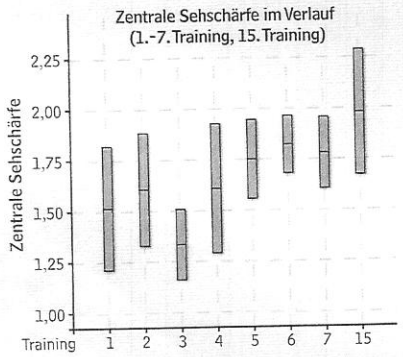
Korrelation zwischen zentraler Sehschärfe und den DFB-Punkten der Rangliste vom 19.9.2009. In der untersuchten Stichprobe zeigte sich eine signifikante lineare Korrelation mit einem r^2-Wert von 0.38.

ABB. 4 Korrelation II



Korrelation zwischen zentraler Kontrastsensitivität und den DFB-Punkten der Rangliste vom 19.9.2009. In der untersuchten Stichprobe zeigte sich eine signifikante lineare Korrelation mit einem r^2-Wert von 0.21.

ABB. 5 Sehschärfe



Im Mittel kam es zu einer Steigerung der zentralen Sehschärfe von 1.5 (150 Prozent) auf 2.0 (200 Prozent) nach einem Seh-Training über 15 Wochen. Bei einer Fechterin steigerte sich die Sehschärfe bis auf knapp 300 Prozent.

lässt sich auch grafisch als Rhythmisierungsgrad (Abb. 6 a, links unten) darstellen und spiegelt die Qualität des Vagus-Trainings bzw. die Intensität der Herzkohärenz wider und repräsentiert in diesem Zusammenhang nahezu ausschließlich das Ansprechverhalten des Vagus (Parasympathikus).

HRV-Biofeedback-Training

Durch regelmäßiges Training (täglich 2 x 5 Minuten) online oder mit dem mobilen Qiu lässt sich so eine sehr schöne Lernkurve erzielen. Abb. 7a zeigt den Herzfrequenzverlauf (obere Bildhälfte) und den Rhythmisierungsgrad (untere Bildhälfte) bei einer Athletin am Anfang des HRV-Biofeedback-Trainings mit dem Qiu. Die Herzfrequenz (obere Bildhälfte) erscheint zunächst noch überwiegend chaotisch, der Rhythmisierungsgrad (untere Bildhälfte) bleibt nahezu auf der Nulllinie. Ab der 3. Minute lassen sich eine Synchronisierung der Herzfrequenz und ein Anstieg des Rhythmisierungsgrades erkennen. Durch einen störenden Gedanken in der 4. Minute bricht die Rhythmisierung wieder ab. Nach 3 Monaten regelmäßigen Trainings (Abb. 7b) fällt dagegen ein sehr rascher Anstieg innerhalb von 2 Atemzügen nach Übungsbeginn auf. Das Niveau wird über 5 Minuten weitgehend gehalten ohne wesentliche Einbrüche, die Athletin spürt die positiven Effekte des Kohärenz-Trainings selbst. Regelmäßiges Üben führt die Sportler schließlich auf ein individuell unterschiedliches, optimales Niveau. Beim Beispiel in Abb. 8a sieht man, dass auch nach 12 Monaten noch kein Plateau erreicht wurde und ein weiteres Steigerungspotenzial damit vorhanden ist. Der Stressindex, der bei Leistungssportlern meist noch auf einem relativ niedrigen Niveau zu finden ist, konnte trotz des niedrigen Niveaus über 12 Monate signifikant reduziert werden. Entscheidend für die Stabilität der Lernkurve und der Ergebnisse sind vor allem die Übungshäufigkeit und -regelmäßigkeit. Um signifikante Effekte zu erzielen, ist erfahrungsgemäß ein Übungsaufwand von täglich zweimal 5 Minuten erforderlich, bedarfsweise auch mehr. Abb. 9b zeigt deutlich den Verlust des zuvor (Abb. 9a) erworbenen, signifikant ansteigenden Rhythmisierungsgrades bei nur noch unregelmäßiger Übungsfrequenz und Häufigkeit.

RSA-Test bei Infekten und Übertraining

Der RSA-Test dient nicht nur als Eingangsmessung, sondern eignet sich auch hervorragend als Verlaufsparameter zur Beurteilung des vagalen Status. Eine plötzliche Verschlechterung weist auf Störungen der Vagus-Funktion hin, z.B. bei Übertraining oder Infekten. Abb. 10a zeigt das Ergebnis eines RSA-Tests in Form eines Rangdiagramms. Die mittlere Herzfrequenz und die RMSSD liegen jeweils im überdurchschnittlichen Bereich (> 70 Prozent, d.h. 70 Prozent der altersgleichen, gesunden Vergleichsgruppe haben schlechtere Werte). Die übrigen Parameter lagen im durchschnittlichen Bereich (konstant über die letzten Wochen). Durch Steigerung der Trainingsintensität und -frequenz über mehrere Tage fand sich im erneuten RSA-Test (Abb. 10b) eine deutliche Verschlechterung aller Parameter. Die sportlichen Ergebnisse hatten sich ebenfalls deutlich verschlechtert. Nach einer mehrtägigen Regenerationspause kam es schließlich wieder zu einer vollständigen Normalisierung der RSA-Parameter auf das alte Niveau. Die sportliche Leistung hat sich danach ebenso wieder auf das Ausgangsniveau eingestellt.

Abb. 10c zeigt eine Sportlerin zur Saison-Mitte in ihrem individuellen idealen Trainingszustand. Während der Messung in Abb. 10d waren bereits leichte Erkältungssymptome vorhanden, sodass eine Trainingspause eingelegt wurde. Im weiteren Verlauf entwickelte sich ein schwerer grippaler Infekt mit Fieber. In ähnlichen Fällen konnten bereits auch schon ohne klinische Symptome oder Hinweise für ein mögliches Übertraining RSA-Tests mit deutlicher Verschlechterung der Werte aufgezeichnet und eine Trainingspause angeordnet werden. Im Verlauf der nächsten 2 bis 3 Tage fand sich dann regelmäßig die entsprechende Klinik mit Erkältungszeichen und ggf. auch Fieber.

4. Diskussion

In der modernen Trainingslehre ist bereits seit Langem bekannt, dass über das herkömmliche Konditions- und Techniktraining hinaus beim Wettkampfsportler auch mentale Faktoren eine zentrale Rolle für den Erfolg spielen. Entsprechende Techniken werden in unterschiedlichster Art und Weise in Form von autogenem Training, mentalem Training oder Fokussierungstechniken bereits eingesetzt. Neu ist die in den letzten Jahren gewonnene Erkenntnis, dass auch unser zentrales Nervensystem sowie unser autonomes Nervensystem trainierbar und messbar sind.

Einen Durchbruch auf dem Gebiet der visuellen Signalverarbeitung stellt sicherlich die Arbeit von Li et al. (2009) dar, in der erstmals gezeigt werden konnte, dass nicht nur durch Hilfsmittel wie Kontaktlinsen oder eine Brille die Sehfunktion verbessert werden kann, sondern auch durch „spezifisches" Training. Die Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass durch Computer-Actionspiele im Gegensatz zu Computer-Strategiespielen die Sehfähigkeit signifikant zunimmt. Ähnlich ist seit Kurzem bekannt, dass auch die Funktion des autonomen Nervensystems durch ein spezielles Biofeedback-Training der Herzratenvariabilität (HRV) beeinflussbar ist (Mc Craty, 2002; Xu, 2009; Mück-Weymann & Beise, 2005).

Um im Hochleistungssport erfolgreich zu sein, ist ein optimales Zusammenspiel konditioneller Faktoren, der motorischen Fähigkeiten, der Wahrnehmung und der zentralen Verarbeitung von großer Bedeutung. Viele Leistungssportler erleben diesen Zustand als sogenannten „Flow" oder beschreiben ihn als einen „Tunnel", in dem maximales Fokussieren und ein optimaler Leistungsabruf möglich sind. Die Schwierigkeit in der Wettkampfsituation ist es, diesen Zustand auch unter maximalen Störfaktoren von außen zu erreichen bzw. aufrechtzuerhalten. Nachvollziehbar wird diese Problematik bei Betrachtung der Abläufe im zentralen Nervensystem des Sportlers.

Im limbischen System sind wesentliche entwicklungsbiologisch wichtige Mechanismen (Programme) zur Überlebenssicherung abgelegt (z.B. Hypothalamus), die automatisch ablaufen können ohne Zuschalten der Großhirnrinde (Neokortex).

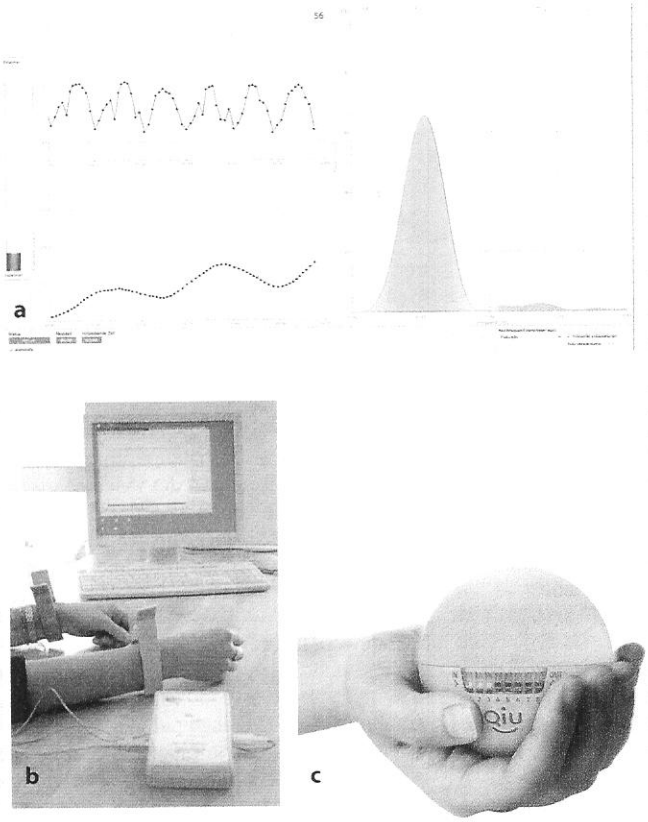
Weiter sind Zentren vorhanden, in denen Angst (z.B. Amygdala), Triebe, Verhaltensmuster, Motivation und Emotionen geregelt werden können und über das autonome Nervensystem (Sympathikus und Parasympathikus) an die Effektororgane weitergeleitet werden (Nebennieren, Herz, Gefäße, Muskulatur etc.). Dadurch können die im Sport „mühsam" und über Jahre antrainierten Techniken im „Störfall" nicht mehr im Idealzustand abgerufen werden. Es treten durch eine Dysbalance im autonomen Nervensystem Störungen der Feinmotorik, der visuellen Wahrnehmung und der Signalverarbeitung auf. Dies führt zur Verschlechterung der technischen Fähigkeiten, aber auch der mentalen Stärke sowie der Fähigkeit zu fokussieren.

Nachdem das autonome Nervensystem (ANS) jedoch auch über verschiedene Sensoren verfügt, mit denen es möglich ist, Einfluss auf Sympathikus und Parasympathikus zu nehmen, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der gezielten Gegensteuerung (z.B. mentales Training, Atemübungen), um den ungewollten, stressbedingten Veränderungen entgegenzuwirken.

Die Aktivität im autonomen Nervensystem lässt sich durch eine Ableitung des EKGs oder Pulses durch Analyse der Herzratenvariabilität berechnen. Durch die Möglichkeit zur Online-Wiedergabe der Messwerte (z.B. Qiu [Fa. Biosign] oder Stresspilot [Fa. Biocomfort]) kann mit Hilfe von Biofeedback-Übungen das individuelle Ansprechen auf stressreduzierende Maßnahmen überprüft werden. Biofeedback wird bereits seit fast 20 Jahren in der Betreuung von Leistungssportlern mit einem breiten Anwendungsspektrum eingesetzt (Amesberger & Finkenzeller, 2008), jedoch nicht in Form eines kabellosen, mobilen Biofeedbacks, welches jetzt mit Hilfe des Qiu möglich geworden ist.

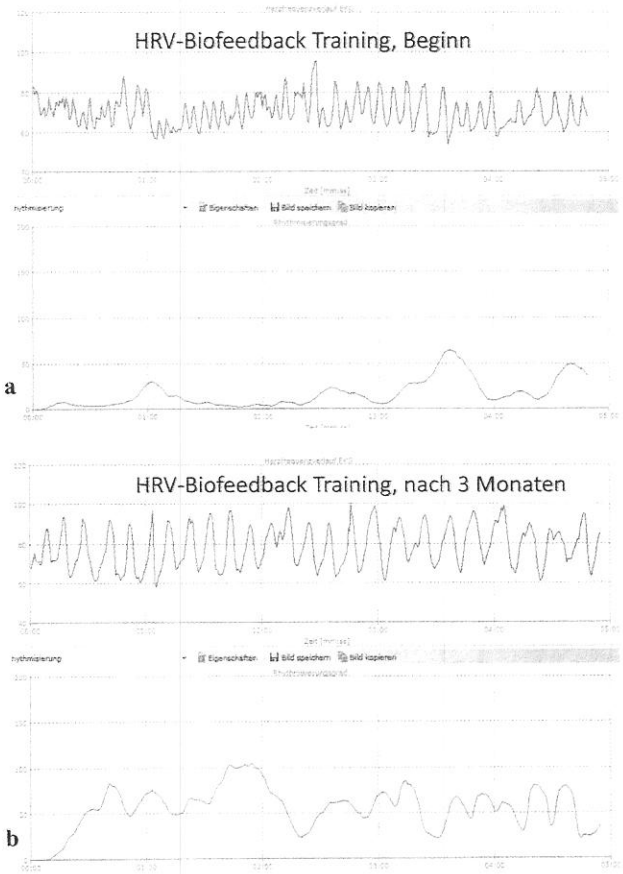
In Bezug auf die vorliegenden Daten konnte bereits in der Vergangenheit der Zusammenhang zwischen Sehfähigkeit und dem Zustand des autonomen Nervensystems gezeigt werden. Unter Stress oder Schmerzen kommt es zu einer signifikanten Einengung des Sehfeldes und es entwickelt sich ein sogenannter „Tunnelblick". Entwicklungsbiologisch gesehen, stellte dies eine sinnvolle Regulation dar. In vielen Sportarten, insbesondere den Kampfsportarten, dürften jedoch auch das periphere Gesichtsfeld und der Weitblick für eine optimale Signalverarbeitung von entscheidender Bedeutung sein. Gerade im Fechtsport konnte durch die vorgestellten Daten gezeigt werden, welche Einschränkung der Sehfunktion durch das Tragen der Fechtmaske vorliegt (Abb. 1 und 2). Dabei scheint ein Zusammenhang zwischen der

ABB. 6 Herzratenvariabilität (HRV)



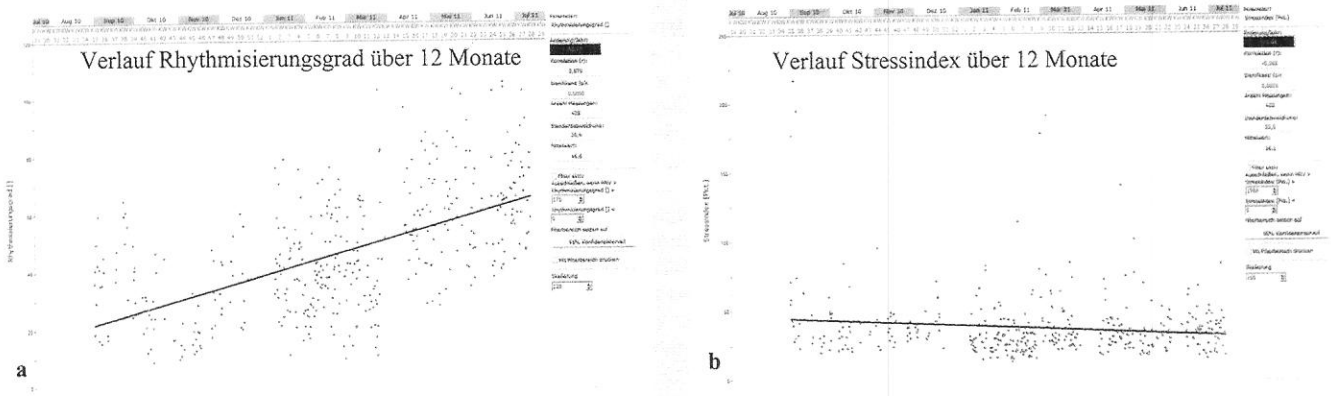
a: Aufzeichnung eines Online-Spektrums der Herzratenvariabilität (rechte Bildhälfte) mit einem Frequenzpeak (grün) bei 0,1 Hz, entsprechend 6 Atemzyklen/min. In der linken Bildhäfte oben atemsynchrone (6 Atemzüge/Minute) Schwankung der Herzfrequenz, unten zunehmender Anstieg des Rhythmisierungsgrades (entsprechend Peak bei 0,1 Hz rechte Bildhälfte)
b+c : Ableitung des Pulssignals zur HRV-Messung über EKG-Klemmen mit dem PC-gebundenen HRV-Scanner (b) oder durch einen Pulssensor im mobilen HRV-Biofeedback Gerät (Qiu) über die Hand- oder Fingerarterien (c).

ABB. 7 HRV-Biofeedbacktraining



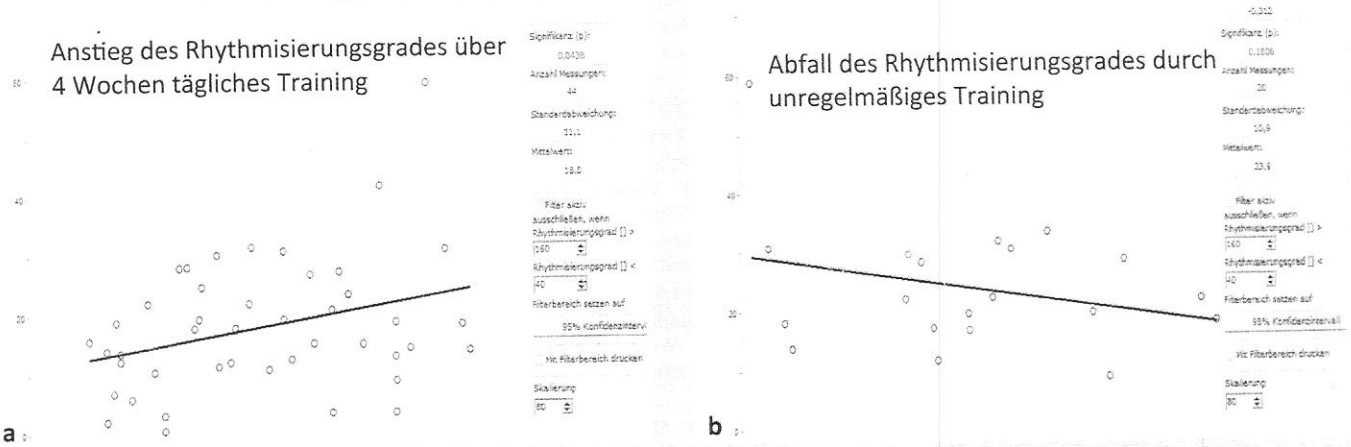
a: Beginn des mobilen (Qiu) HRV-Biofeedback-Trainings. 1. bis 2. Minute noch deutlich inkohärente Herzfrequenz (oben), ab der 2. Minute atemsynchrone, kohärente Herrzfrequenz. Gleichzeitig Anstieg des Rhythmisierungsgrades (unten) als Korrelat für das beginnende Vagustraining.
b: Nach 3 Monaten Training sofortiger Anstieg der Rhythmisierung (unten) auf ein deutlich höheres Niveau sowie kohärente Herzfrequenz (oben).

ABB. 8 Rhythmisierungsgrad/Stressindex



a: Hochsignifikanter Anstieg des Rhythmisierungsgrades (Vagus-Trainings) über 4 Wochen durch 2-mal tägliches HRV-Biofeedback Training (Qiu).
b: Hochsignifikanter inverser Verlauf des Stressindex durch 12 Monate HRV-Biofeedback Training.

ABB. 9 Rhythmisierungsgrad



a: Signifikanter Anstieg des Rhythmisierungsgrades (Vagus-Trainings) über 4 Wochen durch 2-mal tägliches HRV-Biofeedback Training (Qiu).
b: Verlust des Trainingseffekts und Abfall des Rhythmisierungsgrades durch unregelmäßiges Training.

Sehfähigkeit und dem sportlichen Erfolg zu bestehen. Es fand sich eine positive Korrelation (Abb. 3 und 4) zwischen den Ranglistenpunkten und der Sehfähigkeit bzw. Kontrastsensitivität.

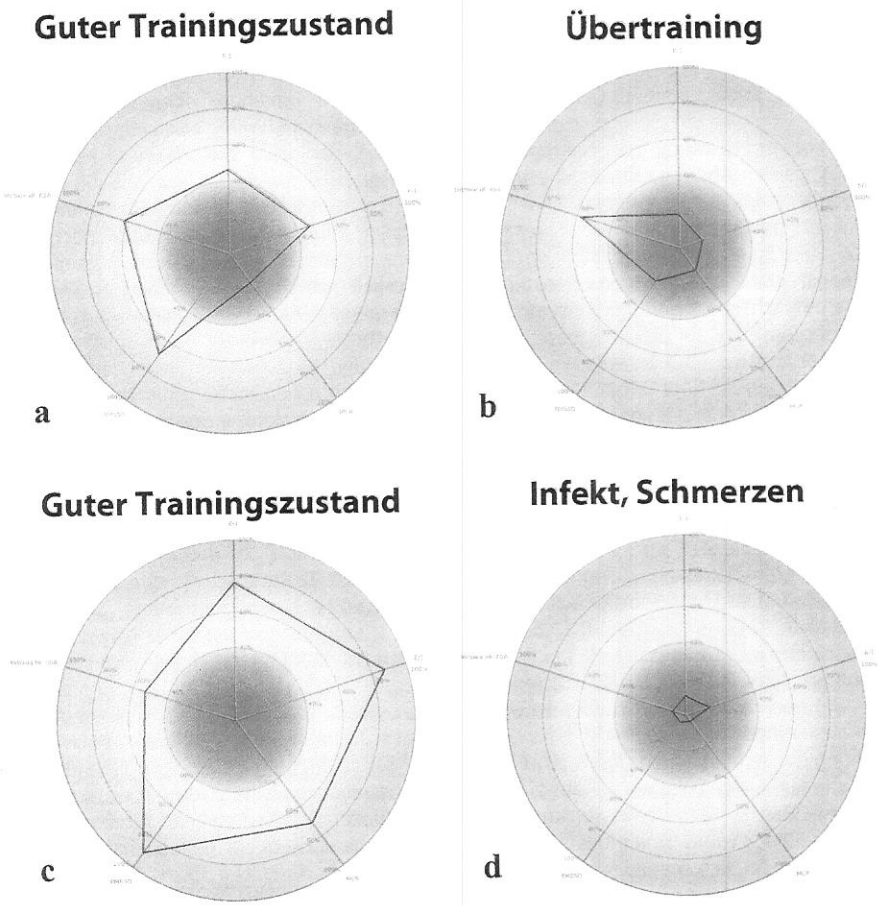
Alle Faktoren, die zu einer Optimierung der Sehfunktion beitragen, sollten damit maximal unterstützt werden. Die Daten verstärken den Gedanken, durch entsprechende Sehtests bereits in der Nachwuchsarbeit besondere Begabungen zu erkennen und ggf. besonders zu fördern. Nachdem jedoch auch Athleten, deren Sehfähigkeit nicht im überdurchschnittlichen Bereich liegt, durch ein strukturiertes Sehtraining die Sehfähigkeit um 50 Prozent nach 15 Wochen Training anheben können, erscheint dies nicht zwingend ein gültiges Kriterium zur Vorauswahl zu sein.

Ein bereits erwähnter weiterer Faktor, der hier möglicherweise eine noch größere Rolle spielt, dürfte die Funktionalität des autonomen Nervensystems sein.

Mit HRV-Biofeedback und dem funktionellen RSA-Test wird erstmals ein strukturiertes Training und Monitoring des autonomen Nervensystems im Leistungssport möglich. Grundlage des Trainingsprogramms ist eine Ausgangsbestimmung des Stresspegels, gemessen an dem Verhältnis von Sympathikusanteil (Stress) und Parasympathikusanteil (Entspannung) des autonomen Nervensystems.

Abb. 6 zeigt die Möglichkeit der Messung über eine EKG-Ableitung oder über das mobile Gerät (Qiu) mit Ableitung des Pulssignals über einen Sensor. Nur in einem ausgewogenen Verhältnis ist eine optimale motorische und mentale Leistungsfähigkeit möglich. Ist der Sympathikus-Anteil zu hoch, kommt es zum Verlust der Feinmotorik („starr vor Angst"), Verlust des Überblicks („Scheuklappen" oder „Tunnelblick") oder Verlust der Kontrolle über die Emotionen („mit dem Kopf durch die Wand"). Umgekehrt kann bei zu hoher Parasympathikus-Aktivität leicht ein Kampf „verschlafen" werden.

ABB. 10 Ergebnisse beim 1-Minuten-RSA-TEST



Parameter des RSA-Tests (6 maximale Atemzüge über 1 Minute): mittlere Herzfrequenz, E-I (Pulsdifferenz zwischen maximaler Ex- und Inspiration), E/A (Pulsquotient zwischen maximaler Ex- und Inspiration), MCR (Mean Circular Resultant) und RMSSD (root mean square of successive differences). Rangdiagramm mit altersbezogener Zuordnung der Messwerte (z.B. grüner Bereich: Wert besser als 70 bis 100 Prozent der gesunden, gleichaltrigen Vergleichsgruppe).
a + b: gleicher Athlet in stabilem Trainingszustand (a) und im Übertraining (b).
c + d: gleicher Athlet in gutem Trainingszustand (c) und mit Erkältung (d).

Zugriff oder Kontrolle über diese sonst autonom arbeitenden Regulatoren unserer Körperfunktionen (autonomes Nervensystem) sind über die Analyse der Variabilität unserer Herzfrequenz oder Pulswelle möglich. Mit der sogenannten Herzratenvariabilität lassen sich kleinste Schwankungen von Pulsschlag zu Pulsschlag messen. Umso variabler der Puls ist, umso entspannter ist das Nervensystem. Wird die Variabilität geringer, d.h. der Puls starrer, bedeutet das eine höhere Sympathikus-Aktivität, also mehr Stress. Durch Umrechnung der Herzratenvariabilität in ein Spektrum lassen sich relativ genau die momentanen Anteile bzw. das Verhältnis von Sympathikus und Parasympathikus im Nervensystem darstellen.

Ein Parameter, der in dieser Pilotstudie zum Monitoring der Lerneffekte des autonomen Nervensystems eingesetzt wurde und die Effekte des HRV-Biofeedback-Trainings besonders genau wiedergibt, ist der Rhythmisierungsgrad. Der Rhythmisierungsgrad quantifiziert „Qualität" und „Quantität" der respiratorischen Sinusarrhythmie, d.h., er visualisiert mittels Kurvenverlauf (Abb. 6a) oder „grünem" Signal (Qiu, Abb. 6c) den Erfolg der Kohärenz-Atmung. Insbesondere beim HRV-Biofeedback spielt der Rhythmisierungsgrad eine große Rolle, weil dort ein hoher Rhythmisierungsgrad (große respiratorische Sinusarrhythmie, geringe sonstige Regelprozesse) gezielt trainiert wird.

Durch Kohärenz-Atmung (ca. 6 Atemzyklen/Minute) werden Atmung, Herzschlag und die Taktfrequenz im Gehirn gekoppelt und synchronisiert (McCraty, 2002). Durch diese Synchronisation ist es möglich, in einen optimalen Leistungszustand zu gelangen. Das Biofeedback ermöglicht gleichzeitig die Visualisierung störender Einflüsse auf diesen kohärenten Zustand. Bei Ängsten oder Stressoren, die während der Übung im Kopf entstehen, lässt sich sehr schön der Verlust des kohärenten Zustands am Abfall des Rhythmisierungsgrades (oder der Rot-Färbung des Qiu) nachvollziehen. Mit entsprechender Übung (täglich zweimal 5 Minuten) ist es möglich, diese Störungen immer schneller auszublenden und wieder zurück in den kohärenten Zustand zu gelangen. Im weiteren Verlauf muss jeder Sportler selbst seinen individuellen Bestwert ermitteln. Dabei kann sich nach längerer Übungszeit ein Plateau einstellen, es kann aber auch nach 12 Monaten (Abb. 8a) noch zu einem weiteren Anstieg des Rhythmisierungsgrades kommen. Eine Unterbrechung des regelmäßigen Übens führt in der Regel wieder zu einem Verlust der antrainierten Kohärenz. Man spricht deswegen auch beim HRV-Biofeedback vom Training des „emotionalen Muskels", der sich wie jeder andere Muskel ohne Training wieder zurückbildet. Entscheidend für den Erfolg ist neben der Regelmäßigkeit des Trainings auch die Unterstützung der Athleten durch Trainer und Betreuer. Nur dann kann ein optimaler Einsatz des HRV-Biofeedback nicht nur beim Üben zu Hause, sondern auch am Trainingsplatz oder beim Wettkampf erfolgen, was zu einer Verstärkung des Trainingseffektes führt.

Für den Trainer können sich durch gemeinsames Üben Ängste oder Schwächen des Athleten aufdecken lassen. Durch regelmäßiges Einbeziehen dieser Schwächen bei der Übung wird es möglich, diese mit Hilfe der Atemtechnik und mentaler Techniken zu bewältigen und in Kohärenz zu verwandeln. Im Ausland (USA, China, Schweden, England, Österreich) werden diese Techniken bereits erfolgreich im Leistungssport eingesetzt (Golf, Ski alpin, Eishockey, Basketball, Tennis).

Eine weitere Möglichkeit, um über eine Analyse der Herzratenvariabilität das Training zu optimieren, stellt die Anwendung des RSA-Tests dar. In diesem 1-Minuten-Test mit maximaler Ex- und Inspiration (6 Atemzüge) wird die Funktionalität des autonomen Nervensystems sichtbar.

Der RSA-Test ist sehr sensitiv für Störungen des vagalen Systems (Parasympathikus) und kann bei regelmäßiger (idealerweise täglicher) Durchführung Störungen des Systems frühzeitig anzeigen. Besonders empfindlich reagiert der RSA-Test auf eine sympathische Überreizung, wie sie z.B. bei Übertraining zu finden ist, oder auf virale Infekte, die noch vor einer entsprechenden Klinik mit z.B. Erkältungssymptomen messbar sind (Abb. 10). Hier ist, neben der Eigenverantwortung des Athleten, im Falle einer signifikanten Verschlechterung des RSA-Tests eine Trainings- oder Wettkampfpause einzulegen, natürlich auch der Trainer gefordert, der diese Warnhinweise respektieren sollte.

Im Leistungssport-Bereich (z.B. Fußball), aber immer häufiger auch im Hobbysport (Marathon, Triathlon) treten Todesfälle durch Herzmuskelentzündungen mit malignen Rhythmusstörungen (Kammerflimmern = plötzlicher Herztod) auf, die in der Regel durch virale Infekte und Missachtung einer Trainings- oder Wettkampfpause zur Verschlimmerung neigen. Auch wenn bislang prospektive Studien zum Einsatz des RSA-Tests bei Leistungssportlern hinsichtlich einer Verhinderung des plötzlichen Herztods im Training oder auf dem Wettkampf fehlen, hat sich die prognostische Aussagekraft auch wiederholt bei den Athleten im Olypiastützpunkt Tauberbischofsheim bestätigt und wurde entsprechend respektiert.

Zusammenfassend zeigen die vorgestellten Daten, dass das visuelle und das autonome Nervensystem trainierbar sind. Eine Beurteilung dieser Trainingseffekte muss sicherlich in einer größer angelegten Studie über einen längeren Zeitraum noch weiter überprüft werden. Die individuellen Erfahrungen der Athleten, die die Methodik konsequent genutzt haben, sind jedoch bereits durchweg positiv, sodass eine Ausweitung des Projekts geplant ist.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei der Umsetzung des Projekts im Olympiastützpunkt bei der Psychologin des OSP Tauberbischofsheim, Silvia Amend, sowie beim Leiter des OSP, Matthias Behr. Dank geht auch an den früheren Leiter des OSP Tauberbischofsheim, Daniel Strigel, der das Projekt mit initiiert hatte. Weiterhin haben die Geschäftsführer der relax do GbR, Matthias Bär und Young-Sun Cho, das Projekt vor Ort mit Vorträgen und Trainingseinheiten unterstützt.

*

Literatur

Amesberger, G. & Finkenzeller, T. (2008). Einsatz von Biofeedback im Sport. In I. Pirker-Binder, *Biofeedback in der Praxis, Band 2 Erwachsene*. Wien/New York: Springer.

Bach, M. (1995). Der Freiburger Visustest. *Der Ophthalmologe, 92*, 174-178.

Childre, D & Howard, M. (1999). *The HearthMath Solution*. San Francisco: Harper.

Claus, D. (2006). Normwerte zu kardiovaskulären Tests. *Klin. Neurophysiol., 37*, 109-112.

Li, R., Polat, U., Makous, W. & Bavelier, D. (2009). Enhancing the contrast sensitivity function through action video game training. *Nature Neuroscience, 12* (5), 549-551.

Löllgen, D., Mück-Weymann, M., Beise, R. (2009). The Deep Breathing Test: Median-based expiration–inspiration difference is the measure of choice. *Muscle & Nerve, 39* (4), 536-544.

Malik, M. et al. (1996). Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation, 93*, 1043-1065.

McCraty, R. (2002). Influence of cardiac afferent input on heart-brain synchronization and cognitive performance. *Int. J. Psychophysiol., 45* (1-2), 72 f.

Mück-Weymann, M. (2004). Anwendung der Herzfrequenzvariabilitätsmessung in Medizin und Psychologie. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport* (S. 55-64). Hamburg: Czwalina.

Mück-Weymann, M. & Beise, R. (2005). Herzkohärenztraining – eine moderne Form der Stressbewältigung. *Forum Stressmedizin, 1*, 1-5.

Xu, Z. (2009). Effect of HRV feedback training on sportsmen's mental fatigue. *Journal of Shandong Institute of Physical Education and Sports, 11*, 012.

*

Die Autoren

Dr. med. Martin LASER, ist niedergelassener Kardiologe in Nürnberg und medizinischer Leiter der „relax do – Medizinisches Stressmanagement" GbR in Nürnberg. Er war selbst von 1986 bis 1992 im Olympiastützpunkt Tauberbischofsheim als Florettfechter, Mitglied der Nationalmannschaft und Militärweltmeister 1987 mit der Mannschaft und Vize-Militärweltmeister im Einzel. Er betreibt zusätzlich seit 1981 Shotokan Karate, seit 1984 mentales und autogenes Training, seit 2003 Zen, seit 2009 HRV-Biofeedback-Training und Vollkontakt-Taekwondo (Cho's Tiger Akademie Nürnberg).

Dr. med. Reinhard BEISE, ist Geschäftsführer der Biosign GmbH in Ottenhofen (www.biosign.de). Er beschäftigt sich seit über 10 Jahren mit der Messung und Steuerung des autonomen Nervensystems. Durch Entwicklung des Qiu konnte 2010 erstmals auf dem deutschen Markt ein mobiles Gerät zum HRV-Biofeedback angeboten werden.

Prof. Dr. med. Georg MICHELSON, ist Leiter der Poliklinik der Universitäts-Augenklinik Erlangen und Geschäftsführer der Talkingeyes&more GmbH. Das Präventionsprogramm „talkingeyes&more" wurde mehrfach mit Preisen ausgezeichnet. Der wissenschaftliche Schwerpunkt mit mehreren Patenten liegt auf dem Gebiet der retinalen Perfusion. Er ist seit 2004 Vorsitzender der „International Society of Ocular Circulation and Oximetry".

Anschriften: Dr. med. Martin Laser, Am Stadtpark 2, 90409 Nürnberg; E-Mail: m.laser@innere-parcside.de

Prof. Dr. med. Georg Michelson, Poliklinik der Universitäts-Augenklinik Erlangen, Schwabachanlage 6, 91054 Erlangen; E-Mail: Georg.Michelson@uk-erlangen.de