

Matthias Fenzl und Jens Brockmann

Klinik Valens

# Belastungssteuerung im rehabilitativen Ausdauersport durch alterskorrigierte Richtwerte

## Zusammenfassung

In der Rehabilitationspraxis werden Trainingsbelastungen oftmals nicht auf die individuelle Leistungsfähigkeit abgestimmt. Als Kompromiss wird teilweise wegen des günstigeren Aufwand-Nutzen-Verhältnisses die Trainingsintensität pauschal festgelegt, indem sie prozentual aus einer Schätzung der Maximalherzfrequenz (HFmax) abgeleitet wird. Eine dabei zu niedrig gewählte Belastung unterstützt den Rehabilitationsprozess nicht in geeigneter Weise, ein Zuviel läuft den Erholungs- und Regenerationszuständen zuwider. In der vorliegenden Untersuchung wurde daher bei 88 rheumato- und neurologischen Patienten die groben Schätzungen der Trainings-HF in %HFmax mit effektiv ermittelter Trainings-HF verglichen. In mehr als einem Drittel der Fälle würde die geschätzte Intensität zu einer Unter- oder Überforderung führen. Einzig bei Bekanntsein der tatsächlichen HFmax kann die Beziehung 70% HFmax als hinreichend genau angenommen werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Bedeutung einer individuellen HF-Bestimmung durch geeignete Testverfahren.

## Abstract

In rehabilitative practice, training intensity is often not matched with individual performance. Defining the intensity of training with a rule of thumb (75% estimated maximum heart rate), is a time-saving compromise. A low load does not assist the process of reconditioning, whereas a too high load does not support the process of regeneration. The present study examined the differences between estimated reference intensities and actual intensities from maximum heart rate in 88 patients with rheumatologic and neurological diseases. The results show that reference values are in more than 30% unsuited for determining an appropriate training intensity. Only by determining the effective maximum heart rate, the 70% of maximum heart rate gives an acceptable training intensity.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 54 (4), 117–120, 2006

## Einleitung

Um sich einen Leistungstest zu ersparen, wird oftmals die Trainings-Herzfrequenz (HF) indirekt abgeschätzt. Als Schätzbasis wird HFmax nach der Formel  $220 - \text{Lebensalter}$  für Laufen bzw.  $210 - \text{Lebensalter}$  für Radfahren und  $205 - \text{Lebensalter}$  für Schwimmen festgelegt. Die Trainingsintensität wird dann aus einem Faktor des alterskorrigierten Richtwertes bestimmt, z.B. als 75% HFmax ( $0.75\text{HFmax}$ ). Eine andere Möglichkeit zur Schätzung der Trainings-HF besteht in der Verwendung folgender Formeln:  $180 - \text{Lebensalter}$  ( $180 - \text{LA}$ ) bzw.  $170 - \frac{1}{2}\text{Lebensalter}$  ( $170 - 0.5\text{LA}$ ). Bei diesen Schätzungen liegt die Fehlerbreite bei gesunden Personen unterhalb des 40. Lebensjahres in einem tragbaren Ausmass, denn sie beruht auf der Methode für Mittelwerterfassung bei grossen Probandenkollektiven. Die Schätzung behält vor allem dann ihre Richtigkeit, wenn Empfehlungen zum richtigen Bewegungsverhalten in einer Bandbreite zwischen 70 und 90% der alterskorrigierten HFmax angegeben werden (Howley and Don Franks, 1992; Mc Ardle et al., 1996).

Die Kritik an einer pauschalen Handhabung dieser Faustregel betrifft die Übertragbarkeit auf verschiedene Personengruppen. Insbesondere bei älteren und kranken Personen kann jedes Glied in der Leistungskette (Herz-Kreislauf, Atmung, Muskulatur) begrenzend sein. Mittelwerte aus grossen Zahlenreihen sind in diesen Fällen oft unkorrekt.

Es stellt sich für die Rehabilitationsmedizin daher die Frage, ob die pauschale Herleitung der Trainings-HF durch formelhafte Beziehungen eine brauchbare Vorgehensweise bei der Intensitäts-

steuerung ist und wie weit es wegen Fehlschätzungen der Leistungsbereiche zu Unter- oder Überforderung kommt, auch wenn man der Schätzung wegen der heterogenen Kollektive eine grosse Schwankungsbreite zugesteht. Sollte unsere Untersuchung zeigen, dass sich die Fehleinschätzungen in einem kleinen Rahmen halten, könnte man tatsächlich auf aufwändige und kostenintensive Belastungsuntersuchungen wie Spiroergometrie oder Laktatdiagnostik verzichten.

## Methodik

### Probanden

88 stationär behandelte Patienten mit rheumato- und neurologischen Erkrankungen (Tab. 1) gaben ihre Einwilligung zu einer Belastungsuntersuchung. Sie erfolgte mit dem Ziel, körperliche Aktivität indikationsspezifisch umzusetzen (z.B. Ausdauertraining bei chronischen Rückenschmerzen: Koltyn et al., 1996; Matheson et al., 2002). Die Indikationsstellung ergab sich aus der Diagnose, die vor allem die lumbalen Syndrome und zerebrovaskulären Ischämien umfasste (Tab. 2).

Alle Patienten wurden zuvor nach Zuweisung durch den ärztlichen Dienst hinsichtlich ihrer sportmotorischen Eignung mit dem für den klinischen Bereich entwickelten MBD-Eingangstest (Wydra in Bös, 2001) evaluiert. Einschluss fanden nur Patienten, die in den Items Ausdauer und Koordination keine Funktionsbehinderungen für den Fahrradtest aufwiesen. Zudem mussten sie sich

	R; n = 56 (36 m, 20 w)				N; n = 32 (25 m, 7 w)			
	MW	±SA	Min	Max	MW	±SA	Min	Max
Alter (J)	44.1	12.0	19.0	64.0	43.8	15.6	30.0	52.0
Grösse (cm)	171.8	8.0	156.0	188.0	174.1	17.0	155.0	179.0
Gewicht (kg)	79.4	17.1	47.0	113.0	76.8	4.2	82.0	88.0

Tabelle 1: Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SA) und Minimal-/Maximalwerte (Min/Max) der anthropometrischen Daten der beiden untersuchten Kollektive Rheuma (R) und Neuro (N). m = männlich, w = weiblich.

Rheumatologische Krankheitsbilder (n = 56)	Neurologische Krankheitsbilder (n = 32)
Degenerativ vertebrale Syndrome (57.1%)	Ischämische Hirninfarkte (28.1%)
Entzündlich/immunologische Prozesse (8.9%)	Intrazerebrale Blutungen (25.0%)
Fehlbildungen/statische Störungen (5.3%)	Schädelhirntraumen (18.8%)
Traumen (Berstungsfrakturen Listhesen) (7.1%)	Distorsionstraumen (15.6%)
PHS, Gon-/Coxarthrose (12.5%)	Vegetative Symptomatik (12.5%)
Andere (8.9%)	

Tabelle 2: Aufschlüsselung der Krankheitsbilder der beiden Kollektive in relative Häufigkeiten.

in einem stabilen kardiovaskulären Gesundheitszustand befinden, d.h. unter anderem keine die Herz-Kreislauffunktion beeinflussende Medikamente nehmen, und auch sonst keine der üblichen Ausschlusskriterien aufweisen.

Testdurchführung

Die fahrradspiroergometrischen Untersuchungen fanden in den Jahren 2004–2006 statt und wurden von zwei in der Belastungsuntersuchung erfahrenen Sportwissenschaftlern nach dem leistungsphysiologischen Konzept von Wasserman et al. (1999) durchgeführt. Den Richtlinien entsprechend wurden die Arbeitsbelastungen nach einer Rampenfunktion durchgeführt. Begonnen wurde mit unbelastetem Pedalen, dann wurde die Belastung (Inkrement 10–25 W) kontinuierlich so erhöht, dass es bis zur Ausbelastung 8–12 min dauerte. HF, Blutdruck sowie die Atemgase O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> (K4b2, Cosmed, Rom, Italien; Atemzug-für-Atemzug-Verfahren) wurden fortlaufend gemessen und die Patienten mit einem EKG überwacht (Ades, 1992; Balady and Chaitman, 1998).

Datenerhebung

Mit der ventilatorischen Methode wurde die anaerobe Schwelle (ANS) im Leistungstest bestimmt. ANS wurde nach folgenden Kriterien festgelegt:  
 – überlinearer Anstieg von V<sub>E</sub> und VCO<sub>2</sub>  
 – Abfall des endexpiratorischen pCO<sub>2</sub>.

Aufgrund der respiratorisch ermittelten ANS wurde eine gesundheitlich ausgerichtete Intensitätsgestaltung bei 75–85% der HF an der ANS bestimmt. Zu beachten ist, dass der Intensitätsbezug für andere Bestimmungsgrößen, wie für HFmax, davon verschieden ist. Tab. 3 gibt eine Übersicht über die unterschiedlichen Trainingsbereiche.

Statistik

Die Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichungen, sowie als Spannweite und Perzentile 25 und 75 präsentiert. Die Höhe des Zusammenhangs zwischen der theoretischen alterskorrigierten und der tatsächlichen HFmax wurde mit dem Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten r nach Pearson bestimmt.

Bereich	HF-IANS	HFmax	210 – LA	180 – LA	170 – 0.5LA
KO	65–75%	55–65%	55–65%		
GA	75–85%	65–75%	65–75%	180 – LA	170 – 0.5LA
EB	85–95%	75–85%	75–85%		

KO: Regenerations- und Kompensationstraining  
 GA: Grundlagenausdauertraining, extensiv  
 EB: Entwicklungsbereich, intensiv

Tabelle 3: Übersicht über die Einteilung von Trainingsbereichen (KO, GA, EB) von verschiedenen Bezugspunkten aus (HF-IANS = individuelle ANS, HFmax = tatsächliche HFmax, 210 – LA = alterskorrigierte, theoretische HFmax, 180 – LA und 170 – 0.5LA = Richtwerte für Trainingsempfehlungen).

Für die Vergleiche der mit verschiedenen Methoden berechneten HF wird als Schätzer die relative Häufigkeit herangezogen, mit der eine abweichende Vorhersage der HF eintritt. Abweichungen für die Vorhersage der Trainings-HF vom Referenzverfahren werden bei einer Differenz von > 5 Schläge/min notiert. Das Vorgehen ist praxisrelevant, da jede einzelne Messwertabweichung bei den Methodenvergleichen zunächst analysiert und kumulativ erfasst wird (relative Summenhäufigkeit). Zu diesem Schätzwert wird das 95%-Konfidenzintervall für die Grundwahrscheinlichkeit einer Binomialverteilung (F-Verteilung) bestimmt. Sofern das Konfidenzintervall über einer zuvor festgelegten Grenze von 15% liegt – Abweichungen treten in mehr als 15% der Fälle auf – wird das jeweilige Bestimmungsverfahren zur Festlegung der Trainings-HF als ungenau bewertet.

Resultate

Die in Tab. 4 dargestellten Resultate weisen darauf hin, dass die Probanden kardiopulmonal nicht ausbelastet waren: Atemfrequenzen und -minutenvolumina betragen nur 60 bis 70% ihres veranschlagten Maximums. Rückschlüsse in dieser Hinsicht lässt auch %VO<sub>2</sub>max (83.3 ± 9.8%/76.8 ± 7.4%) an der anaeroben Schwelle zu, das eher hoch ist. Für den respiratorischen Quotienten, das Atemäquivalent für O<sub>2</sub> und den CO<sub>2</sub>-Partialdruck liegen an der ANS Normalwerte vor (Tab. 4). Die Durchschnittswerte der untersuchten Populationen sind vergleichbar und unterscheiden sich nicht in ihren Leistungskennwerten (p > 0.05).

Die Formel 210 – Lebensalter ist in Abb. 1 als durchgezogene Linie erkenntlich. Die im Streudiagramm einzeln dargestellten Datenpunkte entsprechen den individuell ermittelten HFmax. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass in der Rheumapopulation eine signifikante Korrelation HFmax und Alter besteht, wobei aber nur 66% des Zusammenhangs erklärt sind. Dieser Zusammenhang fehlt bei der neurologischen Klientel.

In Abb. 2 findet man relative Häufigkeiten für die Methodenvergleiche und entsprechende Konfidenzintervalle. Die durchgezogene Linie markiert die Schwelle unterhalb der die Untersucher bereit sind, Fehleinschätzungen des Belastungsbereiches zu akzeptieren. Schätzwert und Konfidenzintervall mit einer Fehlerbreite unter 0.15 liefern dann für den zugrunde liegenden HF-Richtwert dasselbe Ergebnis wie die respiratorische Referenzmethode. Höhere Werte bedeuten eine inadäquate Trainingsempfehlung. Die Abb. 2 lässt erkennen, dass einzig die Formel 70% HFmax bei der Gruppe Rheuma den festgelegten Grenzwert 0.15 unterschreitet, oder mit anderen Worten: Die Ableitung 70% HFmax zeigt die grösste Übereinstimmung mit den individuell mittels Fahrradergometrie bestimmten HF.

Diskussion

Nach den physiologischen Grundlagen von Wassermann et al. (1999) entspricht der spiroergometrisch bestimmte Punkt einem physiologischen Breakpoint und stimmt mit der Laktatkonzentration ermittelten ANS gut überein (Dickhuth et al., 1999; Hespel

	Kollektiv Rheuma n = 56 (36 m, 20 w)						Kollektiv Neuro; n = 32 (25 m, 7 w)					
	MW	±SA	Min	Max	P25	P75	MW	±SA	Min	Max	P25	P75
Pmax (W)	177.1	57.2	60.0	330.0	138.8	200.0	179.8	24.7	155.0	190.0	132.5	217.5
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	28.3	8.7	13.3	44.9	22.5	35.2	30.0	4.8	23.4	30.3	24.6	35.9
HFmax (Schläge/min)	156.6	21.3	112.0	197.0	140.8	173.3	161.8	22.6	141.0	173.0	145.5	177.5
HF-ANS (%)	88.3	5.0	76.2	100.0	85.1	91.6	87.4	2.7	88.7	92.5	84.8	91.8
RQmax	1.2	0.1	0.9	1.6	1.1	1.2	1.1	0.2	1.1	1.4	1.1	1.2
RQ ANS	1.0	0.1	0.9	1.2	1.0	1.1	1.0	0.1	1.0	1.1	1.0	1.1
V <sub>E</sub> max (%)	61.7	18.6	24.2	139.0	50.0	72.3	60.7	5.0	67.9	75.0	48.9	69.4
AFmax (%)	72.0	13.7	42.3	99.0	62.8	83.4	72.3	11.0	71.0	86.5	58.5	86.4
P <sub>et</sub> CO <sub>2</sub> -ANS	45.7	17.4	29.0	97.0	37.0	44.5	41.3	3.5	34.0	39.0	38.0	42.0
P <sub>et</sub> O <sub>2</sub> -ANS	86.6	18.1	35.0	108.0	87.0	96.0	91.3	4.9	96.0	103.0	90.0	95.0
V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub> -ANS	29.5	5.6	19.0	52.0	26.0	32.8	29.6	9.2	30.0	43.0	27.0	31.5
V <sub>E</sub> /VCO <sub>2</sub> -ANS	28.6	4.0	20.0	40.0	26.0	30.0	28.7	2.8	29.0	33.0	27.0	30.0

Pmax = Maximalleistung; VO<sub>2</sub>max = maximale Sauerstoffaufnahme; HFmax = maximale Herzfrequenz; HF-ANS% = Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle (ANS) in % HFmax; RQmax = respiratorischer Quotient bei Pmax; RQ ANS = respiratorischer Quotient bei ANS; V<sub>E</sub>max = Atemminutenvolumen bei Pmax; AFmax = Atmungsfrequenz bei Pmax; P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub>-ANS = endexpiratorischer CO<sub>2</sub>-Partialdruck bei ANS; P<sub>et</sub>O<sub>2</sub>-ANS = endexpiratorischer O<sub>2</sub>-Partialdruck bei ANS; V<sub>E</sub>/VO<sub>2</sub>-ANS = O<sub>2</sub>-Atmungsäquivalent bei ANS; V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub>-ANS = CO<sub>2</sub>-Atmungsäquivalent bei ANS

Tabelle 4: Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SA), Minimal-/Maximalwerte (Min/Max) und Perzentile (P25/75) leistungsdiagnostischer und respiratorischer Daten der beiden untersuchten Kollektive.

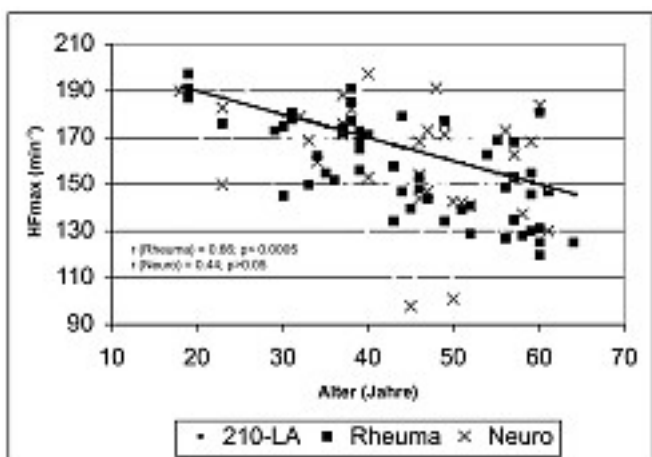


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Lebensalter und maximaler Herzfrequenz (HFmax). Die durchgezogene Linie kennzeichnet die Beziehung 210 – Lebensalter (210 – LA). Die Messpunkte sind die beim Belastungstest tatsächlich erreichten HFmax.

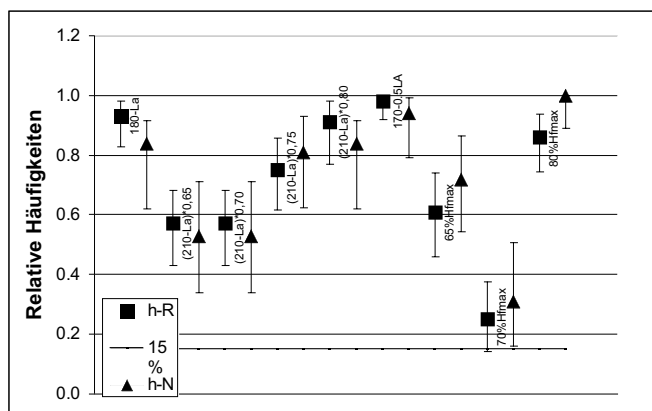


Abbildung 2: Relative Häufigkeiten von verschiedenen Trainings-HF-Bestimmungsmethoden mit 95%-Konfidenzintervallen. Bis zur durchgezogenen Linie bei 0.15 (= 15% Abweichungen) liegt die akzeptable Fehlerbreite; darüberliegende Werte liegen nicht mehr im Überdeckungsbereich und führen zu falschen Trainingsbelastungen.

et al., 2004; Kindermann, 2004; Röcker et al., 1998; Yano, 1997). Von ANS ausgehend wurde für das Training ein Bereich von 75 bis 85% HF bestimmt. Dies soll wie folgt begründet werden: Die HF eignet sich nach Dickhuth et al. (1999) grundsätzlich als Trainingsvorgabe unterhalb der ANS, da die HF-Leistungsbeziehung zwischen der aeroben und anaeroben Schwelle linear verläuft. Damit wird die Arbeitsmuskulatur ausreichend mit O<sub>2</sub> versorgt. Die Steuergrösse 75–85% der Schwellenintensität ist trainingsmethodisch im Bereich der Ausdauerfähigkeiten dem Grundlagentraining einzuordnen und kennzeichnet einen stabilen aeroben Energiestoffwechsel, respektive eine Anpassung des aeroben Energiestoffwechsels an höhere Belastungen mit einem hohen Anteil an der Fettsäureoxidation. Niedrigere Belastungen (< 75% HF ANS) gehen zu Lasten der Herz-Kreislaufwirksamkeit, während höhere Intensitäten (> 85% HF ANS) gesundheitliche Funktionsanpassungen in den Organsystemen negativ beeinflussen können. Ein Training intensiver Prägung kann sich auch ungünstig auf die Bindung an einen gesundheitsorientierten Ausdauersport auswirken (mehr Drop-outs; Weitzel, 1999).

Die zentrale Frage, die uns beschäftigte, war es festzustellen, ob die Festlegung der Trainings-HF über die Ableitung der alterskorrigierten HFmax bzw. bei Zugrundeliegen der tatsächlichen HFmax ein ähnliches Resultat liefert wie die individuell festgelegte Trainings-HF. Zunächst gilt festzuhalten, dass die untersuchten Personen die fahrradergometrische Belastung zur Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit fast immer vorzeitig abbrechen mussten, dies wegen schweren Beinen, Schwindel, Kopfschmerzen, Unwohlsein oder wegen Unlust, sich ganz auszugeben. So gesehen verwundert es nicht, dass die Abweichungen der individuell im Test erreichten HFmax von den alterskorrigierten Durchschnitts- und Richtwerten (210 – LA) gross sind: Der Variationskoeffizient von 13.6 bzw. 14.0% HFmax weist dabei auf eine grosse intraindividuelle Schwankungsbreite hin. Aus Erfahrung wird für die mit Formeln geschätzte HFmax ein Streubereich von 10–15 Schlägen/min als normal betrachtet (Howley und Don Franks, 1992; Neumann et al., 2000, 2001; Mc Ardle, 1996). 10% Abweichungen vom realen Wert sind es nach Israel (1982). Bei 44.6 bzw. 43.8% unserer Untersuchungspersonen lagen die Grenzen ausserhalb von 15 Schlägen/min.

Die Betrachtung des Korrelationskoeffizienten zeigt für die Gruppe Rheuma einen mässigen und für Neuropatienten einen schwachen Zusammenhang zwischen Lebensalter und der im Test erreichten HFmax. Eine geringe Übereinstimmung (r = 0.53) zwischen Lebensalter und HFmax fand auch Hottenrott (2006) bei 1539 Läufern und Triathleten im Alter von 18–72 Jahren. Fazit:

Die im Test erreichten HFmax weichen stark von denen des Bevölkerungsdurchschnitts ab; sie unterliegen starken Schwankungen, wodurch sich auch erhebliche Differenzen in der Vorhersage der Trainings-HF ergeben, wenn sich diese auf aus Formeln geschätzte HFmax beziehen. Folglich sind die Vorhersagemodelle unzuverlässige Schätzer für eine angemessene Ausdauertrainingsintensität im leistungssportlichen wie auch im rehabilitativen Anwendungsfeld.

Beim Vergleich der Intensitätsfestlegung für das Ausdauertraining unter Berücksichtigung genauer Verfahren mit demjenigen auf der Grundlage einfacher Formeln zeigen sich ebenfalls grosse Abweichungen: Die Fehlerquote für formelhafte Bestimmungen der Trainings-HF liegt in allen Fällen über 15%, mit Ausnahme von 70%HFmax: Hier liegt die untere Intervallgrenze im zuvor als akzeptabel veranschlagten Fehlerbereich von 15%. Bei Kenntnis der tatsächlichen HFmax wird eine hohe Übereinstimmung der Vorgaben für die HF-Regulierung auch an einem  $r = 0.9$  erkennbar.

Es versteht sich von selbst, dass bei einer Ausbelastung die physiologischen Leistungsreserven mobilisiert werden sollten, was in der Rehabilitation aus Gründen der Compliance, des Trainingsstatus und der Erkrankung problematisch sein kann. Bei einer Belastungsuntersuchung (Bestimmung von ANS), die submaximale respiratorische Parameter für die Auswertung heranzieht, ist hingegen keine Notwendigkeit einer Ausbelastung gegeben.

Abschliessend noch ein Rechenbeispiel zur Illustration, warum pauschale Schätzwerte für ein optimal angepasstes HF-gesteuertes Training oft nur eine ungefähre Orientierungsgrösse vermitteln können. Angenommen eine 40-jährige Person aus der Neuropopulation hat eine gemessene HFmax von 150 Schlägen/min. Damit liegt sie um 20 Schläge/min tiefer als der Populationsmittelwert, aber noch innerhalb der doppelten Standardabweichung von 10 Schlägen/min (Streubereich für HFmax:  $210 - 40 \pm 20 = 150 - 190$  Schläge/min) und ist für Gleichaltrige im 95%-Intervall enthalten. Beim Zugrundelegen von 65–75% der geschätzten alterskorrigierten HFmax würde die Person in einem HF-Bereich zwischen 111 (65% HFmax) und 128 Schlägen/min (75% HFmax) trainieren. Mit dieser Vorgabe führte die Trainings-HF zu einer Überschätzung der als angemessen erachteten Belastung, da sich für die tatsächliche HFmax von 150 Schlägen/min ein idealer Intensitätsbereich von 98–113 ergibt. Wie sich in den untersuchten Populationen gezeigt hat, beschränken sich HF-Abweichungen vom Populationsmittelwert aber nicht nur auf Einzelfälle, sondern sind eher die Regel als die Ausnahme. Da die Intensität darüber entscheidet, welcher Stoffwechselweg überwiegt, ist der aufgezeigte Zusammenhang nicht ohne Bedeutung.

## Schlussfolgerung

Aus der Untersuchung geht hervor, dass viele neurologische respektive rheumatologische Patienten in einem falschen Bereich trainieren, wenn man die Trainings-HF mit alterskorrigierten Formeln bestimmt ( $65 - 76\% * (210 - LA)$ ). Beim Benutzen der Formeln  $180 - LA$  bzw.  $170 - 0.5LA$  werden nahezu alle Patienten überschätzt und überfordert. Den besten Anhaltspunkt gibt die Formel 70% HFmax, wenn HFmax tatsächlich gemessen wurde.

## Dank

Wir danken Urs Boutellier für die Durchsicht und die Hilfe bei der Bearbeitung des Manuskripts.

Korrespondenzadresse:

Dr. Matthias Fenzl, Klinik Valens, 7317 Valens, Tel. 081 303 11 11, m.fenzl@klinik-valens.ch

## Literaturverzeichnis

- Ades P. (1992): Prevention of sudden death. *Physician Sportsmed.* 20: 75–89.
- Balady G., Chaitman B. (1998): Recommendations for cardiovascular screening. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 1009–1018.
- Dickhuth H., Yin L., Niess A., Röcker K., Mayer F., Heitkamp H.C. (1999): Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int. J. Sports Med.* 20: 122–127.
- Hespeel P., VanSchuylenbergh R., VandenEynde B. (2004): Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. *Int. J. Sports Med.* 25: 403–408.
- Hottenrott K. (2006): Trainingskontrolle. Meyer&Meyer, Aachen.
- Howley E., Don Franks B. (1992): Health fitness. Human Kinetics Books, Illinois.
- Israel S. (1982): Sport und Herzschlagfrequenz. Barth Verlag, Leipzig.
- Kindermann W. (2004): Anaerobe Schwelle. *Dt. Zschr. Sportmed.* 55: 161–162.
- Koltyn K., Garvin A., Gadinier R., Nelson T. (1996): Perception of pain following aerobic exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 1418–1421.
- Matheson L., Lgett S., Mooney V., Schneider K., Mayer J. (2002): The contribution of aerobic fitness and back strength to lift capacity. *Spine* 27: 1208–1212.
- McArdle W., Katch F., Katch V. (1996): Exercise Physiology. Williams and Wilkins, Munich.
- Neumann G., Pfützner A., Berball A. (2001): Optimierte Ausdauertraining. Meyer&Meyer, Aachen.
- Neumann G., Pfützner A., Hottenrott K. (2000): Alles unter Kontrolle. Meyer&Meyer, Aachen.
- Röcker K., Niess A., Horstmann T., Dickhuth H. (1998): Der kumulative «CO<sub>2</sub> excess» entspricht dem Anstieg der Laktatkonzentration. In: Sportartspezifische Leistungsdiagnostik – energetische Aspekte, Jeschke D., Lorenz R. (Hrs), Wissenschaftliche Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Sport und Buch Strauss, Köln, S. 125–132.
- Wasserman K., Hansen J., Sue D., Casaburi R., Whipp B. (1999): Principles of exercise testing and interpretation. Williams and Wilkins, Philadelphia.
- Weitl M. (1999): Möglichkeiten und Grenzen subjektiver Belastungssteuerung im gesundheitsorientierten Ausdauersport. Schriften zur Sportwissenschaft 16, Kovac, Hamburg.
- Wydra G., in Bös K. (2001): Handbuch motorische Tests. Hogrefe, Bern.
- Yano T. (1997): Physiological model of CO<sub>2</sub> output during incremental test. *Ergonomics* 40: 522–530.