

K. Hottenrott, G. Neumann

Institut für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

# Geschlechtsspezifische Formel für optimale Trainingsherzfrequenzen

## Zusammenfassung

Untersucht wurde, ob Geschlechtsunterschiede bei submaximaler und maximaler Herzfrequenz (HF) in Bezug zu einer definierten Laktatkonzentration bei einem Feldstufentest bestehen. Gut trainierte Läuferinnen (n=38; Alter:  $40.7 \pm 4.3$  Jahre) und Läufer (n=53; Alter:  $41.9 \pm 4.9$  Jahre) wurden im Abstand von 12 Wochen bei der Vorbereitung auf einen Marathonlauf mit einem 4–5 x 1.200 m Feldstufentest mit Laktat- und HF-Messung untersucht.  $HF_{max}$  war bei Läuferinnen und Läufern gleich hoch, während signifikante Geschlechtsunterschiede bei submaximalen HF festgestellt werden konnten. Die Läuferinnen hatten im Vergleich zu Läufern eine signifikant höhere submaximale HF von  $10 \text{ min}^{-1}$  bei der 2 mmol  $\text{l}^{-1}$  und  $7 \text{ min}^{-1}$  bei der 4 mmol  $\text{l}^{-1}$  Laktatkonzentration. Für das Ausdauertraining benötigen Läuferinnen und Läufer, falls eine vergleichbare Stoffwechsellage im Training angestrebt wird, unterschiedliche Vorgaben in der Höhe der aus  $HF_{max}$  abgeleiteten Trainings-HF. Als Hilfe für die Trainingspraxis kann eine aus den Daten erarbeitete neue Herzfrequenzformel dienen.

## Abstract

We examined in a field test whether gender differences exist at submaximal and maximal heart rate (HR) with regard to a defined lactate concentrations. Well-trained female (n=38; age:  $40.7 \pm 4.3$  years) and male (n=52; age:  $41.9 \pm 4.9$  years) runners were tested at baseline and after 12 weeks of endurance training, which should prepare them for a marathon. Lactate concentration and HR was measured in a field test of 4–5 x 1200 m endurance running. There were no differences in  $HR_{max}$ , while significant gender differences were found in submaximal HR. Female runners had a significantly higher submaximal HR (mean HR difference to male runners:  $10 \text{ min}^{-1}$  at 2 mmol/l and  $7 \text{ min}^{-1}$  at 4 mmol/l lactate concentration). Female and male runners need different training HR recommendations in order to train under similar metabolic conditions. Therefore, we recommend using our newly developed HR formula.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 60 (3), 102–105, 2012

## Einleitung

Zwischen Männern und Frauen bestehen morphologische und physiologische Unterschiede, die Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben. Frauen verfügen im Vergleich zu Männern über ein geringeres Blutvolumen, weniger Hämoglobinmasse und eine verminderte Sauerstofftransportkapazität (McArdle et al., 2001; Schumacher et al., 2002). Elite-Ausdauerathletinnen haben  $\sim 12 \text{ g kg}^{-1}$  und Athleten  $\sim 15 \text{ g kg}^{-1}$  Hämoglobin (Prommer & Schmidt, 2009). Die für die maximale Sauerstoffaufnahme entscheidende Messgröße – das Gesamthämoglobin – ist wahrscheinlich genetisch determiniert (Ziemer et al., 2010). Frauen haben im Vergleich zu Männern eine höhere Ruheherzfrequenz (HF) und eine kleinere Herzgröße. Da die Testosteronkonzentration im Blut bei Frauen 13–20 x niedriger ist als bei Männern, steht den Frauen weniger Muskelkraft zur Verfügung (Janssen et al., 2000).

Muskelbiopsische Vergleiche haben gezeigt, dass der Muskelfaserdurchmesser sowie die Muskelmasse der Frauen geringer ist als die der Männer (Högler et al., 2007). Während das oxidative und glykolytische Potenzial (Citratsynthetase bzw. Phosphoglyceratkinase) von Männern höher ist, weisen Frauen eine grössere Anzahl von intramuskulären Triglyzeriden auf (Tarnopolsky, 2008). Demnach ist bei Sportlerinnen während der Belastung ein grösserer Fettabbau und ein niedrigerer Proteinkatabolismus (Leucinoxidation) vorhanden (McKenzie et al., 2000; Nielsen et al., 2003; Steffensen et al., 2002; Venables et al., 2004). Frauen können ausserdem weniger Kohlenhydrate verstoffwechseln als Männer. Dies beruht auf dem höheren Östrogengehalt (Hamadeh et al., 2005).

Seit mehr als 50 Jahren haben Wissenschaftler das Verhalten der  $HF_{max}$  in Bezug auf das Lebensalter analysiert. Aus der Vielzahl der Arbeiten wird ersichtlich, dass  $HF_{max}$  in jedem Alter eine hohe Streuung aufweist (Robergs & Landwehr, 2002). Die regressionsanalytisch bestimmten Formeln zur Berechnung von  $HF_{max}$  unterscheiden sich in Abhängigkeit der untersuchten Population zum Teil erheblich. In keiner der angegebenen Regressionen bzw. Formeln ist die viel zitierte Formel  $HF_{max} = 220 - \text{Lebensalter}$  ausgewiesen. Durch Literaturrecherchen von Robergs & Landwehr (2002) ist zu erkennen, dass Fox et al. (1971) den Grundstein für die Verbreitung dieser Formel gelegt haben. Allerdings basieren die Angaben nicht auf einer Originaluntersuchung, sondern auf 35 Originalarbeiten zur  $HF_{max}$ . Die Analyse ergab, dass die Datenpunkte nicht weit entfernt von der Geraden  $220 - \text{Lebensalter}$  in Jahren liegen.

Eigene Untersuchungsdaten von 1600 trainierten Läufern, Duathleten und Triathleten (darunter 215 Frauen), bei denen  $HF_{max}$  im Laufstufentest (Inkrement  $1.5 \text{ km h}^{-1}$ ) oder einem maximalen Lauf über 2000 m bestimmt wurde, bestätigen die grosse Streuung der einzelnen  $HF_{max}$ -Werte zur Regressionsgeraden  $220 - \text{Lebensalter}$  (Hottenrott und Neumann, 2010; Abb. 1). Die aus den Daten der Abbildung 1 errechnete lineare Regression unterscheidet sich nur geringfügig von der Regression, die Tanaka et al. (2001) aus einer Metaanalyse abgeleitet haben (Abb. 2). Ein altersbezogener Unterschied zwischen Frauen und Männern konnte nicht gefunden werden.

Bei den bisher entwickelten Formeln zur Festlegung von Trainingsherzfrequenzen wurden geschlechtsspezifische Unterschiede in der Regulation der Belastungs-HF von Frauen und Männern

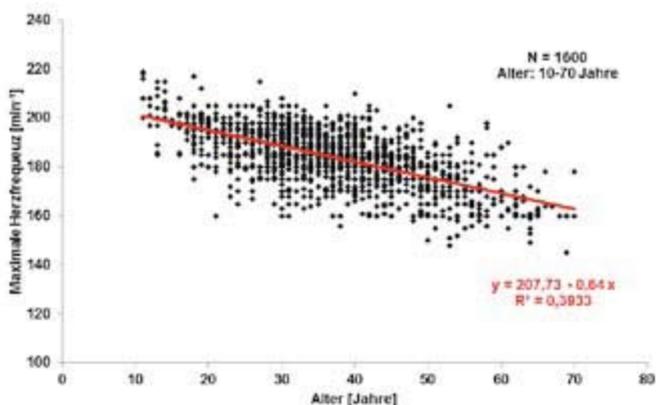


Abbildung 1: Maximale Herzfrequenz im Laufen in Bezug zum Lebensalter von 1600 Athleten (Hottenrott & Neumann, 2010).

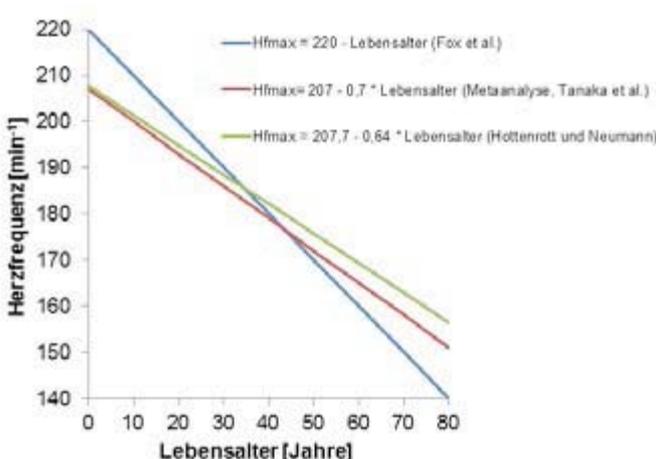


Abbildung 2: Regressionsgeraden zur Berechnung der maximalen Herzfrequenz (HF<sub>max</sub>) nach Angaben von Fox et al. (1971), nach einer Metaanalyse von Tanaka et al. (2001) und nach Daten von Hottenrott & Neumann (2010).

Autoren	Trainingsherzfrequenz
Karvonen et al. (1957)	(HF <sub>max</sub> - Ruhe-HF) x % Trainingsintensität + Ruhe HF
Mellerowicz (1975)	170 - Alter (gilt allgemein) 180 - Alter (gilt für biologisch jüngere, trainierte Sportler)
Hollmann (1963)	180 - Alter
Israel (1982)	170 - 1/2 Alter ± 10 min <sup>-1</sup>
Strauzenberg et al. (1990)	160 - Alter: Freizeitsport 180 - Alter: Grundlagenausdauertraining
Pollock et al. (1998)	Untrainiert: 60-70 % HF <sub>max</sub> Trainiert: 70-85 % HF <sub>max</sub>
Röcker et al. (2002)	207 - (Alter x 0,7)
Whyte et al. (2008)	202 - 0,55 x Alter (männliche Sportler) 216 - 1,09 x Alter (weibliche Sportler)
Gulati et al. (2010)	206 - (Alter x 0,88; weibliche Sportler)

Tabelle 1: Herzfrequenzformeln zur Berechnung der Trainingsherzfrequenz. HF<sub>max</sub>, maximale HF

nicht berücksichtigt (Tab. 1). Alle Formeln leiten die Trainings-HF aus einer altersabhängigen HF<sub>max</sub> ab. Zum Geschlechtsdimorphismus in der HF-Regulation Ausdauertrainierter liegen bisher keine Aussagen vor.

Ziel dieser Untersuchung war es, im Rahmen eines Vorbereitungs-

trainings auf einen Marathonlauf Veränderungen von HF<sub>max</sub> und laktatbezogene Belastungs-HF bei den Geschlechtern zu dokumentieren. Aus den vorliegenden Daten wurde eine geschlechts- und leistungsbezogene Formel zur HF-Regulation bei Belastung entwickelt. Die Unterschiede in der HF-Regulation wurden auf eine fixe Laktatkonzentration bezogen. In diesem Zusammenhang hatte die Bestimmung einer individuellen Laktatschwelle keinen Einfluss auf die Resultate.

### Material und Methoden

#### Versuchsplan

Untersucht wurden 38 Frauen und 53 Männer gleichen Alters (Tab. 2), jeweils vor der Aufnahme und nach Abschluss eines 12-wöchigen Trainings, das der Vorbereitung auf einen Marathon diente. Auf einer Leichtathletikbahn erfolgte ein 4-5 x 1.200 m Laktatstufentest für alle Sportler am gleichen Tag. Die Geschwindigkeitsvorgaben wurden alle 100 m gesteuert und nach jeder Belastungsstufe um 1.5 km h<sup>-1</sup> (0.42 m s<sup>-1</sup>) erhöht. Die Erfassung der HF erfolgte mit dem Polar-System (S810i, Kempele, Finnland). Unmittelbar nach jeder Belastungsstufe wurde die Laktatkonzentration aus 10 µl Ohrkapillarblut nach der enzymatisch-amperometrischen Messmethode (Dr. Müller - Super GL ambulance, Freital, Deutschland) bestimmt. Geschwindigkeit und HF wurden bei Laktatkonzentrationen von 2, 3, 4 und 5 mmol l<sup>-1</sup> mit WinLactat 2.5 (Mesics, Münster, Deutschland) analysiert. Anhand der leistungsdiagnostischen Ergebnisse wurden individuelle Trainingsbereiche

	Frauen (n=38)	Männer (n=53)	Signifikanz
Alter (Jahre)	40.7 ± 4.3	41.9 ± 4.9	P=0.39
Körpergröße (cm)	166.9 ± 5.4	178.9 ± 6.6	P<0.01
Körpergewicht (kg)	63.5 ± 6.3	78.3 ± 9.3	P<0.01
BMI (kg m <sup>-2</sup> )	22.8 ± 2.3	23.4 ± 2.4	P=0.17

Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Probanden. BMI, body mass index

ermittelt und ein Trainingsplan erstellt.

#### Statistische Methoden

Die statistische Analyse wurde mit SPSS Statistics 17.0 durchgeführt. Die deskriptive Darstellung der Ergebnisse (Mittelwerte, Standardabweichungen) erfolgte getrennt für Männer und Frauen. Die Daten wurden auf zeit- und geschlechtsbezogene Effekte geprüft. Zum Einsatz kam eine Varianzanalyse für Messwiederholungsdesigns mit Bonferroni post-hoc Test. Das Signifikanzniveau wurde auf p < 0.05 festgelegt.

### Resultate

Nach dem 3-monatigen Ausdauertraining verbesserte sich die Leistungsfähigkeit der Läuferinnen und Läufer hochsignifikant (Tab. 3). Im Test 2 kam es zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Geschwindigkeitskurve. Die maximale Geschwindigkeit im Stufentest und bei Laktat 2, 3, 4 und 5 mmol l<sup>-1</sup> waren nach der Trainingsintervention signifikant höher. Die HF der Läuferinnen war bei 2, 3, 4 und 5 mmol l<sup>-1</sup> Laktatkonzentration signifikant höher als jene der gleichaltrigen Sportler (Tab. 4). Mit zunehmender Laufgeschwindigkeit nahm die HF-Differenz zwischen den Geschlechtern ab. Im Test 1 betrug die HF-Differenz bei 2 mmol l<sup>-1</sup> Laktat 10.2 min<sup>-1</sup> (bzw. 7 %) und bei 5 mmol l<sup>-1</sup> Laktat 2.9 min<sup>-1</sup> (bzw. 2%; Abb. 3). HF<sub>max</sub> war bei Männern und Frauen zu beiden Testzeitpunkten gleich hoch und veränderte sich nicht durch das Training. Nach dem 12-wöchigen Ausdauertraining zeigte sich bei den Läuferinnen und Läufern bei gleicher Laktatkonzentration eine höhere Laufgeschwin-

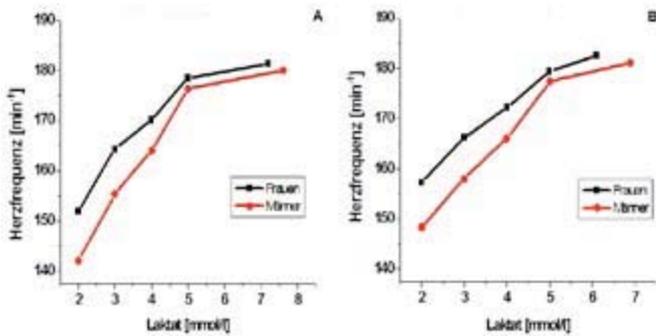


Abbildung 3: Herzfrequenz-Laktat-Kurven der 38 Läuferinnen und 53 Läufer beim Lauffeld-Stufentest vor (A) und nach (B) einem 3-monatigen Marathontraining. Die Unterschiede zwischen Frauen und Männern sind bei 2, 3, 4 und 5 mmol l<sup>-1</sup> Laktat signifikant.

Parameter	Test	Läuferinnen (n = 38)	Läufer (n = 53)
vLa2 (m s <sup>-1</sup> )	1	2.38 ± 0.68	2.64 ± 0.62 *
	2	2.67 ± 0.60	3.16 ± 0.45 *†
vLa3 (m s <sup>-1</sup> )	1	2.49 ± 0.51	3.02 ± 0.61 *
	2	2.81 ± 0.49	3.39 ± 0.46 *†
vLa4 (m s <sup>-1</sup> )	1	2.86 ± 0.60	3.31 ± 0.62 *
	2	3.01 ± 0.38	3.60 ± 0.44 *†
vLa5 (m s <sup>-1</sup> )	1	3.11 ± 0.41	3.59 ± 0.60 *
	2	3.27 ± 0.39	3.74 ± 0.52 *†
v <sub>max</sub> (m s <sup>-1</sup> )	1	3.26 ± 0.30	3.80 ± 0.50 *
	2	3.41 ± 0.30	3.95 ± 0.45 *†

Tabelle 3: Maximale Laufgeschwindigkeit (v<sub>max</sub>) und Laufgeschwindigkeit bei Laktatkonzentrationen von 2 (vLa2), 3 (vLa3), 4 (vLa4) und 5 (vLa5) mmol l<sup>-1</sup> im Vergleich von Test 1 und Test 2 bei Läuferinnen und Läufern nach einer 3-monatigen Marathonvorbereitung. \*: p<0.05 zwischen Läuferinnen und Läufern; †: p<0.05 zwischen Test 1 und Test 2.

Parameter	Test	Läuferinnen (n = 38)	Läufer (n = 53)
HF-La 2 (min <sup>-1</sup> )	1	151.9 ± 16.2	142.1 ± 17.4 **
	2	156.2 ± 16.1	148.3 ± 16.3 **†
HF-La 3 (min <sup>-1</sup> )	1	164.3 ± 14.1	155.3 ± 17.7 **
	2	167.2 ± 12.2	159.2 ± 14.3 **†
HF-La 4 (min <sup>-1</sup> )	1	169.1 ± 14.4	164.0 ± 15.0 **
	2	172.2 ± 9.3	165.4 ± 13.4 **
HF-La 5 (min <sup>-1</sup> )	1	177.1 ± 7.2	174.2 ± 9.7 *
	2	178.5 ± 6.7	175.3 ± 8.4 *
HF <sub>max</sub> (min <sup>-1</sup> )	1	181.4 ± 9.1	179.8 ± 10.4
	2	182.6 ± 9.7	181.2 ± 9.3

Tabelle 4: Maximale Herzfrequenz (HF<sub>max</sub>) und Herzfrequenz (HF) bei Laktatkonzentrationen (La) von 2, 3, 4 und 5 mmol l<sup>-1</sup> im Vergleich von Test 1 und Test 2 bei Läuferinnen und Läufern nach einer 3-monatigen Marathonvorbereitung. \*\*: p<0.01, \* p<0.05 zwischen Läuferinnen und Läufern; † p<0.05 zwischen Test 1 und Test 2.

digkeit (Tab. 3) bzw. eine Rechtsverschiebung der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve. Ferner war nach der Trainingsintervention die submaximale HF bei Laktatkonzentrationen < 4 mmol l<sup>-1</sup> signifikant erhöht (Abb. 3).

Die grössten geschlechterspezifischen Unterschiede in der HF-Regulation waren bei Laktatkonzentrationen von 2 bis 4 mmol/l in den ersten Geschwindigkeitsstufen beider Tests nachweisbar (Tab. 4). Bei höherer Laufgeschwindigkeit wurde der Unterschied in der HF kleiner und bei Erreichen der HF<sub>max</sub> waren zwischen den Geschlechtern keine signifikanten Differenzen mehr vorhanden.

Diese geschlechterspezifischen Unterschiede wurden in bisherigen HF-Formeln nicht berücksichtigt. Deshalb wurde von uns eine Korrektur für die prozentuale Berechnung der von HF<sub>max</sub> abgeleiteten Trainings-HF vorgenommen. Aus den Untersuchungsergebnissen und vorausgegangenen Studien (Hottenrott, 1993) wurde folgende HF-Formel für das Ausdauertraining hergeleitet:

$$THF = HF_{max} \times 0,7 \times LF_i \times TZ_i \times GF_i \times SP_i$$

THF: Trainings-Herzfrequenz; HF<sub>max</sub>: maximale Herzfrequenz; LF<sub>i</sub>: Leistungsfaktoren (i<sub>1</sub>=1.0 Einsteiger; i<sub>2</sub>=1.03 Fitnesssportler; i<sub>3</sub>=1.06 Leistungssportler); TZ<sub>i</sub>: Trainingszielfaktoren (i<sub>1</sub>=1.0 Grundlagenausdauer[GA]training 1; i<sub>2</sub>=1,1 GA 1-2-Training, i<sub>3</sub>=1,2 GA 2-Training); GF<sub>i</sub>: Geschlechtsfaktoren (Frauen: i<sub>1</sub>=1.10 niedrige; i<sub>2</sub>=1.06 mittlere; i<sub>3</sub>=1.03 hohe Intensität; Männer: i<sub>4</sub>=1.0); SP<sub>i</sub>: Sportartfaktoren (i<sub>1</sub>=1.0 Laufen).

### Diskussion

Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass für eine Belastungssteuerung mittels HF eine geschlechtsspezifische Korrektur sinnvoll erscheint. Aus der Sportmedizin und Trainingswissenschaft ist bekannt, dass ein effektives Ausdauertraining stets eine definierte Belastung in Trainingsbereichen erfordert (Dickhuth et al., 2010; Hottenrott & Neumann, 2010). Durch diese spezifischen Regulationsbereiche im Herz-Kreislauf-System oder dem Stoffwechsel kann das Training optimiert werden. Die Belastungssteuerung in Stoffwechselregulationsbereichen oder mit Abstufungen in der HF<sub>max</sub> ist besonders im Ausdauertraining von Bedeutung.

Da sich HF<sub>max</sub> durch Training verändern kann, wurden differenzierte geschlechtsspezifische Vorgaben eingeführt (Whyte et al., 2008). Auf weitere Einflüsse auf HF<sub>max</sub>, wie z.B. die maximale Sauerstoffaufnahme, machen Achten und Jeukendrup (2003) aufmerksam. Da sich im Leistungstraining HF<sub>max</sub> in kurzer Zeit um 3–7% verändern kann, empfiehlt Zavorsky (2000) eine Überprüfung im Abstand von 3–6 Wochen. Dadurch könnte die Belastungsintensität präziser gesteuert und ein Übertraining vermieden werden.

Nach der von uns vorgestellten Formel ergibt sich die Trainings-HF aus dem Produkt folgender 5 Faktoren: HF<sub>max</sub>, Leistungsfähigkeit, Trainingsziel, Geschlecht und Sportart. Mit dieser Formel wird nicht eine einzelne HF für das Training ermittelt, sondern es lassen sich 3 Trainingsbereiche berechnen, deren Bezeichnungen sich national und international und auch sportartbezogen unterscheiden. Im deutschsprachigen Raum wird in vielen Ausdauersportarten eine Differenzierung in Grundlagenausdauertraining (GA) 1, GA 1–2 und GA 2 vorgenommen. Die submaximale HF ist bei der Einhaltung der Trainingsbereiche eine bewährte biologische Hilfsgrösse, die von Sportart zu Sportart ein unterschiedliches individuelles Niveau aufweist. Ist HF<sub>max</sub> nicht mit einem sportartspezifischen Test bestimmbar, so ist ein Rückgriff auf die vorhandenen Regressionsformeln erforderlich.

Der von uns gewählte Leistungsfaktor (LF) berücksichtigt die Veränderung der HF in Abhängigkeit von der Ausdauerleistungsfähigkeit. Für Untrainierte wird ein Faktor 1.0 angenommen, für moderat Trainierte ein Faktor 1.03 und für Leistungssportler ein Faktor 1.06. Die Trainingszielfaktoren bestimmen die HF für die 3 Belastungsbereiche: GA 1 (1.0), GA 1–2 (1.1) und GA 2 (1.2).

Die Geschlechtsfaktoren (GF) tragen intensitätsabhängig zu ei-

ner geschlechtsspezifischen HF-Korrektur bei. Für Sportlerinnen wird bei aeroben Belastungen niedriger Intensität (GA 1) der Faktor 1.10 angenommen, bei mittlerer Belastungsintensität (GA 1–2) der Faktor 1.06 und bei hoher Intensität (GA 2) der Faktor 1.03. Für Sportler beträgt der Faktor 1.0, d. h. der Geschlechtsspezifische Faktor muss bei Sportlern bei der Berechnung der Trainings-HF nicht berücksichtigt werden.

Der Sportartenfaktor (SF) soll die Trainings-HF an die unterschiedlichen sportartspezifischen Anforderungen bezüglich des Herz-Kreislauf- und Stoffwechsel-Systems adaptieren. Der Faktor 1.0 gilt für die Sportart Laufen. Ein Vergleich von Radfahr- und Laufbelastungen bei Leistungstriathleten bei Laktat  $2 \text{ mmol l}^{-1}$  im 5-jährigen Längsschnitt ergab einen HF-Unterschied von  $17 \text{ min}^{-1}$  (Neumann und Lang, 2003). Die Sportartenfaktoren für Radfahren, Inline Skating, Skilanglauf, Nordic Walking werden noch durch aktuelle Untersuchungen von uns ermittelt. Prinzipiell sind die Sportfaktoren von der eingesetzten aktiven Muskelmasse abhängig, d.h. der Sportfaktor für Radfahren liegt unter 1.0 und für Skilanglauf über 1.0.

### Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigten, dass zur Berechnung der Trainings-HF Geschlechtsunterschiede mit Hilfe einer neuen Formel berücksichtigt werden sollten. Für die Belastungssteuerung des Ausdauertrainings, unter Einbezug der  $\text{HF}_{\text{max}}$ , empfehlen wir die Anwendung der vorgelegten Formel zur präzisen Berechnung der Trainings-HF. Weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu den Ursachen der geschlechtsspezifischen Abweichung der submaximalen HF erscheinen notwendig

### Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Kuno Hottenrott, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, An-Institut für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung, Weinbergweg 23, D-06120 Halle (Saale); E-Mail: kuno.hottenrott@sport.uni-halle.de; Tel. 0049 0345 552 4421

### Literaturverzeichnis

Achten J., Jeukendrup A.E. (2003): Heart rate monitoring applications and limitations. *Sports Med.* 33: 517–538.  
 Dickhuth H.-H., Mayer F., Röcker K., Berg A. (2010): Sportmedizin für Ärzte: Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention, Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.  
 Fox S.M., Naughton J.P., Haskell W.L. (1971): Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann. Clin. Res.* 3: 404–432.  
 Gulati M., Shaw L.J., Thisted R.A., Black H.R., Merz C.N., Arnsdorf M.F. (2010): Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women. *Circulation* 122: 130–137.  
 Hamadeh M.J., Devries M.C., Tarnopolsky M.A. (2005): Estrogen supplementation reduces whole body leucine and carbohydrate oxidation and increases lipid oxidation in men during endurance exercise. *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 90: 3592–3599.  
 Högler W., Blimkie C.J.R., Cowella C.T., Inglise D., Rauch F., Kemp A.F., Wiebec P., Duncan C.S., Farpour-Lambert N., Woodhead H.J. (2007): Sex-specific developmental changes in muscle size and bone geometry at

the femoral shaft. *Bone* 42: 982–989.  
 Hollmann W. (1963): Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Barth, München.  
 Hottenrott, K. (1993). Trainingssteuerung im Ausdauersport. Theorien – Untersuchungen – Beispiele. Czwalina, Ahrensburg.  
 Hottenrott K., Neumann G. (2010): Trainingswissenschaft. Ein Lehrbuch in 14 Lektionen. Meyer & Meyer, Aachen.  
 Israel S. (1982): Sport und Herzschlagfrequenz. Barth, Leipzig.  
 Janssen I., Heymsfield S.B., Wang Z., Ross R. (2000): Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J. Appl. Physiol.* 89: 81–88.  
 Karvonen M.J., Kentala K., Mustala O. (1957): The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann. Med. Exper. Biol.* 35: 307–315.  
 McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L. (2001): Exercise Physiology. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 5th edition.  
 McKenzie S., Phillips S.M., Carter S.L., Lowter S., Gibala M.J., Tarnopolsky M.A. (2000): Endurance exercise training attenuates leucine oxidation and BCOASD activation during exercise in humans. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metabol.* 278: 580–587.  
 Mellerowicz, H. (1975): Ergometrie. Urban & Schwarzenberg, München.  
 Neumann G., Lang M. (2002): Zur Quantifizierung der Anpassung an Triathlontraining. In: 16. und 17. Internationales Triathlon-Symposium, M. Engelhardt, B. Franz, G. Neumann, A. Pfützner (Hrsg.), Czwalina, Hamburg, S. 49–62.  
 Nielsen S., Guo Z., Albu J.B., Klein S., O'Brien P.C.O., Jensen M.D. (2003): Energy expenditure, sex, and endogenous fuel availability in humans. *J. Clin. Invest.* 111: 981–988.  
 Pollock M.L., Gaesser G.A., Butcher J.D., Després J.P., Dishman R.K., Franklin B.A., Garber C.E. (1998): The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 975–991.  
 Prommer N., Schmidt W. (2009): Hämoglobinmenge und Sport. *Dtsch. Z. Sportmed.* 60: 293–294.  
 Röcker K., Nies A.M., Horstmann T., Striegel H., Mayer F., Dickhuth H.-H. (2002): Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characteristics. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 881–887.  
 Robergs R.A., Landwehr R. (2002): The surprising history of the « $\text{HR}_{\text{max}}=220-\text{age}$ » equation. *J. Exerc. Physiol. online* 5 (2): 1–10.  
 Schumacher Y.O., Jankovits R., Bültmann D., Schmid A., Berg A. (2002): Hematological indices in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 12: 301–308.  
 Steffensen C.H., Roepstorff C., Madsen M., Kiens B. (2002): Myocellular triacylglycerol breakdown in females but not in males during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 278: 634–642.  
 Strauzenberg S.E., Gürtler H., Hanemann D., Tittel K. (1990): Sportmedizin. Barth, Leipzig.  
 Tanaka H., Monahan K.G., Seals D.S. (2001): Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.* 37: 153–156.  
 Tarnopolsky M.A. (2008): Sex differences in exercise metabolism and the role of 17-beta estradiol. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: 648–654.  
 Venables M.C., Achten J., Jeukendrup A.E. (2004): Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J. Appl. Physiol.* 98: 160–167.  
 Whyte G.P., George K., Shave R., Middleton N., Nevill A.M. (2008): Training induced changes in maximum heart rate. *Int. J. Sports Med.* 29: 129–133.  
 Zavorsky G.S. (2000): Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med.* 29: 13–26.  
 Ziemer D.C., Kolm P., Weintraub W.S., Vaccarino V., Rhee M.K., Twombly J.G., Venkat-Narayan K.M., Koch D.D., Phillips L.S. (2010): Glucose-Independent, black-white differences in hemoglobin A1c levels: a cross-sectional analysis of 2 studies. *Ann. Int. Med.* 152: 770–777.