

Marschall F¹, Kolb C¹, Wittstadt T¹, Meyer T²

Zum Verhältnis von metabolischer und kardialer Beanspruchung auf drei unterschiedlichen Ergometertypen: Fahrrad, Cross-Trainer und Stairmaster

Metabolic and cardiocirculatory strain on three different ergometer types: Cycling, Cross-Trainer and Stairmaster

¹ Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Saarbrücken

² Institut für Sport und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes, Saarbrücken

Zusammenfassung

Ziel der Studie war ein Vergleich der Beanspruchungen zwischen drei Ausdauertrainingsgeräten. Verwendet wurden ein Fahrradergometer Cyclus 2 (RBM elektronik-automation, Leipzig), ein Cross-Trainer 1 500 und ein Stairmaster 1 500 (beide Ergo-Fit, Pirmasens). Der Cross-Trainer ermöglicht eine dem Gehen ähnliche, der Stairmaster eine dem Treppen steigen ähnliche Bewegung. Bei 28 gesunden Probanden (20 M, 8 F) wurden Sauerstoffaufnahme (VO_2 ; MetaLyzor II, Cortex, Leipzig) und Herzfrequenz (HF) bei stufenförmig ansteigender Belastung (Fahrrad Ausgangsstufe 50/100 W, Stufenhöhe 25/50 W) erfasst. Die Belastungsstufen für Cross-Trainer und Stairmaster waren an den gerätespezifischen dimensionslosen Angaben orientiert. Vergleichskriterium für die kardiale Beanspruchung war die HF, die jeweils einer VO_2 entsprach, wie sie am Ende von 4 Belastungsstufen (100, 150, 200, 250 W) auf dem Fahrradergometer gemessen wurde (HF- VO_2 -Relation). VO_2 und HF standen auf beiden Geräten in einem linearen Zusammenhang, die im Display angezeigten physikalischen Leistungen jedoch in keinem (Cross-Trainer) bzw. einem nicht linearen (Stairmaster) Zusammenhang zur jeweils gemessenen VO_2 . Die HF lag im Vergleich zum Fahrradergometer bei gegebener VO_2 bei beiden anderen Trainingsgeräten durchweg niedriger ($\bar{x}=5,4 \text{ min}^{-1}$; $s=9,6$ Crosstrainer; $\bar{x}=6,9 \text{ min}^{-1}$; $s=8,7$ Stairmaster), ohne dass diese Unterschiede statistisch bedeutsam wurden. Über die Fahrradergometrie ermittelte Empfehlungen für die herzfrequenzbasierte Trainingssteuerung sind somit nur bedingt auf die Trainingsgeräte Cross-Trainer und Stairmaster übertragbar.

Schlüsselwörter: Trainingssteuerung, Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz, Cardiotraining

Einleitung

Das Ausdauertraining bildet in rehabilitativen Einrichtungen für Herz-Kreislauf-Patienten die Grundlage zur Wiederherstellung und Erhaltung der Leistungsfähigkeit. Auch der gesundheitsorientierte Freizeitsport hat neben einer Verbesserung der Kraftfähigkeiten die Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit und damit eine Verbesserung der Funktion des Herz-Kreislauf-Systems zum Ziel.

Neben den klassischen Ausdauersportarten Radfahren, Schwimmen, Walking und Jogging kommen gerade in Reha-

Summary

The aim of this investigation was to compare metabolic and cardiocirculatory stress during incremental testing between three different ergometer types. The cycle ergometer Cyclus 2 (RBM elektronik-automation) was compared with a Cross-Trainer 1 500 and a Stairmaster 1 500 (both Ergo-Fit). Twenty-eight healthy subjects (20 m, 8 f) were tested using a step-wise incremental test on each ergometer (stage duration: 3 min). For cycle ergometry, the initial stage was 50 or 100 W with an increment of 50 W. Intensities for Cross-Trainer and Stairmaster followed device-specific scales. Oxygen uptake (VO_2 ; MetaLyzor II, Cortex, Leipzig) and heart rate (HR) were determined at each stage. Cardiocirculatory stress (HR) was compared between ergometer types as related to given values of VO_2 which were defined with regard to the cycle ergometer stages (100, 150, 200, 250 W). The power output displayed on the Cross-Trainer as well as on the Stairmaster were not linearly related to VO_2 . HR of Cross-Trainer and Stairmaster for given VO_2 were always lower ($\bar{x}=5,4 \text{ min}^{-1}$; $s=9,6$ Crosstrainer; $\bar{x}=6,9 \text{ min}^{-1}$; $s=8,7$ Stairmaster) compared to the cycle ergometer. However, this difference did not reach significance. It can be concluded that for purposes of training prescription, the transferability of HR from cycle ergometer tests to Cross-Trainer or Stairmaster training is limited.

Key words: Training Control, Oxygen Uptake, Heart rate, Cardiotraining

zentren und Fitnessstudios die Geräte „Cross-Trainer“ und „Stairmaster“ als Alternative zum Einsatz. Der Cross-Trainer wird aufgrund des Antriebs als „Ellipsentrainer“ bezeichnet und ermöglicht durch die Nutzung von 2 Armhebeln einen dem Nordic Walking vergleichbaren Bewegungsablauf. Der Stairmaster besteht aus zwei voneinander unabhängigen vertikal beweglichen Fußpedalen, die eine dem Treppensteigen vergleichbare Bewegung zulassen. Beide Geräte sollen durch ihren jeweils speziellen Antrieb im Vergleich zu Gehbewegungen die Gelenkbelastungen reduzieren.

Die Trainingssteuerung auf Cross-Trainer und Stairmaster erfolgt, vom Hersteller empfohlen, auf der Grundlage eines

Ausdauerests auf dem Fahrrad. Steuergröße ist die HF, die in Relation zu definierten physikalischen Leistungen auf dem Fahrradergometer vorab ermittelt wird. Die direkte Übertragbarkeit der Herzfrequenzen würde allerdings voraussetzen, dass die erbrachten physikalischen Leistungen von Cross-Trainer und Stairmaster bekannt sind. In Vorversuchen wurde festgestellt, dass Veränderungen der dimensionslosen Belastungsstufen bei gegebener Bewegungsfrequenz (steps per minute, spm), trotz deutlicher Veränderung der HF zu keiner Veränderung der im Display des Cross-Trainers angezeigten Leistung in Watt führen. Die entsprechend angezeigten Veränderungen der Leistung beim Stairmaster erschienen ebenfalls wenig plausibel. Eine Nachfrage beim Hersteller ergab, dass die physikalischen Leistungen entgegen der Erwartung beim Cross-Trainer unbekannt sind und für den Stairmaster mit Hilfe von Formeln grob abgeschätzt werden. Analog der Berücksichtigung des Unterschieds der HF bei verschiedenen Belastungsformen (1, 2, 3, 5, 9, 10, 13, 14) wäre insofern zu prüfen, ob ein solcher Unterschied auch zwischen Radfahren einerseits und den Geräten Cross-Trainer und Stairmaster andererseits besteht.

Methoden

Versuchspersonen waren 20 gesunde Männer und 8 gesunde Frauen (27±6 Jahre, 178±8 cm, 74±14 kg, BMI 23±3). Die maximale Ausdauerleistung, ermittelt durch einen Fahrradstufentest (Belastungsprotokoll s. u.) lag bei 3,9 W/kg (Männer) bzw. 3,4 W/kg (Frauen). Als Ausbelastungskriterium wurde neben der subjektiven Erschöpfung das Erreichen einer HFmax kontrolliert (\bar{x} = 189 min⁻¹; s=8,4). Auf eine differenziertere Erfassung der subjektiven Beanspruchung unter Verwendung der RPE-Skala nach Borg wurde in dieser Studie verzichtet.

Da die Geräteeinstellungen von Cross-Trainer und Stairmaster gewichtsabhängig vorgenommen werden müssen, wurden die Probanden so ausgewählt, dass im Bereich von 50 kg bis 100 kg in Abstufungen von 5 kg-Schritten jeweils mindestens 2 Versuchspersonen zur Verfügung standen. Zu Beginn der Untersuchung absolvierten alle Probanden einen Stufentest bis zur Ausbelastung auf dem Fahrradergometer Cyclus 2 (Fa. RBM elektronik-automation, Leipzig). In Abhängigkeit vom Körpergewicht und Trainingszustand wurden bei konstanter Stufendauer von 3 Minuten unterschiedliche Ausgangsbelastungen (50 – 150 Watt) und unterschiedliche Stufenhöhen (25 oder 50 Watt) so gewählt, dass 4 Stufen absolviert werden konnten und die voraussichtliche Gesamtdauer eines Tests 15 Minuten nicht überschritt. Im Abstand von je einer Woche erfolgte in randomisierter Reihenfolge ein Stufentest auf dem Cross-Trainer und dem Stairmaster. Ausgangsstufe und Stufenhöhe wurden an den vorab auf Linearität geprüften, dimensionslosen Einheiten orientiert. Während sämtlicher Belastungen wurden kontinuierlich die HF und die VO₂ gemessen.

Ergometer

Die Genauigkeit der Kalibrierung des Fahrradergometers Cyclus 2 für die angezeigte Leistung liegt bei einem Variationskoeffizienten von 3 %. Die erbrachte Leistung ist drehzahlunabhängig. Bei den Fitnessgeräten Cross-Trainer und Stairmaster liegt die Kalibrationsgenauigkeit für den einstellbaren Bremswiderstand bei ±10 %. Die im Display beider Geräte angezeigte Leistung in W wird mit Hilfe von, vom Hersteller nicht näher spezifizierten, Formeln aus der Frequenz und dem Bremswiderstand berechnet. Der Bremswiderstand ist drehzahlabhängig und wurde in dieser Untersuchung bei einer Frequenz von 140 spm standardisiert. Vorversuche hatten gezeigt, dass bei dieser Frequenz auch hohe Belastungsstufen realisiert werden können.

Die Körperposition auf dem Stairmaster war aufrecht, die Arme wurden nur zur Erhaltung des Gleichgewichts eingesetzt und auf den Haltegriffen abgestützt. Das Bewegungsausmaß sollte die gesamte zur Verfügung stehende Schiene umfassen, ohne an der oberen oder unteren Begrenzung anzustoßen. Auf dem Cross-Trainer wurde ebenfalls eine aufrechte Körperposition eingenommen, die Hände sollten die Holme (Griffrohre) umschließen und nur passiv mitgeführt werden.

Spiroergometrie und Herzfrequenz

Die Spiroergometrie wurde mit einem Gerät der Firma Cortex Biophysik, Leipzig (MetaLyzer® II mit Metasoft®-Software) durchgeführt. Die Werte der VO₂ wurden als Indikatoren für die metabolische Beanspruchung erhoben (6). Die HF wurde mittels Pulstester (Typ Tempo, Fa. Polar Electro) erfasst. Sie diente als Indikator der kardialen Beanspruchung. Zur Ermittlung der kardialen Beanspruchung für eine gegebene metabolische Beanspruchung wurden getrennt für jedes der beiden untersuchten Trainingsgeräte die Korrelationen zwischen HF und VO₂ über alle Belastungsstufen errechnet. Auf der Grundlage einer Geradengleichung für alle HF-VO₂-Beziehungen war es möglich, für eine gegebene VO₂ die HF zu bestimmen.

Statistik

Das Untersuchungsdesign ist zweifaktoriell mit Messwiederholung auf beiden Faktoren Ergometertyp und Belastungsstufe. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm „SPSS for Windows“, Version 11.5.1 der Firma SPSS Inc.

Zur Prüfung der Zusammenhänge von VO₂ und HF und Belastungsstufen sowie von VO₂ und HF über die Belastungsstufen auf den Geräten Stairmaster und Cross-Trainer wurde der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach PEARSON herangezogen.

Vor einem Vergleich wurden für jedes Gerät die Funktion zwischen HF und VO₂ berechnet. Daraus wurden für gegebene VO₂-Werte die zugehörigen HF-Werte ermittelt, die in die varianzanalytische Analyse eingingen.

Die Prüfung der Unterschiede in der kardialen Beanspruchung zwischen den Geräten Cyclus 2, Stairmaster und Cross-Trainer erfolgte über eine Varianzanalyse und t-Tests für gepaarte Stichproben für die post-hoc Vergleiche auf den einzelnen Belastungsstufen.

Dazu wurden die Herzfrequenzen auf dem Cyclus 2 am Ende jeder Belastungsstufe mit den Herzfrequenzen auf dem Stairmaster und Cross-Trainer bei gleicher VO_2 verglichen. Folgendes Beispiel soll die Vorgehensweise verdeutlichen:

$$100 \text{ Watt}_{(\text{Rad})} \approx 1,8 \text{ l } VO_2 \approx HF_{\text{Rad}} \approx 135/\text{min}$$

$$1,8 \text{ l } VO_{2(\text{Stair/Cross})} \approx HF_{(\text{Stair/Cross})}?$$

Signifikanz wurde beim Erreichen eines α -Fehler-Niveaus von $p < 0,05$ angenommen.

Ergebnisse

Der Verlauf von VO_2 und HF bei den untersuchten Trainingsgeräten Cross-Trainer und Stairmaster ist bei stufenförmig ansteigender Belastung annähernd linear (vgl. Abb. 1 und 2). VO_2 und HF stehen in einem positiven linearen Zusammenhang ($r_{\text{Cross}} = 0,79$, $p < 0,001$; $r_{\text{Stair}} = 0,85$, $p < 0,001$). Die aus der Geradengleichung ermittelten HF-Werte bei gegebener VO_2 zeigen eine Varianzaufklärung von $r^2 = 0,63$ bzw. $r^2 = 0,72$ auf. Die Voraussetzung zur Ermittlung der kardialen Beanspruchung bei gegebener metabolischer Beanspruchung ist damit gegeben.

Zwischen den im Display angezeigten Leistungsangaben in W auf den beiden Trainingsgeräten Cross-Trainer und Stairmaster bestehen bei gleicher Sauerstoffaufnahme im Vergleich zum Fahrrad deutliche Unterschiede ($F_{(8;24)} = 326,2$; $p < 0,001$). Die post-hoc Paarvergleiche bei Cross-Trainer und Fahrrad wurden auf den Belastungsstufen 1-4 mit $p < 0,001$ signifikant. Beim Trainingsgerät Stairmaster

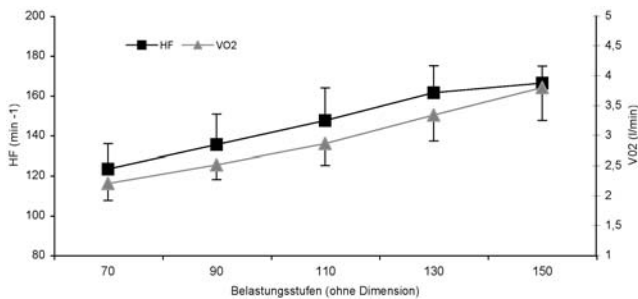


Abbildung 1: Verlauf von VO_2 und HF Cross-Trainer in Abhängigkeit von der Belastungsstufe; $r_{HF, VO_2} = 0,79$

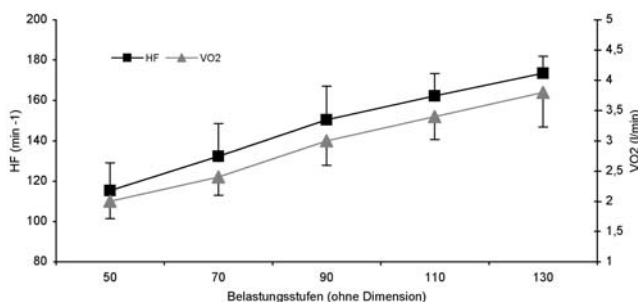


Abbildung 2: Verlauf von VO_2 und HF Stairmaster in Abhängigkeit von der Belastungsstufe; $r_{HF, VO_2} = 0,85$

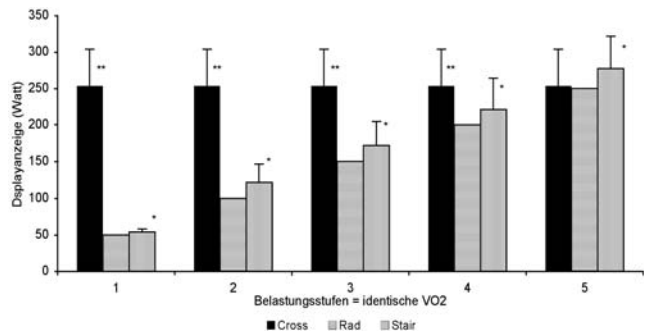


Abbildung 3: Displayanzeigen als physikalische Leistung in W auf den Trainingsgeräten Rad (Cyclus 2), Stairmaster und Cross-Trainer bei gleicher Sauerstoffaufnahme; die Anzeige des Fahrradergometers diente als Referenzgröße und enthält deshalb keine Streuung. (**) signifikante Unterschiede zwischen Cross-Trainer und Rad. (*) signifikante Unterschiede zwischen Stairmaster und Rad

steigen die angezeigten Leistungen im Verhältnis zu den dimensionslosen Belastungsstufen annähernd linear. Die angezeigte physikalische Leistung in W liegt dabei konstant aber unsystematisch über der beim Fahrrad angegebenen Leistung (vgl. Abb. 3). Die post-hoc Paarvergleiche zwischen Stairmaster und Fahrrad werden auf allen Belastungsstufen mit $p < 0,05$ durchgängig signifikant. Die Unterschiede der Belastungsstufen lassen sich für die beiden untersuchten Trainingsgeräte anhand der VO_2 -Differenzen abschätzen. Unter Verwendung der für die Fahrradergometrie etablierten Formel (11) liegen sie zwischen 30 und 50 W für je 20 Einheiten der dimensionslosen Belastungsstufen.

Die für eine gleiche VO_2 ermittelten Herzfrequenzen der Trainingsgeräte Cross-Trainer und Stairmaster sind nahezu identisch und liegen durchweg unter den Herzfrequenzen des Fahrradergometers (vgl. Abb. 4). Die auf den Belastungsstufen 100, 150, 200 und 250 W auf dem Fahrrad ermittelten VO_2 -Werte betragen im Mittel 1,82 l ($s = 0,11$), 2,43 l ($s = 0,18$), 3,09 l ($s = 0,27$) und 3,84 l ($s = 0,37$). Die für diese Werte ermittelte Differenz zwischen HF-Cross und HF-Stair zur HF-Fahrrad beträgt im Mittel $\bar{x} = 5,4 \text{ min}^{-1}$; $s = 9,6$ für den Crosstrainer; $\bar{x} = 6,9 \text{ min}^{-1}$; $s = 8,7$ für den Stairmaster. Die statistische Analyse zeigt, wenn auch nur knapp, weder für den Haupteffekt „Ergometertyp“ ($F_{(2)} = 4,603$; $p = 0,061$) noch die Interaktion „Ergometertyp“ x Belastungsstufe ($F_{(2;20)} = 2,612$; $p = 0,053$) bedeutsame Effekte.

Diskussion

Linearität

Es besteht offensichtlich ein linearer Zusammenhang zwischen den Parametern HF und VO_2 bei ansteigender Belastung für Cross-Trainer und Stairmaster. Somit ist davon auszugehen, dass bei einer gleichförmigen Steigerung der dimensionslosen Belastungsstufen auch die tatsächliche Belastung auf den beiden Geräten annähernd linear ansteigt.

Belastungsangaben des Geräteherstellers

Die im Display von Cross-Trainer und Stairmaster angezeigten physikalischen Leistungswerte sind für die Trai-

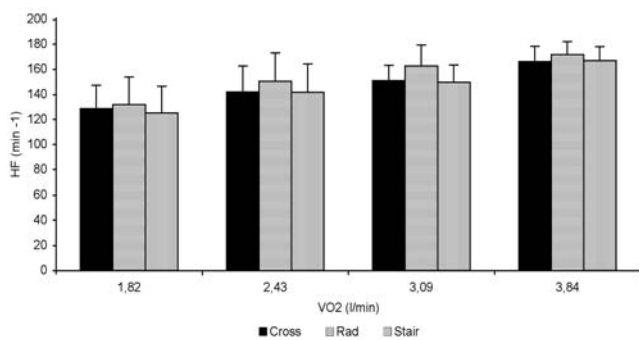


Abbildung 4: Herzfrequenzen auf den Trainingsgeräten Rad (Cyclus 2), Stairmaster und Cross-Trainer bei gleicher Sauerstoffaufnahme

ningssteuerung nicht verwendbar, da sie in keinem bzw. in einem unsystematischen Zusammenhang zur VO₂ stehen. Trotz ansteigender Belastung verändert sich der Wert der angezeigten physikalischen Leistung im Display des Cross-Trainers nicht. Beim Stairmaster liegen diese Werte oberhalb der beim Fahrrad angegebenen Werte. Aus diesem Grund ist eine an der physikalischen Leistung orientierte Trainingssteuerung nicht zulässig. Beim Cross-Trainer sollte aufgrund der gezeigten Verläufe auf eine Leistungsangabe in Watt völlig verzichtet werden.

Kardiale Beanspruchung

Die ermittelten unterschiedlichen Herzfrequenzen bei gegebener VO₂ machen deutlich, dass bei Cross-Trainer und Stairmaster im Vergleich zum Fahrrad für gegebene metabolische Beanspruchungen eine tendenziell niedrigere kardiale Beanspruchung vorliegt. Sie ist allerdings statistisch nicht bedeutsam und lässt auch aufgrund der absoluten mittleren Differenz ($\bar{x}=5,4 \text{ min}^{-1}$; $s=9,6$ Crosstrainer; $\bar{x}=6,9 \text{ min}^{-1}$; $s=8,7$ Stairmaster) auf eine eher geringe praktische Bedeutsamkeit schließen. Die beachtenswerte interindividuelle Variabilität lässt jedoch direkte Übertragungen zwischen den Geräten problematisch erscheinen. Für ein Ausdauertraining mit Cross-Trainer und Stairmaster ist zu berücksichtigen, dass bei einer aus der Fahrradergometrie abgeleiteten herzfrequenzorientierten Trainingssteuerung durchschnittlich mit geringfügig höheren muskulär-metabolischen Beanspruchungen zu rechnen ist und damit die Gefahr der peripheren Überlastung besteht. In Einzelfällen kann jedoch aus einer direkten Übertragung von Herzfrequenzen sogar eine zu niedrige und insofern insuffiziente Beanspruchung resultieren.

In den wenigen vergleichbaren Studien (3, 10, 13) werden HF-Differenzen bei gegebener VO₂ auf unterschiedliche hämodynamische Bedingungen zurückgeführt. Dies kann entweder durch Differenzen im venösen Rückfluss oder durch unterschiedliche periphere Sauerstoffausschöpfung (avDO₂) verursacht sein. Eine verbesserte avDO₂ würde bei gegebener VO₂ ein geringeres Herzzeitvolumen erforderlich machen, was niedrigere HF begründen könnte. Für die an dieser Untersuchung beteiligten Versuchspersonen war das Radfahren jedoch im Vergleich zu den Bewegungen auf Cross-Trainer und Stairmaster die gewohntere und damit vermutlich besser koordinierte und muskulär ökonomischere

Bewegung. Eine bessere periphere Sauerstoffausschöpfung als Erklärung für die niedrigere HF erscheint aus diesem Grund unwahrscheinlich. Es kommen deshalb insbesondere Faktoren in Betracht, die den venösen Rückfluss positiv beeinflussen (vgl. 14). Ein stärkerer venöser Rückfluss würde zu einer verbesserten diastolischen Füllung des Herzens führen, somit über den Frank-Starling-Mechanismus zu einer Erhöhung des Schlagvolumens. Zur Aufrechterhaltung eines durch die VO₂ „vorgegebenen“ Herzzeitvolumens wäre dann eine niedrigere HF ausreichend. Die offensichtlichste Ursache für einen unterschiedlichen venösen Rückstrom ist eine unterschiedliche Körperlage im Raum (10). Da eine solche Differenz in dieser Untersuchung nicht vorliegt, müssten zur Klärung der hämodynamischen Hintergründe invasive Untersuchungen oder eventuell der Einsatz der Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) erfolgen.

Methodische Aspekte, Limitationen der Studie

Bedingt durch den Abbruch bei einer submaximalen Belastung werden zwar die nominellen Werte der unterschiedlichen Herzfrequenzen zwischen dem Fahrradergometer sowie Stairmaster und Cross-Trainer vergleichbar, jedoch stehen keine Maximalwerte als Bezugspunkte für die Bestimmung der relativen Beanspruchungshöhe zur Verfügung. Die Ergebnisse zur HF lassen damit lediglich einen Vergleich der kardialen Beanspruchung bei submaximalen Belastungen zwischen Fahrradergometer einerseits sowie Stairmaster und Cross-Trainer andererseits zu. Eine verbesserte Charakterisierung der Beanspruchungssituation nach Kategorien wie „regenerativ“, „extensiv“ oder „intensiv“ war wegen fehlender Schwellenbestimmungen (aerobe und/oder anaerobe Schwelle) nicht möglich. Ein Untersuchungsdesign mit Laktatmessung bei Stair und Cross zur Bestimmung der anaeroben Schwelle hätte eher die Beurteilung der genannten Aspekte gestattet (3, 4, 12). Auch eine Bestimmung von spirometrischen Schwellen hätte eine Möglichkeit zur Angabe von unterschiedlichen Intensitätsstufen mit Hilfe der Sauerstoffaufnahme eröffnet (8). Der für die Durchführbarkeit entsprechender Stufentests zur notwendigen Bestimmung von Schwellen erforderliche Nachweis der Linearität der Belastungsstufen auf Cross-Trainer und Stairmaster lag allerdings zu dieser Untersuchung noch nicht vor. Jedoch deckt der untersuchte Wertebereich der VO₂ bis fast 4 l/min den größten Teil trainingsrelevanter Intensitäten ab.

Ausblick

Es obliegt zukünftigen Forschungsbemühungen, in Untersuchungen mit Bestimmung der anaeroben Schwelle Trainingsempfehlungen für die Praxis eines Ausdauertrainings auf Stair und Cross zu spezifizieren, die eine differenziertere Trainingssteuerung nach Belastungs- und Beanspruchungsparametern erlauben. Dazu stellt die vorliegende Untersuchung durch den Nachweis der Linearität der Belastungsstufen bei Cross-Trainer und Stairmaster, und durch die auf dem Vergleich der Herzfrequenzen bei gegebener VO₂ basierenden Aussagen zur spezifischen kardialen Beanspruchung, alle Grundlagen bereit.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Trainingssteuerung auf den Geräten Cross-Trainer und Stairmaster nicht über die physikalische Leistung erfolgen kann. Die kardiale Beanspruchung ist bei beiden genannten Geräten im Vergleich zum Fahrrad bei gleicher Sauerstoffaufnahme tendenziell niedriger. Eine Trainingssteuerung mit Hilfe der aus der Fahrradergometrie abgeleiteten Herzfrequenz erscheint grundsätzlich möglich. Die durchschnittliche HF-Differenz beträgt 5,5 bzw. 6,9 Schläge min^{-1} . Eine relevante interindividuelle Streuung ($s=9,4$ bzw. $8,7 \text{ min}^{-1}$) ist jedoch zu beachten. Die Effizienz eines auf dieser Grundlage durchgeführten Trainings wäre über weitere Untersuchungen zu prüfen.

Danksagung

In besonderem Maße danken wir der Firma Cortex Biophysik, Leipzig, für die Bereitstellung des Spiroergometrieerätens MetaLyzer® II und der Metasoft®-Software.

Unser Dank gilt auch der Firma Ergo-Fit GmbH & Co. KG, Pirmasens, für die Bereitstellung des Cross-Trainers.

Literatur

- Bernard T, Gavarry O, Bermon S, Giacomoni M, Marconnet P, Falgairette G: Relationships between oxygen consumption and heart rate in transitory and steady states of exercise and during recovery: influence of type of exercise. *Europ. J Appl Physiol Occup Physiol* 75 (1997) 170-176.
- Cunningham DA, Goode PB, Critz JB: Cardiorespiratory response to exercise on a rowing and bicycle ergometer. *Med Sci Sports* 7 (1975) 37-43.
- Hollmann H, Schürch P, Heck H, Liesen H, Mader A, Rost R, Hollmann W: Kardiopulmonale Reaktionen und aerob-anaerobe Schwelle bei verschiedenen Belastungsformen. *Dtsch Z Sportmed* 38 (1987) 144-156.
- Katch VL, Weltman A, Sady S, Freedson P: Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Europ J Appl Physiol* 39 (1978) 219-227.
- Martinez ML, Ibanez Santos J, Grijalba A, Santesteban MD, Gorostiaga EM: Physiological comparison of roller skating, treadmill running and ergometer cycling. *J Sports Med Phys Fitness* 38 (1993) 215-220.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL: *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. 5th ed. Philadelphia, Lippincott, Williams & Wilkins, 2001.
- Meyer T: Der respiratorische Quotient. *Dtsch Z Sportmed* 54 (2003) 29-30.
- Meyer T, Lucia A, Earnest CP, Kindermann W: A Conceptual Framework for Performance Diagnosis and Training Prescription from Submaximal Gas Exchange Parameters - Theory and Application. *Int J Sports Med* 26 (2005) S38-S48.
- Meyer T, Urhausen A, Kindermann W: Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung der dynamischen Streßchokardiographie bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit und bei Gesunden. *Zeitschrift für Kardiologie* 88 (1999) 473-480.
- Rost R, Reinke A, Bjarnason B: Vergleichende Ergometrie in liegender und sitzender Position. *Dtsch Z Sportmed* 38 (1987) 280-288.
- Swain DP: Energy Cost Calculations for Exercise Prescription - An Update. *Sports Medicine* 30 (2000) 17-22.
- Weltman A, Weltman J, Rutt R, Seip R, Levine D, Snead D, Kaiser D, Rogol A: Percentages of Maximal Heart Rate, Heart Rate Reserve and VO_2max for Determining Endurance Training Intensity in Sedentary Women. *Int J Sports Med* 10 (1989) 212-216.
- Yoshiga CC, Higuchi M: Heart rate is lower during ergometer rowing than during treadmill running. *Europ J Appl Physiol* 87 (2002) 97-100.
- Yoshiga CC, Higuchi M, Oka J: Lower heart rate response to ergometry rowing than to treadmill running in older men. *Clin Physiol Funct Imaging* 23 (2003) 58-61.

Korrespondenzadresse:
Dr. phil. Franz Marschall
Sportwissenschaftliches Institut
Universität des Saarlandes
66041 Saarbrücken
e-Mail: f.marschall@mx.uni-saarland.de