

Richtwerte für Herzfrequenz und Blutdruck bei 20, 40, 60 und 80 % der maximalen ergometrischen Referenzleistung unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Körpermasse bei untrainierten Personen

Barbara Strasser¹, Joachim Schwarz², Paul Haber³ und Wolfgang Schobersberger¹

¹Institut für Sportmedizin, Alpinmedizin und Gesundheitstourismus, UMIT – Private Universität für Gesundheitswissenschaften, medizinische Informatik und Technik, Hall i. T., Österreich

²Abteilung für Innere Medizin, Krankenhaus Wegscheid, Wegscheid, Deutschland

³Zentrum für medizinische Trainingstherapie, Wien, Österreich

Eingegangen am 01. März 2011, angenommen (nach Revision) am 19. Juli 2011, online veröffentlicht am 2. September 2011

Guide values for heart rate and blood pressure with reference to 20, 40, 60 und 80% of maximum exertion considering age, sex and body mass in non-trained individuals

Summary. Aim of this study was to evaluate reliable guide values for heart rate (HF) and blood pressure (RR) with reference to defined sub maximum exertion considering age, gender and body mass. One hundred and eighteen healthy but non-trained subjects (38 women, 80 men) were included in the study. For interpretation, finally facts of 28 women and 59 men were used. We found gender differences for HF and RR. Further, we noted significant correlations between HF and age as well as between RR and body mass at all exercise levels. We established formulas for gender-specific calculation of reliable guide values for HF and RR on sub maximum exercise levels.

Key words: Ergometry, heart rate, blood pressure, guide values

Zusammenfassung. Ziel dieser Querschnittsstudie war es, zuverlässige ergometrische Richtwerte für die Herzfrequenz (HF) und den systolischen Blutdruck (RR), bezogen auf definierte submaximale Belastungen unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Körpermasse bei untrainierten Personen zu erarbeiten. Im Rahmen eines betrieblichen Gesundheitsför-

derungsprojektes wurden 118 gesunde Personen (38 Frauen, 80 Männer), ohne besondere sportliche Aktivität in der Anamnese, in die Studie eingeschlossen. Statistisch ausgewertet wurden letztlich Daten von 28 Frauen und 59 Männern. Es finden sich sowohl für die HF als auch für den RR Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Frauen zeigen auf individuell vergleichbarer Belastung eine höhere HF, während Männer höhere RR Werte aufweisen. Die submaximale HF korreliert, unabhängig von Geschlecht und Körpermasse, negativ mit dem Alter. Es zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und dem systolischen RR auf allen Belastungsstufen. Mittels Regressionsanalyse erarbeiteten wir geschlechtsspezifische Formeln zur Berechnung von Richtwerten (mittleren Schätzwerten) für HF und RR im submaximalen Belastungsbereich.

Schlüsselwörter: Ergometrie, Herzfrequenz, Blutdruck, Richtwerte

Einleitung

Die symptomlimitierte Ergometrie ist eine der wichtigsten Funktionsuntersuchungen des Herz-Kreislauf-Systems. Ein zentraler Messparameter ist die maximale Leistung, gemessen als maximale Wattleistung (W_{max}). Diese maximale ergometrische Leistung ist auch im Normalfall von den Körpermaßen (Größe, Masse, Körperoberfläche), dem Geschlecht und dem Alter abhängig. Ein und dieselbe maximale Leistung, z. B. 120 Watt, ist daher als gut zu werten, wenn es sich um eine ältere kleine Frau handelt und als schlecht, wenn es sich um einen jungen großen Mann handelt.

Korrespondenz: Univ.-Doz. Dr. Barbara Strasser, MPH, MSC, Department für Medizinische Wissenschaften und Management, Institut für Sport-, Alpinmedizin und Gesundheitstourismus, Private Universität für Gesundheitswissenschaften, medizinische Informatik und Technik (UMIT), Eduard Wallnöfer-Zentrum 1,6060 Hall in Tirol, Österreich.
 Fax: ++43-50-8648-67380, E-Mail: barbara.strasser@umit.at

Es ist daher sinnvoll, die jeweils aktuelle Leistungsfähigkeit mit einem Referenzwert (Synonyme: Normalwert, Durchschnittswert, Sollwert) zu vergleichen, der aus den erwähnten deskriptiven Angaben zur Person abgeleitet wird. Die Bestimmung wird in den österreichischen Praxisleitlinien beschrieben [1]. Die tatsächliche Leistung wird dann in Prozent dieses Referenzwertes angegeben (LF%Ref). Neben der Leistungsfähigkeit sind der maximale Blutdruck, die maximale Herzfrequenz, das Belastungs-EKG und klinische Symptome, die die Belastung limitieren, von diagnostischem Interesse.

Eine diagnostische Bewertung von Herzfrequenz und Blutdruck auf submaximalen Belastungsstufen ist aufgrund fehlender Richtwerte bis dato nicht sicher möglich. Grundsätzlich steigen Herzfrequenz und systolischer Blutdruck proportional zur Leistung an. Aber auch hier gilt, dass die gleiche submaximale Belastung, z. B. 50 Watt, für eine kleine Frau eine relativ höhere Beanspruchung des kardiozirkulatorischen Systems darstellt als für einen großen Mann. Die Anstiegssteilheit wird aber noch zusätzlich durch verschiedene Faktoren beeinflusst, z. B. durch den Trainingszustand (das ist die Abweichung der persönlichen W_{\max} vom Referenzwert) oder auch durch Erkrankungen, z. B. die KHK, oder Therapien, z. B. Betablockade [2]. In der Regel sollen gerade diese Einflussfaktoren bewertet werden. Submaximale Standardbelastungen zur Ermittlung von Richtwerten für die Herzfrequenz und den systolischen Blutdruck sollten daher – wie auch die maximale Belastung – Geschlecht, Alter, Größe und Masse bzw. Körperoberfläche berücksichtigen, um den Einfluss der anthropometrischen Faktoren auszuschalten. Abweichungen von derartigen Richtwerten können dann auf den Einfluss von funktionellen oder klinischen Faktoren zurückgeführt werden. Das Ziel dieser Querschnittsstudie ist es, erste ergometrische Richtwerte (mittlere Schätzwerte) für die Herzfrequenz (HF) und den systolischen Blutdruck (RR) zu erarbeiten, die von definierten, individuell vergleichbaren submaximalen Belastungen, unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Körpermasse, bei untrainierten Personen abgeleitet werden.

Material und Methoden

Studienpopulation

Im Rahmen eines betrieblichen Gesundheitsförderungsprojektes wurden, unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien, 118 gesunde Personen (38 Frauen, 80 Männer), ohne besondere sport-

liche Aktivität, in die Studie eingeschlossen. Die Population war in Bezug auf körperliche Aktivität weitgehend homogen, da alle Studienteilnehmer mit Schreibtischarbeit in demselben Betrieb beschäftigt waren.

Einschlusskriterien

- Berufstätig
- LF%Ref <120 %
- Alter zwischen 20 und 60 Jahren

Ausschlusskriterien

- Arterielle Hypertonie (RR > 140/90)
- Regelmäßige Medikamenteneinnahme (z. B. Beta-Blocker, Antihypertensiva)
- Regelmäßige sportliche Aktivität (>1 Stunde pro Woche ein wesentlicher Einflussfaktor auf das Verhalten von HF und RR bei submaximalen Belastungen).

Untersuchungsinstrumente

a) Anamnese

- Basisdokumentation: Alter, Geschlecht, Vorerkrankungen, Medikation
- Anthropometrie: Körpergröße, Gewicht, Körperoberfläche nach *Du Bois* [3]
- Vitalparameter: Ruhe-EKG, RR-Mehrfachmessung im Liegen nach *Riva-Rocci*
- Trainingsanamnese: Fragebogen über die körperliche Aktivität der letzten 10 Wochen

b) Ergometrie

Für unsere Richtwertberechnung für die HF und den RR bei 20, 40, 60 und 80 % der individuellen maximalen ergometrischen Referenzleistung (W_{\max} Ref) wurde ein symptomlimitierter Stufentest mit 2 Minuten Belastungsdauer pro Stufe durchgeführt (Ergometrics900, Ergoline, Windhagen). Die Stufenhöhe wurde individuell errechnet, indem der Referenzwert für die maximale Leistung durch 5 dividiert und kaufmännisch gerundet wurde, sodass die Endziffer der Stufenhöhe -5 oder -0 war. Diese Vorgehensweise bietet folgende Vorteile:

- Jeder Test mit normaler Leistungsfähigkeit dauert 10 Minuten.
- Die Testdauer in Minuten mal 10 zeigt, wie viel Prozent der Referenzleistung gerade anliegen.
- Gleiche Prozentsätze des Referenzwertes stellen für jeden Probanden, unabhängig von Alter, Geschlecht und Körpermaßen, die gleiche Relativbelastung dar.

Nach Schreiben eines Ruhe-EKGs starteten die Probanden mit einer Grundbelastung von 20 Prozent

der ermittelten maximalen Referenzleistung. Alle zwei Minuten wurde die Belastung um 20 Prozent der Referenzleistung bis zur Ausbelastung erhöht. Ausbelastung wurde dann angenommen, wenn der/die Proband/in es nicht mehr schaffte, die Tretfrequenz über 60 Umdrehungen pro Minute einzuhalten oder wenn Symptome subjektiver Art, wie kardiorespiratorische Erschöpfung oder Dyspnoe auftraten. Das Erreichen der W_{\max} Ref oder der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz waren für sich keine Zeichen der Ausbelastung und auch kein Abbruchkriterium. Objektive Abbruchkriterien waren ein zu starker oder fehlender Blutdruckanstieg oder EKG-Veränderungen (ST-Senkung ≥ 2 mm) [1]. In der 2. Minute jeder Belastungsstufe sowie bei Ausbelastung wurde ein Belastungs-EKG geschrieben und der Blutdruck nach Riva-Rocci registriert.

Statistische Analyse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte als Mittelwert und Standardabweichung. Der Zusammenhang zwischen zwei Variablen wurde mittels Pearson-Korrelationskoeffizienten erhoben. Mittels Regressionsanalyse wurde der Einfluss einer unabhängigen Variable (Alter, Geschlecht, Körpermasse) auf eine abhängige Zielgröße (HF, RR) untersucht. Die statistische Analyse erfolgte mithilfe des Statistik Programms SPSS 17,0. Das Signifikanzniveau für den α -Fehler wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Von insgesamt 118 Probanden (38 Frauen, 80 Männer) wurden letztlich die Daten von 28 Frauen und

59 Männern in die statistische Auswertung genommen. 30 Probanden (25 %) inkludierten wir nicht in die statistische Analyse, da sie eine maximale Leistungsfähigkeit von $>120\%$ erreichten und daher nicht der Definition einer untrainierten Normalperson entsprachen (Bei einer Abweichung von $>20\%$ vom Mittelwert muss ein wirksamer Einflussfaktor angenommen werden, der in diesem Fall nur eine regelmäßige körperliche Belastung sein kann, die keineswegs sportlichen Charakter haben muss). Ein Teilnehmer zeigte EKG-Veränderungen (ST-Senkung) und wurde nicht in die Auswertung genommen. Eine Zusammenfassung der Stichprobe mit den Mittelwerten und Standardabweichungen für HF und RR relativ zur Leistung findet sich in Tab. 1.

Herzfrequenz und systolischer Blutdruck im Belastungsverlauf

Es zeigten sich sowohl für die HF als auch für den systolischen RR Unterschiede im Belastungsverlauf zwischen Frauen und Männer. Die Darstellung der HF in Relation zur Belastung findet sich in Abb. 1, der Blutdruckverlauf in Abb. 2. Frauen zeigten auf individuell vergleichbarer Belastung in Prozent des Referenzwertes eine höhere HF, während Männer höhere RR Werte aufwiesen.

Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz, Blutdruck und Alter

Die Korrelationsanalyse zwischen dem Alter als unabhängige Variable und der HF als abhängige Variable ergab einen negativen Zusammenhang auf allen Belastungsstufen ($r_{20\%} = -0,397$; $r_{40\%} = -0,405$; $r_{60\%} = -0,482$; $r_{80\%} = -0,517$), der mit zunehmender Belastung stärker wurde (Tab. 2). Die Korrelation nach

Tab. 1: Deskriptiver Überblick der Mittelwerte mit Standardabweichungen (SD) für Herzfrequenz (HF) und systolischem Blutdruck (RRsyst) bei 20, 40, 60 und 80 % der maximalen ergometrischen Referenzleistung ohne Differenzierung nach Alter, Geschlecht und Körpermasse

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
HF20Ref	87	76	145	106,4	13,87
HF40Ref	87	87	158	119,5	14,67
HF60Ref	87	101	175	136,3	15,66
HF80Ref	87	112	185	154,1	16,23
RRsyst20Ref	87	95	185	140,2	17,43
RRsyst40Ref	86	105	200	152,7	18,45
RRsyst60Ref	86	115	215	168,5	20,05
RRsyst80Ref	82	120	295	182,8	24,45

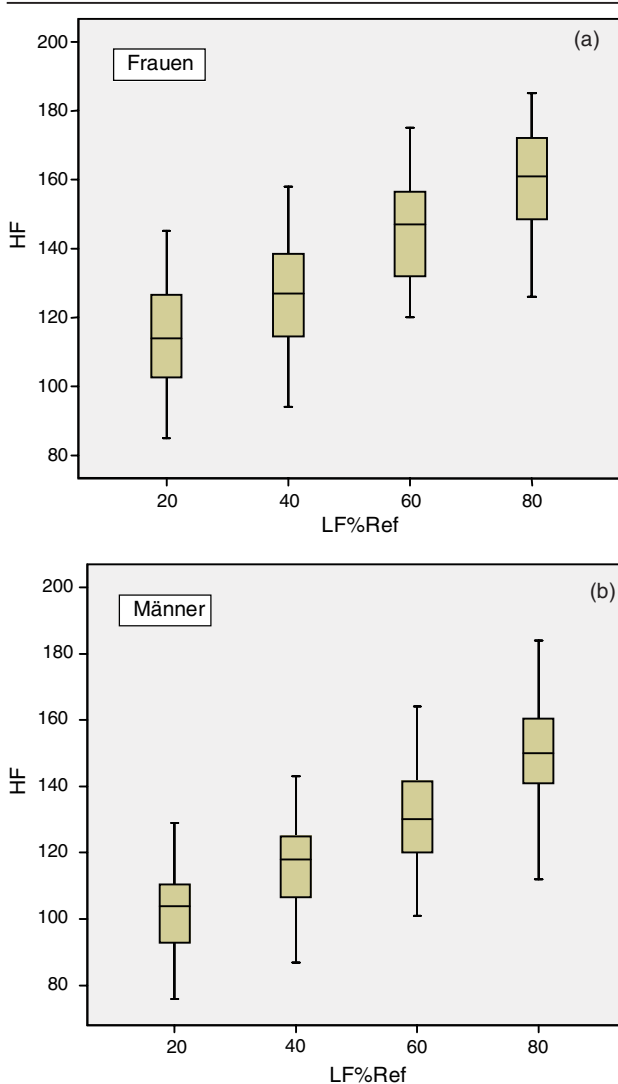


Abb. 1: Verlauf der mittleren Herzfrequenz (HF) mit Quantilen bei 20, 40, 60 und 80 % der maximalen ergometrischen Referenzleistung bei untrainierten Frauen (a) und Männer (b)

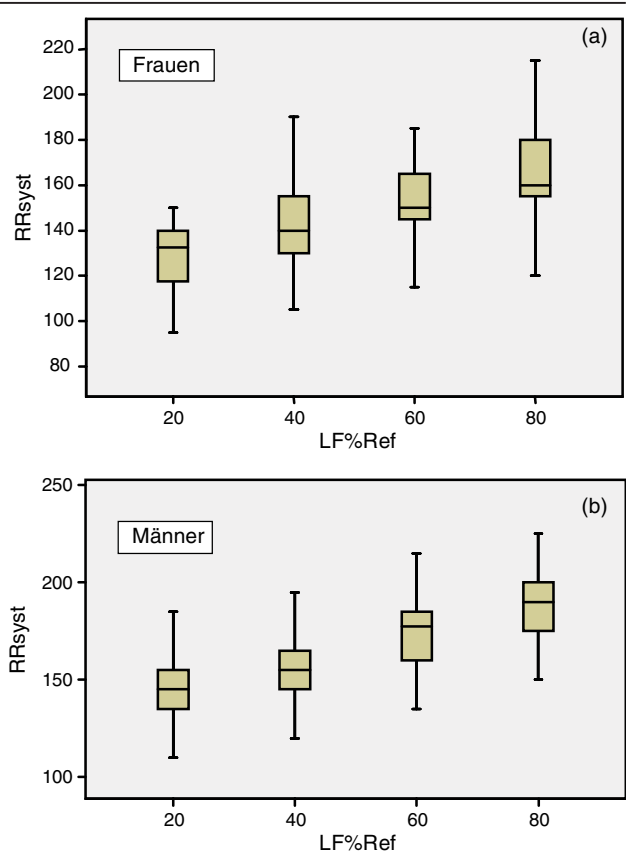


Abb. 2: Verlauf des mittleren systolischen Blutdrucks (RRsyst) mit Quantilen bei 20, 40, 60 und 80 % der maximalen ergometrischen Referenzleistung bei untrainierten Frauen (a) und Männer (b)

Pearson war auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. Kein statistisch signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem Alter und dem RR festgestellt werden.

Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz, Blutdruck und Körpermasse

Zwischen der Körpermasse als unabhängige Variable und dem systolischen RR als abhängige Variable zeigte sich ein konstant positiver Zusammenhang auf allen Belastungsstufen ($r_{20\%} = 0,412$; $r_{40\%} = 0,398$; $r_{60\%} = 0,466$; $r_{80\%} = 0,420$) (Tab. 2). Die Korrelation nach Pearson war auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. Ein konstant negativer Zusammenhang konnte zwischen der Körpermasse und der HF festgestellt werden ($r_{20\%} = -0,173$; $r_{40\%} = -0,216$; $r_{60\%} = -0,322$; $r_{80\%} = -0,229$). Die Korrelation nach

Tab. 2: Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Alter und der Körpermasse als unabhängige Variable und der Herzfrequenz (HF) bzw. dem systolischen Blutdruck (RRsyst) als abhängige Variable bei 20, 40, 60 und 80 % der maximalen ergometrischen Referenzleistung

	Alter	Körpermasse
HF20Ref	-0,397**	-0,172
HF40Ref	-0,405**	-0,216*
HF60Ref	-0,482**	-0,322**
HF80Ref	-0,517**	-0,229*
RRsyst20Ref	0,088	0,412**
RRsyst40Ref	0,085	0,398**
RRsyst60Ref	0,063	0,466**
RRsyst80Ref	0,114	0,420**

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.
 ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Pearson war bei 40, 60 und 80 % der maximalen ergometrischen Referenzleistung auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant (Tab. 2).

Richtwerte für Herzfrequenz und Blutdruck

Mittels Regressionsanalyse erarbeiteten wir geschlechtsspezifische Formeln zur Berechnung von Mittelwerten für HF und systolischem RR im submaximalen Belastungsbereich:

- HF (Frauen) = $130 - 0,86x \text{ Alter} + 0,81x \text{ LF } \%$
- HF (Männer) = $114 - 0,72x \text{ Alter} + 0,8x \text{ LF } \%$
- RR_{syst} (Frauen) = $81 + 0,52x \text{ KG} + 0,6x \text{ LF } \%$
- RR_{syst} (Männer) = $124 + 0,06x \text{ KG} + 0,7x \text{ LF } \%$

Beispiel

Für eine 60jährige Frau beträgt der Richtwert für die HF bei einer Leistungsfähigkeit von 40 % der Norm, 110 min^{-1} ; für einen 60 jährigen Mann, 103 min^{-1} .

Diskussion

Der innovative Charakter der vorliegenden Studie liegt in der Darstellung einer neuen methodischen Vorgehensweise bei der Ergometrie, das ist die Anpassung der Stufenhöhe an den individuellen Referenzwert für die maximale ergometrische Leistung. Diese Vorgehensweise ist nicht unbedingt besser als andere Protokolle, bietet aber für die Beurteilung der Reaktion auf submaximale Belastungen Vorteile. Ziel der Studie war es, ergometrische Richtwerte für HF und RR, bezogen auf definierte, individuell vergleichbare, submaximale Belastungen bei untrainierten Personen zu erarbeiten. Es zeigten sich sowohl für die HF als auch für den systolischen RR Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Frauen erreichen unter individuell vergleichbaren Belastungen eine höhere HF jedoch niedrigere systolische Blutdruckwerte als Männer. Beim Mann verhalten sich diese leistungsabhängigen physiologischen Parameter genau umgekehrt. Männer weisen signifikant höhere Blutdruckwerte während und nach einer Belastung auf [4]. Eine mögliche Ursache könnte in der gesteigerten sympathischen Aktivität beim Mann und dem damit verbunden erhöhten Herzminutenvolumen liegen [4, 5].

Die submaximale HF korreliert, unabhängig von Geschlecht und Körpermasse, negativ mit dem Alter. Dieser Zusammenhang wurde mit zunehmender Intensität deutlicher. Ein konstant negativer Zusammenhang konnte auch zwischen der Körpermasse und der HF festgestellt werden. Im Gegensatz dazu zeigte sich ein positiver Zusammenhang zwischen dem Kör-

pergewicht und dem systolischen RR auf allen Belastungsstufen. Daraus resultiert, dass übergewichtige Personen bei körperlicher Arbeit ein höheres Bluthochdruckrisiko aufweisen als Normalgewichtige gleichen Alters. Entgegen unserer Erwartung konnten wir auf submaximalen Belastungsstufen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und systolischem RR feststellen. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, weil bisher vorliegende Studien eindeutig zeigen, dass der Ruhe- und Belastungsblutdruck mit dem Lebensalter ansteigt [6–9]. So ist der Abfall des peripheren Widerstandes mit zunehmendem Alter geringer ausgeprägt [7]. Desweiteren demonstrieren Ältere einen signifikant langsameren Rückgang des systolischen und diastolischen RR in der Erholungsphase [10]. Auf der anderen Seite vermindert sich die Affinität und Funktion der β -Rezeptoren im Alter, es resultiert eine Situation wie unter β -Rezeptorenblockade [11].

Der systolische RR steigt linear mit der Belastungsintensität an, etwa 7–10 mmHg pro 25 Watt [12]. Verglichen mit Untrainierten, zeigen ausdauertrainierte Personen einen verzögerten systolischen RR-Anstieg im submaximalen Belastungsbereich [9], erreichen aber höhere systolische Blutdruckwerte bei Ausbelastung [13]. In der medizinischen Praxis wird für 20- bis 60jährige Frauen und Männer als oberer normaler Grenzwert bei 100 Watt ein RR von 200/100 mmHg angegeben [14]. Nach *Rost & Hollmann* kann der obere Grenzwert (OGW) des systolischen RR in Abhängigkeit vom Alter und der ergometrischen Belastung mit der Formel: $\text{OGW syst. RR} = 145 + 1/3x \text{ Alter (Jahre)} + 1/3x \text{ Watt}$ berechnet werden [15]. Liegt der RR über dem Grenzwert, dann liegt eine Belastungshypertonie vor. Jedoch berücksichtigt die zitierte Formel nicht Variationen, die sich aufgrund des Geschlechts, der Körpermasse und der Leistungsfähigkeit ergeben. So bedeuten absolute Belastungswerte, bezogen auf das Alter und das Geschlecht, eine unterschiedlich große Relativbelastung. Zum Beispiel entsprechen 100 Watt bei einem 50jährigen untrainierten Mann einer Relativbelastung von etwa 60 % der maximalen Leistungsfähigkeit. Für eine gleichaltrige untrainierte Frau bedeuten 100 Watt eine Relativbelastung von durchschnittlich 80 % der maximalen Leistungsfähigkeit.

Neuere, prospektive Studien assoziierten das Blutdruckverhalten während Belastung mit der Herzfrequenzreserve [16], der metabolischen Einheit (MET) [17], dem Anstieg pro Minute [18], oder mit der Veränderung zum Ruhewert [19] und bestätigten eindringlich, dass das Risiko einer zukünftigen Hypertonie oder eines kardiovaskulären Ereignisses bereits mit leicht

erhöhten Belastungswerten signifikant erhöht ist [16, 18, 20, 21]. Ein aktueller Review zum Blutdruckverhalten bei ergometrischen Belastungstests fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen [12]. Singh et al. berücksichtigten die 2. Stufe des Bruce Protokoll und fanden ein 2,2-fach bzw. 4,2-fach erhöhtes Hypertonierisiko bei Frauen bzw. Männer mit erhöhten Werten für den diastolischen RR [20]. Miyai et al. untersuchten das submaximale Blutdruckverhalten (50 % der Herzfrequenzreserve) und diagnostizierten ein 3,7fach bzw. 2,9fach erhöhtes Risiko für eine spätere Hypertonie bei überschießenden Werten für den systolischen bzw. diastolischen RR [16]. Zanettini et al. analysierten das ergometrische Blutdruckprofil von 75 gesunden Personen und stellten einen Zusammenhang zwischen der Höhe des BMI und dem systolischen Blutdruckanstieg fest. Die Autoren fixierten den Schnittpunkt zur Anomalie bei einem Anstieg von ≥ 11 mmHg/MET [17]. Aber, auch ein fehlender systolischer Blutdruckanstieg oder ein Abfall von > 20 mmHg während ansteigender Belastung können ein Risiko darstellen, z. B. Zeichen einer hypertrophen Kardiomyopathie sein. Aufgrund der unterschiedlichen Testmethoden der einzelnen Studien konnten bis dato noch keine allgemein gültigen Standardwerte für den RR auf submaximalen Belastungsebenen erhoben werden.

Herzfrequenzen auf submaximalen Belastungsebenen ermöglichen die Beurteilung der vegetativen Regulation des Kreislaufs. Liegt die HF über dem ermittelten Richtwert, so spricht das für eine sympathikotone oder hyperkinetische Regulationslage. Dieser Befund ist häufig mit einer eingeschränkten maximalen Sauerstoffaufnahme kombiniert und kann auf eine Störung in der vegetativen Anpassung (z. B. hyperkinetisches Herzsyndrom) hinweisen [22]. Liegt die submaximale HF unter dem Richtwert, so spricht das für eine vagotone Regulationslage, wie dies für ausdauertrainierte Personen typisch ist. Allerdings beobachtet man auch bei 5 % der Gesunden und bei 10–30 % der Koronarkranken eine bradykarde Frequenzreaktion im Sinne einer chronotropen Inkompetenz [23]. Wilkoff et al. entwickelten ein mathematisches Modell über die chronotrope Wirkung von ansteigender Belastung bei untrainierten Personen [24]. Mittels einer einfachen linearen Funktion kann in Abhängigkeit der Belastungsintensität, dem Alter, der Ruheherzfrequenz und der Leistungsfähigkeit die normale HF auf einzelnen submaximalen Belastungsebenen ermittelt werden. Allerdings berücksichtigten die Autoren weder das Geschlecht noch die Körpermasse der Probanden.

Basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, finden sich sowohl für die HF als auch für den RR Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf submaximalen Belastungsebenen. Geschlechtsspezifische Formeln ermöglichen es, das Verhalten von HF und RR auf submaximalen Belastungsebenen zu beurteilen, indem es mit dem Verhalten von untrainierten gesunden Normalpersonen verglichen wird. Auf diese Weise können funktionelle und klinische Einflussfaktoren erkannt und auch quantitativ beurteilt werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die geringe Stichprobengröße dieser Querschnittsanalyse die Bedeutung der hier vorgestellten Richtwerte als Normal- oder Referenzwerte relativiert.

Interessenskonflikt

Es besteht kein Interessenskonflikt.

Literatur

- [1] Wonisch M, Berent R, Klicpera M, et al. Praxisleitlinien Ergometrie. *J Kardiologie*, 15(Suppl A): 3–17, 2008.
- [2] Löllgen H, Erdmann E. Ergometrie. Belastungsuntersuchung in Klinik und Praxis. 2. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer; 2000.
- [3] DuBois D, DuBois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med*, 17: 863–871, 1916.
- [4] Dimkpa U, Ugwu AC, Oshi DC. Assessment of sex differences in systolic blood pressure responses to exercise in healthy, non-athletic young adults. *JEPonline*, 11: 18–25, 2008.
- [5] Huxley VH. Sex and the cardiovascular system; the intriguing tale of how women and men regulate cardiovascular function differently. *Advan Physiol Edu*, 31: 17–22, 2007.
- [6] Kannel WB, Wolf PA, McGee DL, et al. Systolic blood pressure, arterial rigidity, and risk of stroke. *JAMA*, 245: 1225–1229, 1981.
- [7] Stratton JR, Levy WC, Cerqueira MD, et al. Cardiovascular responses to exercise: Effects of aging and exercise training in healthy men. *Circulation*, 89: 1648–1655, 1994.
- [8] Daida H, Allison TG, Squires RW, et al. Peak exercise blood pressure stratified by age and gender in apparently healthy subjects. *Mayo Clin Proc*, 71: 445–452, 1996.
- [9] Martin WH, Ogawa T, Kohrt WM, et al. Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation*, 84: 654–664, 1991.
- [10] Dimkpa U, Ugwu AC. Influence of age on blood pressure recovery after maximal effort ergometer exercise in non-athletic adult males. *Eur J Appl Physiol*, 106: 791–797, 2009.
- [11] Lakatta EG. Deficient neuroendocrine regulation of the cardiovascular system with advancing age in health humans. *Circulation*, 87: 631–636, 1993.
- [12] Sieira MC, Ricart AO, Estrany RS. Blood pressure response to exercise testing. *Apunts Med Esport*, 45: 191–200, 2010.
- [13] Tanaka H, Bassett DR, Turner MJ. Exaggerated blood pressure response to maximal exercise in endurance-trained individuals. *Am J Hypertens*, 9: 1099–1103, 1996.
- [14] Franz IW. Blood pressure measurement during ergometric stress testing. *Z Kardiol*, 85(S3): 71–75, 1996.
- [15] Rost R, Hollmann W. Belastungsuntersuchung in der Praxis. Stuttgart: Thieme, 1982.
- [16] Miyai N, Arita M, Miyashita K, et al. Blood pressure response to heart rate during exercise test and risk of future hypertension. *Hypertension*, 39: 761–766, 2002.
- [17] Zanettini JO, Fuchs FD, Zanettini MT, et al. Is hypertensive response in treadmill testing better identified with correction for working capacity? A study with clinical, echocardiographic and ambulatory blood pressure correlates. *Blood Pressure*, 13: 225–229, 2004.

-
- [18] Laukkanen JA, Kurl S, Rauramaa R, et al. Systolic blood pressure response to exercise testing is related to the risk of acute myocardial infarction in middle-aged men. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 13: 421–428, 2006.
- [19] Hedberg P, Ohrvik J, Lönnberg I, et al. Augmented blood pressure response to exercise is associated with improved long-term survival in older people. *Heart*, 95: 1082–1078, 2009.
- [20] Singh JP, Larson MG, Manolio TA, et al. Blood pressure response during treadmill testing as a risk factor for new-onset hypertension. The Framingham Heart Study. *Circulation*, 99: 1831–1836, 1999.
- [21] Manolio TA, Burke GL, Savage PJ, et al. Exercise blood pressure response and 5-year risk of elevated blood pressure in a cohort of young adults: the CARDIA study. *Am J Hypertens*, 7: 234–241, 1994.
- [22] Haber P. *Lungenfunktion und Spiroergometrie. Interpretation und Befunderstellung*. Wien New York: Springer, 2004.
- [23] Sandvik L, Erikssen J, Ellestad M, et al. Heart rate increase and maximal heart rate during exercise as predictors of cardiovascular mortality: a 16-year follow-up study of 1960 healthy men. *Coron Artery Dis*, 6: 667–678, 1995.
- [24] Wilkoff BL, Corey J, Blackburn G. A mathematical model of the cardiac chronotropic response to exercise. *J Electrophysiol*, 3: 176–180, 1989.