

# ÖSTERREICHISCHES JOURNAL FÜR SPORTMEDIZIN

HERAUSGEGEBEN VOM  
ÖSTERREICHISCHEN INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN

5. Jahrgang

1975

Nr. 3/4



Aus der I. Medizinischen Abteilung der Allgemeinen Poliklinik der Stadt Wien,  
Vorstand Doz. Dr. H. Czitober

## Ergometrische und ergospirometrische Beurteilung der Leistungsfähigkeit im höheren Alter (Untersuchungsmodell)\*

*W. Reiterer und H. Czitober\*\*)*

Neben der physiologischen Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter können organpathologische Veränderungen zu limitierenden Faktoren

der körperlichen Leistungsfähigkeit werden. Dies sind Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, der Atmungsorgane, degenerative Veränderungen am Bewegungsapparat mit

---

\*) Auszugsweise vorgetragen am IV. Internationalem Sportärztekongreß in Villach, 29. V. bis 1. VI. 75.

\*\*\*) Mit Unterstützung des Jubiläumfonds der Öster. reichischen Nationalbank, Forschungsprojekt Nr.: 831.

Beeinträchtigung der neuromuskulären Koordination, Anämie und Störungen im Wasser- und Elektrolythaushalt.

In der Altersgruppe der 50- bis 70-jährigen wird aus verschiedenen Gründen, wie im Rahmen der Sekundärprävention der koronaren Herzkrankheit, in der Therapie der gestörten Blutdruckregulation, bei Konditionsmangel nach längerer Bettruhe, zur Freizeitgestaltung und um bei älteren Menschen einen vorzeitigen Abbau der körperlichen Leistungsfähigkeit hintanzuhalten, die Indikation zu einer Bewegungstherapie, zu einem körperlichen Training gestellt.

Um eine Schädigung durch unkontrolliertes Training bei alten Menschen zu vermindern,

wurde ein standardisierter Belastungstest erarbeitet, der die individuelle Belastbarkeit feststellen kann und abnorme Reaktionen unter körperlicher Belastung, wie Belastungskoronarinsuffizienz, hypertone Regulationsstörung, myokardiale Belastungsinsuffizienz, erhöhte Atemarbeit u. a. erfaßt.

Als zweckmäßiges Untersuchungsmodell stellen wir den standardisierten rektangulär-triangularen Belastungstest für die Fahrradergometrie vor. Für mehrere leistungsphysiologische Meßwerte können Normalbereiche angegeben werden, wodurch die Untersuchungsergebnisse verschiedener Untersuchungsgruppen verglichen werden können.

### FLUSSDIAGRAMM EINES REKTANGULÄR-TRIANGULÄREN BELASTUNGSTESTES

Eine ausführliche Beschreibung der Methodik erfolgte an anderer Stelle (Lit. 11).

Bei der ZUWEISUNG zum Test sollen bereits folgende Vorbefunde erhoben sein: eine Kurzanamnese, eine physikalisch-klinische Untersuchung, ein Thorax-Röntgen und ein Ruhe-EKG mit 12 Ableitungen.

Als absolute KONTRAINDIKATIONEN gelten: schwere Angina pectoris, frischer Myokardinfarkt, maligne Rhythmusstörungen, maligne Hypertonie, schwere Aortenstenose, manifeste kardiale Dekompensation, manifeste respiratorische Insuffizienz, frische Myokarditis, frische Thrombophlebitis, kurzfristig zurückliegende venöse oder arterielle

Embolie, Aneurysma, schwere Stoffwechselerkrankungen und fieberhafter Infekt.

Die FRAGESTELLUNG — in der Regel wird dies sein: koronare Herzkrankheit, abnorme Blutdruckregulation, Leistungseinbuße — muß klar definiert sein und soll durch den Untersuchungsaufwand hinreichend beantwortet werden.

Der rektangulär-triangularäre Arbeitsversuch ist als MAXIMALER, SYMPTOMLIMITIERTER TEST konzipiert, d. h. die Zielgrößen physische Erschöpfung, Ermüdungsgrad 18 müssen erreicht werden, es sei denn, der Test wird wegen absoluter Abbruchkriterien (s. Tab. 1) abbro-

TAB. 1: ALARMZEICHEN ALS ABSOLUTE ABBRUCHKRITERIEN

Rhythmus- und Leitungsstörungen  
ausgeprägte Ischämie- und Läsionszeichen im EKG

Blutdruckabfall, übermäßiger Blutdruckanstieg (über 250/130 mm Hg bei Patienten über 50 Jahre)

gleichbleibender Blutdruck mit EKG-Veränderungen und Dyspnoe

rasch zunehmende Intensität der präkordialen Schmerzen, des Ermüdungsgrades (PER) und des Gefühls der Atemnot

gestörte neuromuskuläre Koordination  
(in Kombination erhöhte Wertigkeit!)

chen. Von einem ORIENTIERENDEN TEST sprechen wir, wenn die maximale Belastung nicht angestrebt wird. Als erster Teil des Untersuchungsmodells wird eine einfache Fahrradergometrie durchgeführt; zur qualitativen und quantitativen Beurteilung folgen 1. die

Ergospirometrie und 2. gegebenenfalls die Bestimmung der zentralen Hämodynamik unter körperlicher Belastung.

Die BELASTUNGSINTENSITÄT wird rektangulär-triangular, zu jeder zweiten Minute um 25 bis 50 Watt, je nach zu erwartender

Leistungsfähigkeit und nach Veränderung der Meßwerte erhöht.

Als EINFACHE MESSWERTE sind zu nennen: die zu tolerierende Wattstufe in Relation zum Sollwert, die Form- und Rhythmusanalyse des EKGs, die Herzfrequenz und der Blutdruck. Diese objektiven Parameter und die subjektive Beurteilung des Ermüdungsgrades, der Intensität von Herzschmerzen, der Atemnot durch den Probanden und seine Mitarbeit bestimmen das Ende des Testes.

AUFWENDIGE MESSWERTE können nur dann sinnvoll eine ergometrische Untersuchung bereichern, wenn die Daten raschest vorliegen (on-line Analyse über Prozeßrechner). Hiermit kann der Untersucher steuernd im Sinne eines „feed-back-Mechanismus“ in den Untersuchungsablauf eingreifen.

### NORMALBEREICHE FÜR LEISTUNGSPHYSIOLOGISCHE MESSWERTE

Bei untrainierten und normalgewichtigen Probanden (Broca-Index 85—110) verschiedener Altersstufen, getrennt nach dem Geschlecht, wurde die Beziehung von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck zur Leistung untersucht. Zwischen

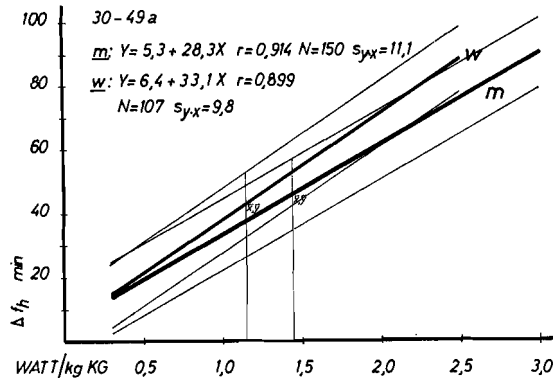


Abb. 1: Sollwertsbereich für den Herzfrequenzanstieg unter rektangulär-triangularer Fahrradergometrie für normalgewichtige Männer und Frauen in der Altersstufe 30 bis 49 Jahre.  $\Delta f_h$ : Differenz aus der Herzfrequenz zur 2. Minute einer Belastungsstufe (Watt/kg Körpergewicht) und der Ruhefrequenz im Sitzen vor Beginn der Belastung (Entspannungswert).

Während der Ergospirometrie beurteilen wir in halbminütigen Abständen die Atemfrequenz, das Atemzugvolumen, das Atemminutenvolumen, die Sauerstoffaufnahme, den respiratorischen Quotienten, die Herzfrequenz und gegebenenfalls blutig gemessene Druckwerte im großen und kleinen Kreislauf.

In einem off-line Rechenverfahren bestimmen wir einen Index für die anaerobe Energiebereitstellung und ermitteln die Sauerstoffschuld (Lit. 12).

Zusätzlich werden durch Vergleich der Blutgasanalysewerte ( $pH$ ,  $pCO_2$ ,  $pO_2$ , BE,  $S_{CO_2}$ ) unter Ruhebedingungen vor Belastung und nach Abbruch des Testes metabolische Veränderungen näher erfassbar.\*)

dem Anstieg der Herzfrequenz und des systolischen Blutdruckes über den Ruhewert (sitzende Position durch wenigstens 5 Minuten) fand sich eine lineare Beziehung zur erbrachten Leistung, die in Watt/kg Körpergewicht gewertet wurde (s. Abb. 1 und 2). Als Arbeitsunterlage können für 50- bis 60-jährige durchaus die Normalbereiche für 30- bis 49-jährige angewandt werden, da die absolute

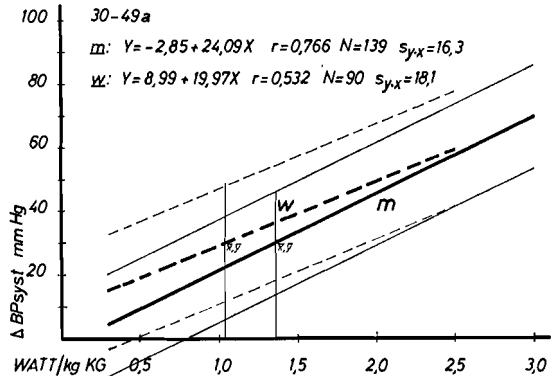


Abb. 2: Sollwertsbereich für den Anstieg des systolischen Blutdruckes unter rektangulär-triangularer Fahrradergometrie für normalgewichtige Männer und Frauen in der Altersstufe 30 bis 49 Jahre.

\*) Die technisch-apparative Ausrüstung besteht aus Erzeugnissen der Firmen Jäger, Würzburg, Olivetti Mailand, Hellige Freiburg und AVL Graz.

Leistungsbreite lediglich abfällt. Die Steigung der Regressionsgeraden für die Herzfrequenz bleibt praktisch unverändert, hingegen nimmt die Steigung der Geraden für den systolischen Blutdruck gering zu.

Die Quotienten aus höchster Belastungsstufe und Körpergewicht (Watt/kg KG) und aus höchster Belastungsstufe und dem Sollwert,

bestimmt in Abhängigkeit vom Alter, Körpergewicht, Geschlecht und Ermüdungsgrad, beschreiben die Leistungsbreite. Letzterer Index (Watt/Watt-Soll x 100) wird in Anlehnung an R. A. Bruce (Lit. 6) als FAI % (functional aerobic impairment) — prozentuelle Leistungseinbuße — bezeichnet (s. Tab. 2).

TAB. 2: BEURTEILUNG DER LEISTUNGSBREITE (FAI %) BEI EINEM ERMÜDUNGSGRAD (PER) VON 17 — 18

FAI	105 %	sehr gut belastbar	70—80 %	vermindert belastbar
	95—105 %	gut belastbar	70 %	eingeschränkte Leistungsbreite infolge . . . (Abbruchkriterium)
	80—95 %	mäßig gut belastbar		

Zur Beschreibung der Sauerstoffaufnahme pro Wattstufe in der ersten und zweiten Minute der rektangulär-triangularen Belastung wurden die Meßwerte von Probanden der Altersstufe 34 bis 60 a ( $\bar{x} \pm S$ ) nur dann verrechnet, sofern ca. 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme noch nicht erreicht waren. Der stufenweise Anstieg der Belastungsintensität um wahlweise 25 oder 50 Watt war ohne bedeutsamen Einfluß auf die Beziehung von Sauerstoffaufnahme und Belastungsintensität (s. Tab. 3). Die adäquate

kardio-zirkulatorische Anpassung an die zu erbringende Leistung ist charakterisiert durch die Sauerstoffaufnahme zur ersten Minute (Lit. 4).

Ein Index für die anaerobe Energiebereitstellung wird an der Rechenanlage des Funktionslabors off-line bestimmt aus der Differenz des Energiebedarfes für eine Belastungsstufe und der aktuellen Sauerstoffaufnahme über dem Ruhebedarf (Lit. 12). Zwischen der geleisteten Arbeit (ausgedrückt als Summe der Watt-Minuten) und dem errechneten Index besteht eine lineare Beziehung, sofern eine Belastungsintensität unter 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme berücksichtigt wird (s. Tab. 4). Nach Abbruch

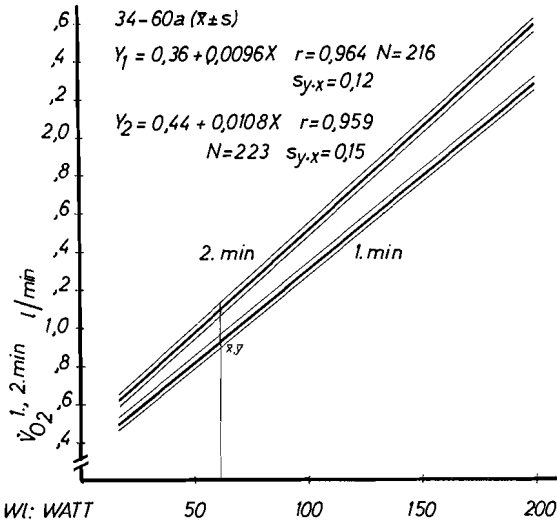


Abb. 3: Regressionsgeraden für die Sauerstoffaufnahme zur ersten und zweiten Minute unter rektangulär-triangularer Fabrradergometrie.

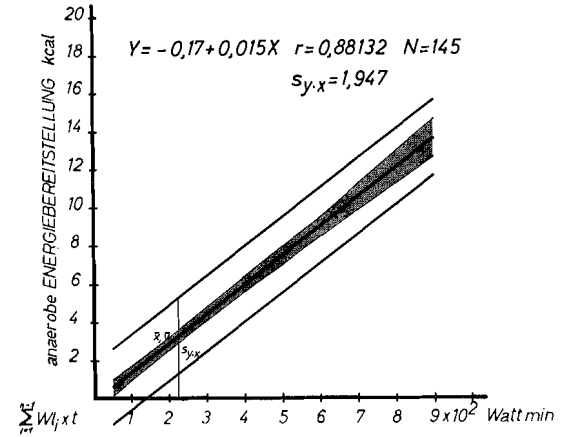


Abb. 4: Beziehung zwischen einem Index für die anaerobe Energiebereitstellung und der geleisteten Gesamt-Arbeit (Sauerstoffaufnahme unter 75 % des Maximalwertes).

des Belastungstestes verfolgen wir generell die Sauerstoffaufnahme durch weitere 5 Minuten und bezeichnen die Summe der Sauerstoffaufnahme über dem Ruhebedarf als *Sauerstoffschuld*. Zwischen der Gesamt-Arbeit (entsprechend der Summe der Watt-Minuten bei einem Ermüdungsgrad von 16 bis 118) und der Sauerstoffschuld findet sich eine enge Korrelation (s. Tab. 5).

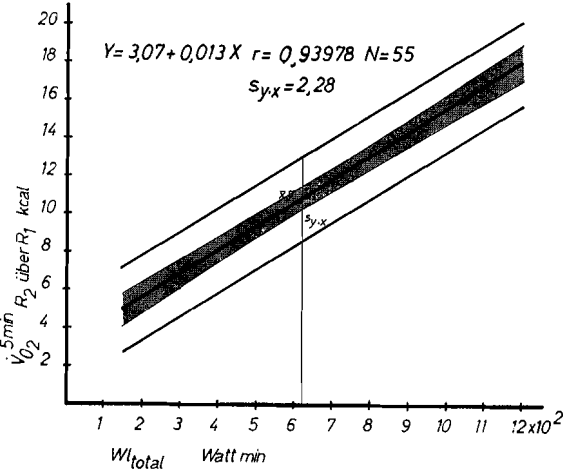


Abb. 5: Sauerstoffschuld nach rektangulär-triangularer Belastung in Relation zur geleisteten Gesamt-Arbeit (Ermüdungsgrad 17 — 18).

**BEFUNDERSTELLUNG**

Das Resultat des rektangulär-triangularen Belastungstestes ergibt sich aus den einzelnen Meßwerten und ihrem Kommentar:

**SCHLUSSFOLGERUNG UND ZUSAMMENFASSUNG**

An Hand eines Flußdiagrammes wird die Untersuchungstechnik der rektangulär-triangularen Fahrradergometrie beschrieben. Für die Blutdruck- und Herzfrequenzregulation, für die Sauerstoffaufnahme und für Indices der anaeroben Energiebereitstellung und der Sauerstoffschuld werden Normalbereiche angegeben. Um die Ergebnisse verschiedener Untersucher vergleichen zu können, wird eine normierte Befunderstellung vorgestellt.

Die Indikation zum rektangulär-triangularen Test kann sich aus verschiedenen Fragestellungen ergeben, wie 1. zur Erfassung einer even-

1. Abbruchkriterien, Ermüdungsgrad; eventuelle abnorme Reaktionen.
2. Leistungsphysiologische Daten, wie die höchste tolerierte Belastungsstufe und Zeitdauer, die geleistete Gesamt-Arbeit (in Watt-Minuten), die Arbeitszeit, die Leistungseinbuße (FAI %) und der Quotient Watt/kg KG, der Broca-Index, die Ruhe- und Maximalwerte für die Herzfrequenz und den Blutdruck.

Bei Ergospirometrie kommen hinzu: die Maximalwerte der Sauerstoffaufnahme in Liter und in ml/kg Körpergewicht, des Atemminutenvolumens, des Atemzugvolumens und des respiratorischen Quotienten vor Abbruch der Belastung; die errechneten Indices für die anaerobe Energiebereitstellung und für die Sauerstoffschuld; die Veränderungen des Basenüberschusses und des Sauerstoffpartialdruckes im arterialisierten Kapillarblut.

3. Leistungsbreite (FAI %).
4. Elektrokardiogramm mit besonderer Berücksichtigung der Form- und Rhythmusanalyse vor, während und nach der Belastung.
5. Blutdruckregulation und
6. Herzfrequenzregulation.

Abschließend wird festgehalten, ob ein Normalverhalten mit einer adäquaten Adaption an eine ansteigende Belastung vorlag. Andernfalls werden als weiterführende Untersuchungen die Bestimmung der zentralen Hämodynamik unter körperlicher Belastung und die Prüfung der Lungenfunktion zu empfehlen sein.

tuellen Abweichung von der Norm (Screening), 2. zur Objektivierung von kardio-pulmonalen Symptomen, 3. zur Beurteilung des Schweregrades einer Funktionsstörung und 4. zur Objektivierung von Folgen einer Intervention (Training, medikamentöse Therapie). Durch die sorgfältige Beobachtung von einfachen objektiven und subjektiven Parametern während des Testes besteht auch für ältere Probanden und Patienten kein erhöhtes Risiko. Die körperliche Anpassung an die rasch ansteigende Belastungsintensität ist gewährleistet, wie es der Anstieg der Sauerstoff-

aufnahme zur ersten und zweiten Minute als Bruttokriterium für die Adaption und Leistungsfähigkeit beweist. Der Anteil an anaerober Energiebereitstellung ist gering, Ermüdungseffekte aus der Zeitdauer der Untersuchung fallen nicht ins Gewicht.

Limitierende Faktoren der körperlichen Leistungsfähigkeit werden durch die methodisch einfache und wenig aufwendige rektangulär-triangularäre Fahrradergometrie sicher erkannt. Ergänzt durch die Ergospirometrie wird eine qualitative und quantitative Analyse der Leistungsbreite und ihrer Einbuße möglich.

## LITERATUR

1. Albert J. S., H. Bass, M. M. Szucs, J. S. Banas, J. E. Dalen and L. Dexter. Effects of physical training on hemodynamics and pulmonary function at rest and during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*, 66 (74), 647.
2. Arstila M. Pulse-conducted triangular Exercise-ECG Test. *Acta med. Scand*, Supp. 529.
3. Astrand P. O. and K. Rodahl. *Textbook of work physiology*. Mc Graw-Hill Book Company, New York 1970.
4. Auchincloss J. H., R. Gilbert and J. L. Bowman. Responses of oxygen uptake to exercise in coronary artery disease. *Chest*, 65 (74), 500.
5. Bjernulf A. Physical rehabilitation after myocardial infarction. Haemodynamic and metabolic aspects. *Acta Universitatis Upsaliensis*, Uppsala 1973.
6. Bruce R. A. Exercise testing of patients with coronary artery disease. *Annals of Clinical Research*, 3 (71), 323.
7. Henschel A. Effects of age on work capacity. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 31 (70), 430.
8. Kasser I. S. and R. A. Bruce. Comparative effects of aging and coronary heart disease on submaximal and maximal exercise. *Circulation*, 39 (69), 759.
9. Keul J. *Limiting factors of physical performance*. Georg Thieme Publishers, Stuttgart 1973.
10. Niederberger M., F. Kubicek und W. Reiterer. Leitlinien für die Ergometrie. *Acta med. Austriaca*. 2 (75), im Druck.
11. Reiterer W. Methodik eines rektangulär-triangularären Belastungstestes. *Herz/Kreislauf*, 7 (75), im Druck.
12. Reiterer W. Indices für anaerobe Energiebereitstellung und Sauerstoffschuld bei rektangulär-triangularer Fahrradergometrie. Im Druck.
13. Roskamm H. Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung. *Herz/Kreislauf*, 6 (74), 120.
14. Roskamm H., N. Brandts und H. Reindell. Zur Trainierbarkeit der Herz- und Kreislaufleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. *Cardiologia*, 48 (66), 441.

*Anschrift des Verfassers:*

*OA Dr. med. Wolfram Reiterer*

*I. Med. Abt. d. Allg. Poliklinik d. Stadt Wien  
Mariannengasse, A-1090 Wien*