

*Sonderdruck aus*

**Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für innere Medizin  
83. Band**

© J. F. Bergmann Verlag, München 1977

(Printed in Germany)

Nicht im Handel

Reiterer, W., Czitober, H. (I. Med. Abt. der Allg. Poliklinik der Stadt Wien):  
**Neue Aspekte zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit**

Ergometrische Untersuchungen stellen eine wertvolle diagnostische Methode dar, um die Funktionsreserve des kardio-pulmonalen Systems zu bestimmen. Durch schrittweise größeren Untersuchungsaufwand (Ergometrie – rechnerunterstützte Ergospirometrie – zentrale Hämodynamik unter körperlicher Belastung) und weiterführende Untersuchungen (Lungenfunktion, Herzkatheterismus u. a.) werden Leistungsvermögen und limitierende Faktoren der körperlichen Leistungsfähigkeit einer objektiven und quantitativen Beurteilung zugänglich.

Als Basisuntersuchung hat sich das Modell der stufenweise ansteigenden Belastungsintensität (rektangulär-triangular Ergometrie) für die Fahrradergometrie bewährt [3, 4]. Gegenüber Steady-State-Verfahren ergeben sich entscheidende Vorteile: Der Proband wird in kürzerer Zeit (8–14 min) symptom-limitiert maximal belastet; die Erholungszeit ist kurz, da der Abbruch durch die fehlende Anpassung an die ansteigende Belastungsintensität erfolgt und nicht durch Ermüdung oder gar allgemeine Erschöpfung infolge der Zeitdauer; die erbrachte Leistung wird klar definiert durch die tolerierte Belastungsstufe (Watt bzw. in Prozenten des Sollwertes = FAI%, Lit [1]) und durch die geleistete Arbeit (Watt  $\times$  min); die Zeitintervalle pro Belastungsstufe genügen, um einfache subjektive und objektive Meßwerte zu erheben und um abnorme Reaktionen rechtzeitig zu erkennen und einzuschätzen. Durch die enge lineare Beziehung zwischen tolerierter Belastung und erreichter Sauerstoffaufnahme kann mit großer Genauigkeit auf die tatsächliche Sauerstoffaufnahme rückgeschlossen werden ( $\dot{V}_{O_2}$  2. min =  $0,435 + 0,0108 \times W$ ;  $s_{yx} = 0,138$  für range 20–200 W; BI = 92–105). Durch die rechnerunterstützte Auswertung ergospirometrischer Meßwerte und Berechnung abgeleiteter Größen on-line ergeben sich neue Gesichtspunkte zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit: 1. *Aerobes Leistungsvermögen, Adaptation*, 2. *Anaerobe Energiebereitstellung, Anaerobe Schwelle* und 3. *Toleranz der metabolen Belastungsazidose*.

An Hand der leistungsphysiologischen Meßwerte bei einem Ausdauersportler (A), einer Normalperson (B) und bei einem Patienten mit koronarer Herzkrankheit (C) sei die Aussagekraft der Meßwerte erklärt (Tabelle 1).

Die *Sauerstoffaufnahme* als Bruttokriterium des aeroben (kardiopulmonalen) Leistungsvermögens ist bei Patient C deutlich vermindert. Eine Steigerung über das 4fache der Ruhesauerstoffaufnahme (METS) ist knapp möglich. Die Leistungseinbuße (FAI) wird durch die niedrige Belastungsstufe gekennzeichnet (56,5% des Sollwertes). Als Kriterium der *Adaptation* bezeichnen wir die ( $\pm$ ) Abweichung der aktuellen Sauerstoff-

**Tabelle 1.** Leistungsphysiologische Befunde unter rektangulär-triangularer Fahrradergometrie (rechnerunterstützte Ergospirometrie). Pat. A (Skilangläufer; 20 a), Pat. B (untrainierte Normalperson; 52 a) und Pat. C (koronare Herzkrankheit, symptom-limitiert durch Ap-Anfall; 56a)

Parameter	A	B	C	
Belastung ( $W_{l_{max}}$ , W)	400	200	100	Ergometrie
Arbeitszeit (min)	17	10	8	
Arbeit (Watt $\times$ min)	3240	1040	490	
Leistungseinbuße (FAI %)	<u>175</u>	101	<u>56,5</u>	
$\dot{V}_{O_2 \max}$ l/min	4,99	2,62	1,29	
$\dot{V}_{O_2 \max}$ ml/kg $\times$ min <sup>-1</sup>	<u>70,3</u>	27,6	14,9	
$\dot{V}_{O_2 \max}$ METS	<u>20,1</u>	7,9	4,2	
Adaptation (bis 100 W) $\bar{x}n_s \dot{V}_{O_2}$ 1. min	+1,54	+0,49	-1,47	Ergospirometrie
Aerobe power kcal	<u>189,7</u>	51,4	33,4	
Anaerobe power kcal	31,4	19,6	11,8	
Anaerobe power cal/kg	<u>442</u>	206	137	
Anaerobe power %	<u>14,2</u>	27,6	<u>35,6</u>	
Anaerobe Schwelle l/min $\dot{V}_{O_2}$	<u>3,9</u>	1,9	<u>1,3</u>	
Anaerobe Schwelle Watt	275	150	100	
pH min	7,18	7,25	7,35	Blutgasanalyse
BE min	-15,9	-10,6	-4,5	

aufnahme zur ersten Minute pro Belastungsstufe vom Sollwert. Dieser on-line-Rechenwert charakterisiert die Volumsleistung des Herzens: Beim Trainierten wird rascher ein adäquater Funktionszustand als im Vergleich zum Pat. C mit hypodynamer Zirkulation [4, 7].

Ein Index für die muskeleigenen Energiereserven, für die *anaerobe Energiebereitstellung*, wird am Ende jeder Belastungsstufe berechnet aus der Differenz zwischen der aktuellen Sauerstoffaufnahme und dem nötigen Energiebedarf, die Arbeit rein aerob zu leisten [5]. Bei Trainierten reichen Einzelwerte von 350 über 500–800 cal/kg KG. Normalpersonen überschreiten kaum 200–300 cal/kg KG. Die anaeroben Anteile am Gesamtenergiebedarf unter rektangulär-triangularer Belastung liegen zwischen 18 und 28%. Bei Patienten mit eingeschränkter myokardialer Pumpfunktion wurden bis zu 40% anaerober Anteile bestimmt. Zwischen Parametern der metabolen Azidose und dem on-line-Rechenwert besteht ein kurvo-linearer Zusammenhang [4].

Unter zunehmender Belastungsintensität führt der vermehrte Einsatz anaerober energieliefernder Prozesse zur metabolen Azidose (Laktatazidose), die durch vertiefte Atmung nicht kompensiert werden kann [2]. Der Beginn dieser Hyperventilation wird als *anaerobe Schwelle* bezeichnet [8]. Wir tragen durch eine off-line-Routine die abgespeicherten Meßwertpaare von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme im Koordinatensystem auf. Durch die einsetzende Hyperventilation geht der lineare Zusammenhang zwischen beiden Meßwerten verloren und markiert somit die anaerobe Schwelle als Indikator der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (definiert in  $l \dot{V}_{O_2}$ , in %  $\dot{V}_{O_2 \max}$  oder Watt). Unter Beachtung dieses Schwellenwertes und des Ausmaßes der metabolen Azidose (pH, BE) in Relation zur geleisteten Arbeit werden Trainingseffekt beim Hochleistungssportler und bei Patienten im Rahmen der Rehabilitation exakt beschrieben.

Die elektronische Datenverarbeitung ermöglicht diese aufgezeigten Untersuchungen, um eine objektive und umfassende Darstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit aus klinisch-physiologischer Sicht zu geben.

Mit Unterstützung des Jubiläumfonds der Österr. Nationalbank, Projekt Nr. 831 und 1081.

Für die apparative Ausrüstung sind wir der Fa. Jäger, Würzburg, zu Dank verpflichtet.

## Literatur

1. Bruce, R. A., Kusumi, F., Hosmer, D.: Maximal oxygen intake and normographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Amer. Heart J.* **85**, 546 (1973).
2. Keul, J., Doll, E., Keppler, D.: Energy metabolism of human muscle. *Medicine and Sport*, vol 7. Basel 1973.
3. Reiterer, W.: Methodik eines rektangulär-triangularen Belastungstestes. *Herz/Kreislauf* **7**, 457 (1975).
4. Reiterer, W.: Evaluation of physical performance by rectangular-triangular bicycle ergometry and computer assisted ergospirometry. *Basic. Res. Cardiol.* **71**, 482 (1976).
5. Reiterer, W.: On-line Analyse von anaerober Energiebereitstellung und Sauerstoffschuld während rektangulär-triangularer Fahrradergometrie. *Wien. klin. Wschr.* **88**, 527 (1976).
6. Reiterer, W.: Computer assisted evaluation of ergospirometric parameters and central hemodynamics in exercise testing. *Computers in Cardiology*. St. Louis 1976.
7. Shephard, R. J.: Cardio-respiratory fitness — a new look at maximum oxygen intake. In: *Advances in exercise physiology*. *Medicine and Sport*, vol 9. Basel 1976.
8. Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., Beaver, W. L.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. appl. Physiol.* **35**, 236 (1973).

