

Österreichische Gesellschaft für Lungenerkrankungen und Tuberkulose
Arbeitsgemeinschaft für Lunge-Umwelt-Arbeitsmedizin

Prof. Dr. F. Muhar – Prim. Dr. R. Schindl

7. Workshop 1986

Linz/Donau, Elisabethinenkrankenhaus

**LUNGE – UMWELT
AM ARBEITSPLATZ**

herausgegeben von

R. SCHINDL

Dauerleistungsfähigkeit:

Zur Analyse und Bewertung der Leistungseinschränkung beim Lungenkranken sind die Interaktionen der Organsysteme Muskulatur- Herz- Kreislauf und Lunge zu beachten. Die muskuläre Dauerleistungsfähigkeit (anaerobe Schwelle (5), aerobe/anaerobe Energiegewinnung (4)) ist abhängig von der Transportleistung des Herz-Kreislaufsystems ($\text{HbO}_2 \cdot Q$, Produkt aus oxygeniertem Hämoglobin und Herzminutenvolumen und den Faktoren Vorlast und Nachlast), der Ökonomie des pulmonalen Gasaustausches (Atemarbeit in Relation zur alveolaren Ventilation) und von der Substratverwertung in der Muskulatur selbst (8).

Die Veränderung der Atemmechanik als Hauptfaktor für die Leistungslimitierung beim Lungenpatienten ist somit durch eine beschreibende Analyse der Lungenfunktion (Spiro-Bodyplethysmographie, Flow-Volumen-Druckanalyse) zu erfassen mit zusätzlicher Bewertung des Gasaustausches und des Lungenkreislaufes. Im Rahmen der Funktionsdiagnostik umfaßt der Arbeitsaufwand neben der Sichtung der klinischen Basisdaten des Patienten eine umfassende Lungenfunktionsanalyse, die Leistungsprüfung mit geringem (2-min-Stufen-Test, Blutgasanalyse (2)) oder höherem Aufwand (EDV-gestützte Ergospirometrie, alveoläre Ventilation, anaerobe Schwelle (3)) und letztlich die hämodynamische Untersuchung.

Die Bestimmung der Dauerleistung aus ergospirometrischen Messwerten (VE/ VO_2 -Diagramm (5,6)) unter non-steady-state Belastung durch 2-min-Stufen stellt beim Erkrankten die optimalste Methode dar, die Leistungsfähigkeit zu charakterisieren. Die Dauerleistungsfähigkeit (anaerobe Schwelle (9)) wird durch den Beginn der Hyperventilation als Reaktion auf die metabolische Azidose einfach aus ergospirometrischen Messwerten bestimmt. Hierbei ergaben sich methodische Vorteile gegenüber der Bestimmung der Dauerleistungsfähigkeit aus der Laktatkinetik (1): Die anaerobe Schwelle wird individuell bestimmt (keine starre Grenze, z.B.: 4 mmol/l Laktat), das Ergebnis liegt sofort vor, eine Belastungsunterbrechung zur Blutabnahme für die Laktatbestimmung entfällt, der Schwellenbereich kann einfach mit anderen Meßwerten (Herzfrequenz) in Beziehung gesetzt werden. Bei einer höhergradigen Leistungsverminderung kann die Dauerleistungsgrenze nicht definiert werden, falls die Belastung vor dem Erreichen der anaeroben Schwelle abgebrochen werden muß.

Ich verwende die Bestimmung der Laktatwerte nach Abbruch der Belastung (1., 5., 10. und 15. min) zur Beschreibung der Laktatelimination, um Patienten hinsichtlich ihres muskulären Trainingszustandes einzuordnen: Beim trainierten Herzkranken beträgt die Eliminationshalbwertszeit z.B. 11 min, beim pulmonal limitierten Patienten verdoppelt sich die Zeitspanne.

Die Abtrennung von verschiedenen Patientengruppen von Normalpersonen und Trainierten erscheint umso einfacher, je höhergradiger die Leistungslimitierung beim Kranken ausgeprägt ist. Die Abb. 1 zeigt die Trennschärfe verschiedener Methoden: 1.) Watt*min aus der einfachen Fahrradergometrie (2-min-Stufen-Test), 2.) relative maximale Sauerstoffaufnahme, 3.) anaerobe Schwelle und 4.) anaerobe Energiebereitstellung (3).

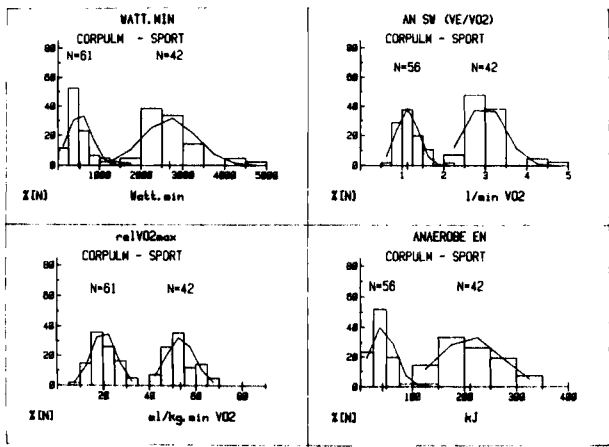


Abb. 1: Die Trennfunktion verschiedener Meßwerte bei Trainierten und Herz-Lungen-Patienten mittels einer Häufigkeitsverteilung (%N). Watt.min = geleistete Arbeit, AN SW = individuelle anaerobe Schwelle aus dem VE/VO₂-Diagramm, relVO₂max = relative maximale Sauerstoffaufnahme, anaerobe EN = anaerobe Energiegewinnung, unter ansteigender Belastung (2-min-Stufen-Test nach Reiterer (2), die nicht durch die Sauerstoffaufnahme gedeckt wird (4).

Die Gruppe der Herz-Lungenpatienten läßt sich nicht mehr differenzieren, ein Wunsch der auch völlig unrealistisch ist. Denn der Schweregrad der jeweiligen Krankheit bestimmt die Größe der Leistungseinbuße und die zugrunde liegenden pathophysiologischen Mechanismen sind durch eine mehrdimensionale Faktorenanalyse zu charakterisieren.

Fluß-Volumen-Druck-Analyse:

Die Bedeutung der Fluß-Volumen-Analyse als einfache Methode zur Beschreibung der Atemmechanik und somit zur Quantifizierung der Leistungseinbuße aus atemphysiologischer Sicht ergibt sich aus zwei Gesichtspunkten: 1.) Bei der schrittweisen Regressionsanalyse ist die Leistungseinbuße ($FAI\% = 35.5 \cdot \text{flow-25\%-FVC} \cdot 32.6$; $r = 0.709$) lediglich vom endexpiratorischen Fluß bei 25 % der forciert geblasenen Vitalkapazität abhängig. Meßwerte, wie Vitalkapazität, intrathorakales Gasvolumen,

spezifische Resistance, Fluß bei 50 %-FVC, Laktatelimination, arterielle Blutgaswerte, werden aus der Regressionsgleichung für ein lineares Modell bei 15 Lungenpatienten eliminiert.

2.) Bei der Erstellung von Normalwertbereichen für ergospirometrische Meßwerte unter non-steady-state Belastung konnte eine strenge lineare Abhängigkeit zwischen Fluß und Atemminutenvolumen ($\text{flow (l/sec)} = -0.005 + 0.0455 \text{ VC (l/min)}$, $r = 0.95$) und zwischen Atemminutenvolumen und Watt ($\text{VE} = 11.07 + 0.285 \text{ Watt}$, $r = 0.944$ (3)) beschrieben werden. Zur Vorhersage der tolerierbaren Belastungsstufe kann somit der Fluß bei 50 %-FVC (Fluß-Volumen-Diagramm) eingesetzt werden.

Abb. 2 zeigt ein 3-dimensionales Lungenmodell zur Beschreibung des Aufwandes (alveolärer Druck) in Relation zum erzielten Effekt (Fluß).

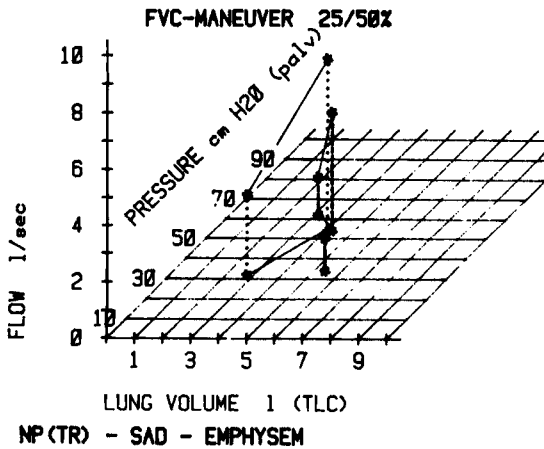


Abb. 2: 3-dimensionale Darstellung bodyplethysmographischer Meßwerte beim forcierten Atemstoß (Lungenvolumen, Fluß und alveolärer Druck). NP (TR) = Normalpersonen, trainiert, SAD = small airway disease, Emphysem-Patienten (s.Text).

Die punktierten Linien beziehen sich auf die Volumen-Druck-Fluß-Werte bei Trainierten bei 25- und 50%-FVC, die strichlierten Linien gehören zu den Meßwerten bei Patienten mit small airway disease. Bei Patienten mit Lungenemphysemen (RV) 50 % TLC) gibt die durchgezogene Linie den Meßpunkt bei 50 %-FVC an (Mittelwerte für jeweils 20 Personen). Bei gleichem bzw. etwas höherem Druckaufwand (palv) wird bei zunehmend gestörter Atemmechanik (SAD, Emphysem) ein verminderter Fluß erzeugt:

Bei 50%-FVC betragen die flow (l/sec) palv (cm H2O) - Meßwerte bei Trainierten im Mittel 6.1/53.0, bei Patienten mit SAD 4.2/54.0 und bei Patienten mit Emphysem 1.14/33.6.

Aus den Fluß-Volumen-Druck-Daten einer bodyplethysmographischen Untersuchung kann der momentane Atemwegswiderstand (R_i) berechnet und in ein graphisches Lungenmodell eingetragen werden (s. Abb. 3, Patient mit SAD). Die Bedeutung einer veränderten Atemmechanik wird somit transparenter und verständlicher als leistungs-limitierender Faktor.

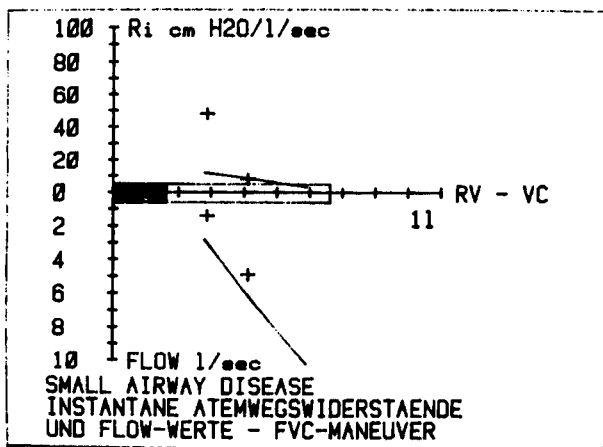


Abb. 3: Graphische Darstellung einer atemphysiologischen Untersuchung mit Berechnung des momentanen Atemwegswiderstandes (R_i) beim FVC-Manöver (7). RV = Residualvolumen, VC = Vitalkapazität.

Zusammenfassung:

Die Beschreibung der Leistungsfähigkeit beim Limitierten (Lungenpatient) muß über einfache Kriterien hinausgehend ($Watt_{max}$, VO_{2max}) eine mehrdimensionale Betrachtung ermöglichen. So sind der Beginn abnormer Reaktionen und zugrunde liegende pathophysiologische Mechanismen zu definieren. Mit einem Minimalaufwand (z.B.: nur Ergometrie, Spirometrie und Blutgasanalyse) wird einer diagnostischen Relevanz nicht gerecht und die Aussage über eine zumutbare Belastbarkeit sind nicht brauchbar. Als Optimum sollte beim Limitierten festgestellt werden, inwiefern die anaerobe Schwelle (Dauerleistungsgrenze) erreichbar ist und überschritten wird (anaerobe Schwelle in Prozenten der maximalen Sauerstoffaufnahme VO_{2max}), mit welcher Laktateliminationszeit die muskuläre Leistungsfähigkeit charakterisiert werden kann, welchen Anteil die anaerobe Energiegewinnung am Gesamtenergiebedarf erreicht und wie sich die alveoläre Ventilation und Blutgaswerte unter Belastung verhalten. Diese genannten Meßwerte können mittels EDV-gestützter Ergospirometrie erfaßt werden.

Die leistungsphysiologischen Meßwerte sind weiters in Beziehung zu setzen zu atemphysiologischen Daten, zu Meßwerten der Atemmechanik. Zur Prädiktion der ventilatorischen Leistungsreserve kann der Flow-Wert bei 50 % der forciert geblasenen Vitalkapazität (FVC) herangezogen werden (Flow-VC-Watt-Diagramm). Im Sinne einer mehrdimensionalen Beschreibung darf die Auswirkung auf das Herz-Kreislaufsystem (Volumenleistung, Druckbelastung im kleinen und großen Kreislauf) nicht außer acht gelassen werden. Eine endgültige Beurteilung des Patienten wird sich ergeben aus der möglichen Reversibilität von pathophysiologischen Zuständen durch pharmakologische Intervention und durch die Eigendynamik des Krankheitsverlaufes. Der gewählte Aufwand sollte es ermöglichen, die zumutbare Belastbarkeit des Patienten unter Alltagsbedingungen und im Berufsleben zu erkennen.

* Mit Unterstützung des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank, Projekt-Nr. 2140.

Anschrift:

Univ.-Doz. Dr. W. Reiterer
Poliklinik Wien, I. Med. Abt.
A-1090 Wien, Mariannengasse 10

Literatur:

1. Mader A., u.M.: Sportarzt Sportmed., 27(1976), 80, 112; 2. Reiterer W.: Herz/Kreislauf, 7 (1975), 457 - 462; 3. Reiterer W.: Basic Res. Cardiol., 71 (1976) 482 - 503; 4. Reiterer W.: Wien. klin. Wschr., 88 (1976), 527 - 530; 5. Reiterer W., u.M.: Verhandl. Deutsch. Gesellschaft Innere Med., 83. Band. J.F. Bergmann, München 1977, S. 1764 - 1766; 6. Reiterer W.: Wien. med. Wschr., 127 (1977), Suppl. 42.
7. Reiterer W.: Computers in Cardiology, Florence 1981. IEEE Catalog No. 81CH1750-9;
8. Schmid P.: Wien. med. Wschr., 135 (1985), 228 - 234; 9. Wasserman K.: J. Appl. Physiol., 35 (1973), 236.