

Patienten klagen häufig über Belastungsdyspnoe, oft ein Hinweis auf eine Herz- oder Lungenerkrankung. Dyspnoe ist eine mit dem Regelkreis der Atmung in Verbindung stehende, unangenehme Empfindung und damit ein wichtiger Hinweis für eine relevante Erkrankung. Zur Ursachenanalyse gilt es, die Art und den Umstand ihres Auftretens zu untersuchen, um gegebenenfalls eine rasche und gezielte Therapie einleiten zu können. Bisher ging es besonders um Aussagen zur Leistungserfassung, EKG- Veränderung und Blutdruckregulation bei Belastung und in der Pneumologie zusätzlich zur Frage nach dem Gasaustausch. In der Kardiologie, Pneumologie, der Sport- und Arbeitsmedizin konnten jedoch auch damit immer noch nicht alle Fragen der Leistungslimitation beantwortet werden.

Die Vorteile der Spiroergometrie liegen in der Einschätzung der Leistungsbereitschaft u. Mitarbeit, wichtig für Gutachten sind Maximale- und Dauerbelastbarkeit, Fragen zu Op-Fähigkeit und zur postoperativen Mortalität. Hinweise auf mögliche Ursachen der eingeschränkten Belastbarkeit, Störung pulmonal, kardiovaskulär, periphermuskulär oder neuromuskulär?

Testdurchführung:

In der Pneumologie erfolgt vor Untersuchungsbeginn ein Spirotest zur Bestimmung der maximal möglichen Ventilation, dazu wird der ermittelte FEV1- Wert mit 35 multipliziert.

Die Belastungsuntersuchung erfolgt mittels Rampenprotokoll innerhalb von etwa 15 Minuten, wobei vor Beginn der eigentlichen Testphase, unbedingt eine Referenzphase von 2-3 Minuten, mit Leertreten oder bei trainierten Probanden mit geringer Belastung unter 20 Watt einzuhalten ist. Die Atmung unter der Maske bedingt meist zu Beginn eine Hyperventilation infolge gewisser Erwartungshaltung des Patienten. Durch die Konzentration auf das Treten im bestimmten Drehzahlbereich, wird er abgelenkt und es kommt zur physiologischen Einstellung der Atmung und des Kreislaufs. Danach wird mit geringer, aber schnellen Steigerung der Belastung, d.h. ca. 3 bis 6 Watt etwa alle 20 Sek., bis zum symptomlimitierten Abbruch belastet, so dass die Gesamtbelastungszeit zwischen 8 und 12 Minuten liegt.

Während der Belastung wird jeder einzelne Atemzug gemessen und berechnet. Die Atemgasanalyse erfolgt über einen schnellen Gasanalysator, Atemzug für Atemzug, die Atemgaskonzentrationen wird über das ausgeatmete Volumen erfasst, dadurch wird es möglich eingeatmetes O₂ und abgegebenes CO₂ zu berechnen. Wichtig ist eine genaue Synchronisation der Signale. Hieraus werden ventilatorische Größen wie Atemzugvolumen und Atemfrequenz errechnet, es werden also fortlaufend Daten analysiert für Ventilation, Sauerstoffaufnahme, CO₂-Abgabe, natürlich erfolgt auch die BGA-Analyse, in Ruhe, der Referenzphase an der anaeroben Schwelle AT und vor Belastungsabbruch.

Auswertung mittels 9-Felder-Graphik

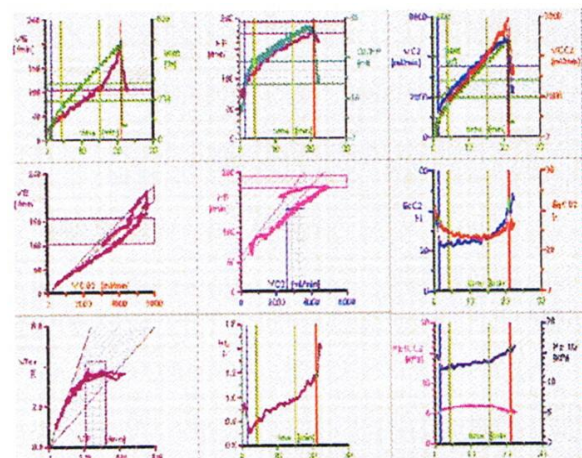
Die Informationsflut bei der SE ist extrem hoch, denn die erzeugte Datenmenge ist, auf Grund der Computertechnik, sofort verfügbar und daher verwirrend. Es hat sich die 9- Felder-Graphik nach Prof. Wassermann als Auswertungshilfe etabliert. Wobei diese Felder auch als Panele bezeichnet werden. Hier also die gültige Nummerierung der einzelnen Panele:

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Panel 1,4,7 Hinweis zu pneumologischen Aspekten,

Panel 6 und 9 zum Gasaustausch.

Panel 2,3,4 und 5 Hinweise zu kardiologischen Aspekten.



Panel 1 Information über die Ventilation, wie steigt das Atemminutenvolumen im Verhältnis zur Belastung?

Panel 2 Anstieg Sauerstoffaufnahme pro Pulsschlag proportional mit der Belastungszeit (O₂-Puls)?

Panel 3 Aussagen zur Leistungsfähigkeit und Gesamtmitarbeit, erkennbar ob Soll für Leistung und O₂-Aufnahme erreicht.

Panel 4 Wie viel Ventilation ist nötig, um einen Liter CO₂ abzuatmen? Verlauf Steigung normal linear, da Erhöhung des CO₂-Gehaltes im Blut, physiologisch mit einer erhöhten Ventilation einhergeht.

Panel 5 Aussagen über die Beziehung von Sauerstoffaufnahme zur CO₂-Abgabe, auch als V-slope bezeichnet. In diesem Panel kann die anaerobe Schwelle (AT) bestimmt werden, ist aber schwierig.

Panel 6 Atemäquivalente für O₂ und CO₂ dargestellt, diese sind ein Maß für die Atemeffizienz, d.h. wie viel Ventilation ist nötig ist um jeweils einen Liter Sauerstoff ein-, bzw. Kohlendioxid abzuatmen.

Panel 7 Atemmuster erkennbar. Es wird die Atemzugtiefe bezogen auf die Gesamtventilation dargestellt.

Panel 8 Information zur Atemreserve und zum RER (Respiratory Exchange Ratio). Dieser beschreibt Entwicklung des Verhältnisses von CO₂-Abgabe zur O₂-Aufnahme in der Lunge und ist das ventilatorische Abbild des Respiratorischen Quotienten RQ in der Muskulatur, also im Mitochondrium.

Panel 9 Am Ende der Ausatmung gemessene, also end-tidal bestimmte Atemgaskonzentration aufgetragen. Diese entsprechen annähernd der alveolären Gaskonzentration. Vergleich end-tidal gemessener O₂ mit dem pO₂ aus der BGA, entspricht Konzentrationsdifferenzen für O₂, die sog. Alveolo-arterielle Differenz, kurz AaDO₂.

AaDO₂

Die AaDO₂ beschreibt die Diffusionsbarriere zwischen Alveole und Hb im Blut, es gehen aber auch Faktoren der Ventilation/Perfusion und der Shuntanteil mit ein.

Eine erhöhte AaDO₂ unter Belastung, weist besonders auf fibrosierende Lungenerkrankungen hin, jedoch führt auch ein Lungenemphysem infolge verminderter Gasaustauschfläche, sowie der Verlängerung des Transportwegs für O₂ bis zur Alveolarmembran zum Anstieg AaDO₂.

anaerobe Schwelle AT

Angegeben wird diese als AT- Punkt, aber es ist im eigentlichen Sinne eher ein Bereich.

AT = anaerobic threshold, ggf. wird dies auch als vAT = ventilatorisch ermittelter AT benannt und bezeichnet den graduellen Übergang von der aeroben Energiegewinnung, also vorwiegend durch Fettverbrennung zur anaeroben Energiegewinnung, d.h. vorwiegend durch Kohlenhydratverbrennung.

Es erfolgt dazu zunehmend die Einbeziehung von Muskelfasern, die Energiegewinnung aus Glukose und damit fällt Milchsäure, also Laktat an. Dieses Stoffwechselprodukt wird durch Puffersysteme des Blutes und die Karboanhydrase zu CO₂ und H₂O abgebaut, damit fällt mehr CO₂ an als über alleinige Sauerstoffverbrennung.

Das so entstehende CO₂ muss über die Atmung abgegeben werden und es kommt nochmals zur Steigerung der Ventilation und damit wird wiederum ein nochmaliger Anstieg der Sauerstoffaufnahme verursacht.

Wenn die anaerobe Schwelle ermittelt wird, kann mithilfe der Spiroergometrie die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit auch ohne maximale Anstrengung abgeschätzt werden. Sie ist gut reproduzierbar und wenn erreicht, mitarbeitersunabhängig und von daher für Gutachten oder Verlaufsbeurteilungen sehr gut geeignet.

Ventilation

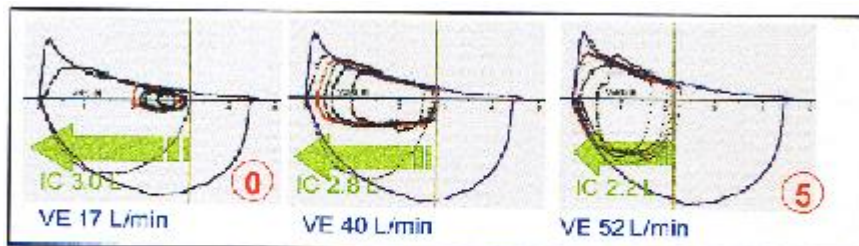
Zur Frage ob die Belastungseinschränkung durch eine, die Atemwege betreffenden Erkrankung bedingt ist, erfolgt in der Pneumologie zusätzlich zur 9-Feldergraphik die Registrierung und Bewertung der Atemverlaufskurve, sowie der abgeleiteten Größen.

Als besonders geeignet zur Differenzierung zwischen kardialer und pulmonaler Dyspnoe hat sich die Erfassung der Flussvolumenkurve herausgestellt, diese gestattet eine Abschätzung der atemmechanischen Limitation und das Ausmaß der dynamischen Überblähung.

Dazu wird vor der SE eine komplette Spirometrie mit einer forcierten max VC, inklusive der FEV₁-Messung durchgeführt, diese wird als Referenzkurve hinterlegt, für die Messung der möglichen expiratorischen Flusslimitation unter Belastung.

Die Messung der fortlaufenden Ventilation während der Spiroergometrie, wird mit dieser Referenzspirometrie verglichen. Physiologisch vertiefen wir unter Belastung die Atemtiefe erst ein wenig in den Bereich des RV hinein, sodann in Richtung TLC, unsere ventilatorische Grenzen erreichen wir, wenn IC aufgebraucht wird.

Bei Obstruktion aber versucht Patient möglichst langsam + tief zu atmen, die AF kann infolge der expiratorischen Flusslimitation nur wenig gesteigert werden, es kommt zur dynamischen Überblähung und das EELV (endexpiratorisches Lungenvolumen = ITGV bzw. FRC) nimmt zu.



IC = Inspiratorische Kapazität unter Belastung.
Mann 51 Jahre mit bulläsem Emphysem

Fazit für die Praxis

Die Ergebnisse der Spiroergometrie ermöglichen keine eindeutige Abgrenzung von pulmonaler oder kardial bedingter Dyspnoe bzw. Trainingsmangel, gestattet aber in einem hohen Prozentsatz eine richtige Zuordnung gemeinsam mit bereits erhobenen Untersuchungsbefunden.

Häufig wird eine pulmonal und kardial kombinierte Ursache der Dyspnoe gefunden, hierbei kann mittels Spiroergometrie der Anteil von Herz und Lunge an der Störung abgeschätzt werden .

Für die Zukunft wird diese Methode aber mit Sicherheit ein besonders wichtiges Einsatzgebiet der MTAf's sein. Denn dies ist wirklich eine anspruchsvolle und auch wirklich interessante Untersuchung und wem die Physiologie und Pathophysiologie liegt, wird sich auch schnell damit anfreunden.

Literaturempfehlung:

Fachbuch „Belastungsuntersuchungen bei Herz-, Kreislauf-, Gefäß- und Lungenerkrankungen“, herausgegeben vom Thiemeverlag, Autoren von Prof. Dr. Kroidl, Dr. Schwarz und Dr. Lehnigk