

Goldstandard zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Spiroergometrie

Die Spiroergometrie ist eine risikoarme Untersuchungsmethode. Sie ermöglicht eine Beurteilung von leistungslimitierenden Faktoren in Gesunden und in Patienten mit kardialer und/oder pulmonaler Erkrankung.

+ L'épreuve d'effort est une méthode d'investigation à faible risque. Elle permet d'évaluer les facteurs de limitation de la performance chez les sujets sains et chez les patients atteints de maladie cardiaque et/ou pulmonaire.

Bewegung beeinflusst respiratorische, kardiovaskuläre, neuro-muskuläre und metabolische Funktionen im Menschen. Um den erhöhten metabolischen Verbrauch unter Aktivität zu gewährleisten, muss der Körper fähig sein, den Sauerstofftransport zu den arbeitenden Muskeln zu vervielfachen (1). Subjektiv führt körperliche Anstrengung zu unspezifischen Symptomen wie Atemnot und Ermüdung der Muskulatur. Die Leistungsfähigkeit kann weder durch Symptome noch durch die in Ruhe gemessenen kardialen und pulmonalen Funktionsparameter zuverlässig beurteilt werden.

Die Spiroergometrie stellt eine risikoarme Untersuchungsmethode dar, um objektiv und kontinuierlich die respiratorischen und kardiovaskulären Parameter während der körperlichen Anstrengung aufzuzeichnen (1,2).

Durchführung

Die Belastung erfolgt entweder auf einem Fahrrad-Ergometer oder auf einem Laufband. Meist wird ein Rampenprotokoll mit dem Ziel gewählt, in 8–12 Minuten die maximale körperliche Leistungsgrenze zu erreichen. Die Belastung wird bei maximaler Dyspnoe oder Beinschwäche beendet. Diese wird mittels einer Borg Skala erfasst (3). Vorzeitige Abbruchkriterien sind Angina pectoris, Ischämiezeichen im EKG, komplexe Rhythmusstörungen, Blutdruckanstieg > 250/120 mmHg oder Abfall des systolischen Blutdruckes > 20 mmHg, Synkopen oder einem symptomatischen Abfall der Sauerstoffsättigung ($SpO_2 \leq 80\%$) (1).

Die Anfangsleistung und die Rampe werden individuell unter Berücksichtigung des Alters, Geschlechts, Gewichts und der Körpergröße gewählt (1).

Die Ventilation wird kontinuierlich mit einer Maske über Nase und Mund gemessen. Die Sensoren registrieren das Atemvolumen und die O_2 - sowie CO_2 -Konzentration. Mit Hilfe des Belastungs-EKGs, der Blutdruckmessung und der Pulsoxymetrie werden kardiovaskuläre Parameter und die Sauerstoffsättigung (SpO_2) monitorisiert. Um genauere Informationen über den Gasaustausch und den Säure-Base Haushalt zu erhalten, kann der Belastungstest durch arterielle Blutgasanalysen ergänzt werden (Abb. 1).



Dr. med.
Tsogyal Latshang
Zürich

Indikationen (1, 4)

1. Ungeklärte Leistungsintoleranz oder Dyspnoe
2. Evaluation von Patienten mit pulmonaler oder kardiovaskulärer Erkrankung
 - Beurteilung der Leistungsfähigkeit und des Gasaustausches
 - Beurteilung der Prognose in Herzinsuffizienz-Patienten
 - Abklärung von leistungslimitierenden Kofaktoren
 - Abklärung vor Lungen- oder Herztransplantation
 - Individuelle Trainingsempfehlung
 - Anstrengungsinduziertes Asthma bronchiale
3. Präoperative Evaluation vor Lungenresektionen oder anderen Operationen
4. Beurteilung der Arbeitsfähigkeit
5. Trainingsempfehlung und -erfolg im Sport

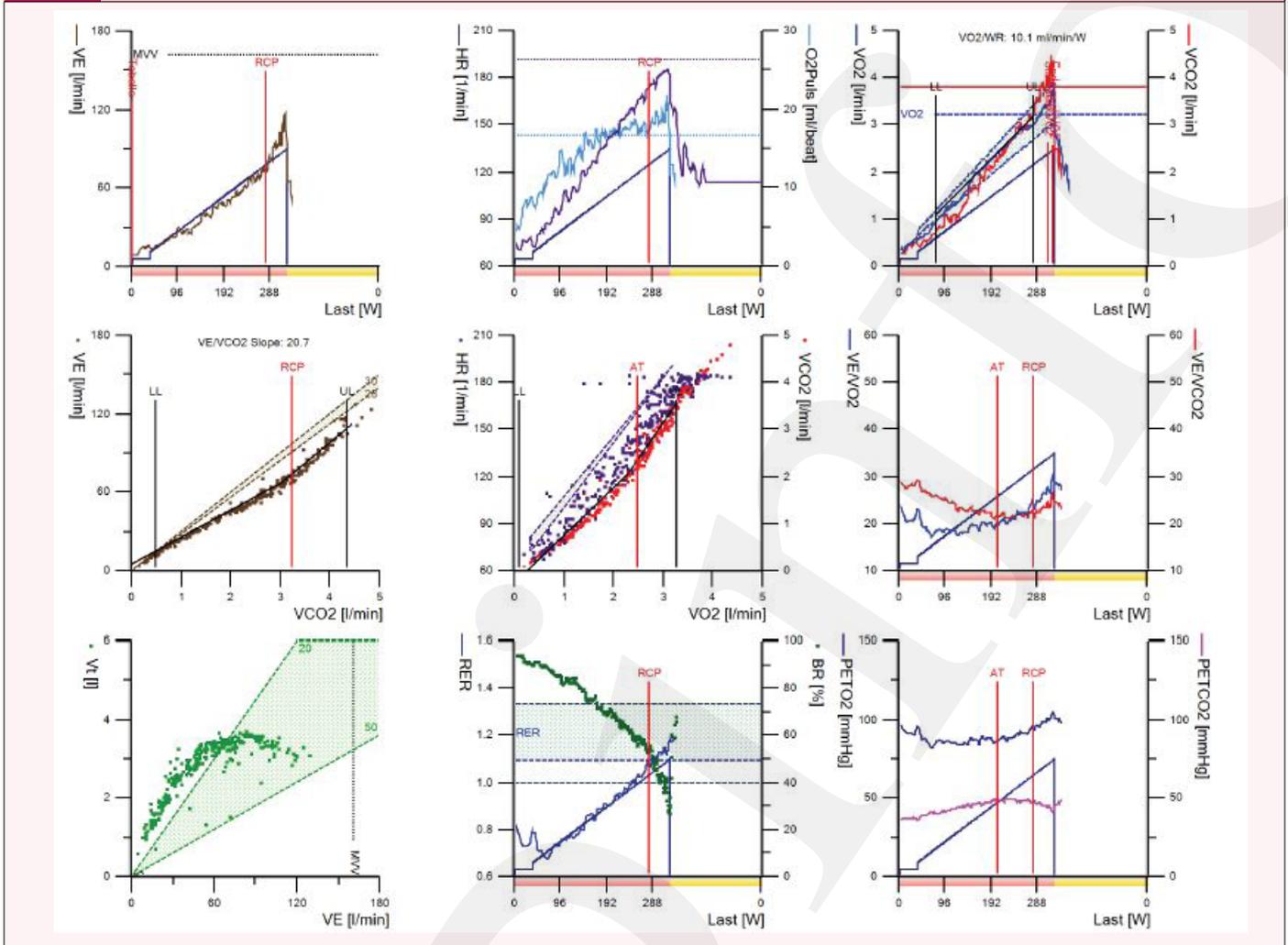
Kontraindikation (1)

1. Akuter Myokardinfarkt, instabile Angina pectoris, unkontrollierte Hypertonie und Herzinsuffizienz
2. Synkope
3. Symptomatische schwere Aortenstenose
4. Endo-, Myo-, oder Perikarditis
5. Akute Thromboembolie oder signifikante pulmonale Hypertonie
6. Aortendissektion
7. Unkontrolliertes Asthma bronchiale
8. Respiratorisches Versagen bei in Ruhe gemessener Sauerstoffsättigung $\leq 85\%$.



Abb. 1: Durchführung einer Spiroergometrie bei einem jungen Sportler

ABB. 2 Wassermann-Grafik eines Gesunden



Quelle: Klinik für Pneumologie, UniversitätsSpital Zürich

Messwerte (1)

Die Spiroergometrie misst die externe Arbeitsleistung, den metabolischen und pulmonalen Gasaustausch, die kardiovaskuläre Funktion, die Ventilation und den Säure-Base-Haushalt. Die Testresultate werden als Messwerte absolut, in % des Sollwertes und in Form der 9-Felder-Grafik nach Wassermann dargestellt (Abb. 2).

Metabolischer Gasaustausch

Die maximale Sauerstoffaufnahme (V_{O2max}) ist die beste Konstante zur Evaluation der kardiorespiratorischen Kapazität. Sie steigt unter Belastung linear zur Arbeitsleistung an. Da CO_2 im Gewebe und Blut löslicher ist als O_2 , hängt die CO_2 -Abgabe vor allem von der Ventilation ab. Der respiratorische Austauschquotient (RER) wird durch den Quotienten V_{CO2}/V_{O2} berechnet (1). Die anaerobe Schwelle beschreibt den V_{O2} -Wert, bei welchem unter körperlicher Belastung durch Anstieg des Laktats eine metabolische Azidose auftritt (1).

Diese kann invasiv durch die arterielle Blutgasanalyse (pH, HCO_3^- , Laktat), oder nicht invasiv anhand der ventilatorischen Parameter (Atemäquivalente für O_2 (VE/V_{O2}) und für CO_2 (VE/V_{CO2}) sowie der endexpiratorischen P_{O2} und P_{CO2} -Werten) bestimmt werden (1). Bis zur anaeroben Schwelle nehmen V_{O2} und V_{CO2} linear mit der Minutenventilation zu. Ist die anaerobe Schwelle überschritten,

nimmt die Ventilation und V_{CO2} über die Leistungssteigerung hinaus überproportional zu, um die Azidose zu kompensieren.

Die Zunahme des V_{O2} bleibt linear, da diese nicht nur von der Ventilation, sondern auch vom Herzminutenvolumen und dem metabolischen Gasaustausch der Muskulatur abhängt. Im Bereich der anaeroben Schwelle erreichen VE/V_{O2} und das endexpiratorische P_{O2} ein Minimum und steigen anschliessend an, parallel dazu bleibt VE/V_{CO2} und das endexpiratorische P_{CO2} noch kurzzeitig unverändert. Dabei liegt der respiratorische Austauschquotient (V_{CO2}/V_{O2}) ≥ 1 .

Kardiovaskuläre Parameter

Das Herzminutenvolumen (HMV) wird durch die Fick-Gleichung definiert und entspricht dem Schlagvolumen x Herzfrequenz = $V_{O2}/[Differenz\ des\ arterio-venösen\ Sauerstoffgehaltes]$. Unter Belastung nimmt das HMV durch Zunahme der Herzfrequenz und des Schlagvolumens zu. Der O_2 -Puls entspricht der Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag (V_{O2}/HR) und steigt unter Belastung an (1). Ein gesteigerter Sympatikonus führt unter Belastung zu einer Erhöhung des systolischen Blutdrucks und zur Vasodilatation in den Muskeln, wodurch der diastolische Blutdruck konstant bleibt oder sich leicht reduziert (1). Mit dem EKG lassen sich Hinweise auf eine Ischämie oder komplexe Rhythmusstörungen darstellen.

Ventilatorische Parameter

Unter Belastung wird das Atemminutenvolumen gesteigert, indem das Atemzugvolumen und die Atemfrequenz erhöht werden. Die ventilatorische Reserve bleibt normalerweise unter maximaler Anstrengung erhalten (1).

Pulmonaler Gasaustausch

Der wichtigste Parameter zur Beurteilung des pulmonalen Gasaustauschs ist die alveolo-arterielle P_{O_2} -Differenz ($P(A-a)_{O_2}$). Normalerweise steigt $P(A-a)_{O_2}$ unter Belastung wegen erhöhtem Ventilations-/Perfusions-Mismatch, limitierter alveolo-kapillärer O_2 -Diffusion und vermehrter O_2 -Extraktion in den peripheren Geweben leicht an (1). Der P_{aO_2} , SaO_2 und SpO_2 bleibt unter Belastung konstant. Der Quotient aus Totraumventilation und Atemzugsvolumen (VD/VT) beschreibt die Effizienz der Ventilation. Unter Belastung nimmt das VT zu, so dass VD/VT fällt (1).

Interpretation (1, 5, 6)

Als erstes wird der Effort beurteilt. Als nächstes werden die $V_{O_{2max}}$ -Werte, die maximale Arbeitsleistung, die maximale Herzfrequenz mit der kardialen Reserve, sowie die ventilatorischen Parameter mit der Reserve und die SaO_2 beurteilt. Im letzten Schritt wird die anaerobe Schwelle bewertet.

Befunde bei verschiedenen Krankheiten

Entsprechend den vorbestehenden Krankheiten zeigt die Spiroergometrie unterschiedliche Pathologien.

Herzinsuffizienz

Es zeigt sich eine reduzierte $V_{O_{2max}}$ bei einer tieferen anaeroben Schwelle. Die kardiale Reserve kann aufgebraucht werden oder je nach Schweregrad der Herzinsuffizienz und Medikation erhalten bleiben. Der O_2 -Puls ist vermindert und es findet sich eine grosse ventilatorische Reserve. Das EKG zeigt Hinweise auf Ischämien und/oder komplexe Rhythmusstörungen (1).

Chronisch obstruktive Pneumopathie

Es zeigt sich eine verminderte $V_{O_{2max}}$ bei einer tiefen oder nicht erreichten anaeroben Schwelle. Typischerweise findet sich eine verminderte bis aufgebrauchte ventilatorische Reserve und eine erhöhte Totraumventilation. Es findet sich ein normales bis erniedrigtes P_{aO_2} und eine normale bis erhöhte $P(A-a)_{O_2}$. Die kardiale Reserve bleibt erhalten. Der O_2 -Puls ist oft normal oder erniedrigt (1).

Interstitielle Lungenerkrankung

Es zeigt sich eine verminderte $V_{O_{2max}}$ bei einer normalen oder erniedrigten anaeroben Schwelle. Typischerweise findet sich eine verminderte ventilatorische Reserve mit deutlich erhöhter Atemfrequenz, Totraumventilation und $P(A-a)_{O_2}$. Das P_{aO_2} ist erniedrigt. Die kardiale Reserve bleibt erhalten und der O_2 -Puls ist reduziert (1).

Spezielle Fragestellungen

Festlegung der Trainingsintensität

Für Patienten mit leichter bis mittelgradiger COPD empfiehlt sich ein Ausdauertraining im Bereich von 60% des $V_{O_{2max}}$ und bei schwergradiger COPD repetierte, kurze Trainingsphasen mit 85% des $V_{O_{2max}}$. Für Patienten mit Herzinsuffizienz bietet sich ein Training im Bereich von 60% der Herzfrequenzreserve an (7, 8).

TAB. 1 Normalbefunde (1)

Parameter	Normalwerte
$V_{O_{2max}}$	>84% des Sollwertes
Anaerobe Schwelle	>40% des Soll- $V_{O_{2max}}$
Maximale Herzfrequenz	>90% der Sollherzfrequenz
Herzfrequenzreserve	<15 Schlägen/min.
Blutdruck	<220/90 mmHg
O_2 -Puls	>80% des Sollwertes
Ventilatorische Reserve	<85% des Sollwertes
Atemfrequenz	<60/min.
VD/VT	<0.3
P_{aO_2}	>80 mmHg
$P(A-a)_{O_2}$	<35 mmHg

Abklärung der Operabilität vor thoraxchirurgischen Eingriffen

Ein geringes perioperatives Risiko findet sich bei einem $V_{O_{2max}} > 20$ ml/min./kg KG bzw. > 60% Soll- $V_{O_{2max}}$ ein hohes bei $V_{O_{2max}} < 10$ ml/min./kg KG bzw. < 40% Soll- $V_{O_{2max}}$ (9).

Beurteilung der Arbeitsfähigkeit

Je nach $V_{O_{2max}}$ kann die Arbeitsfähigkeit in Abhängigkeit der Tätigkeit beurteilt werden (10).

Dr. med. Tsogyal Latshang

Oberärztin, Klinik für Pneumologie, UniversitätsSpital Zürich
Rämistrasse 100, 8091 Zürich
tsogyal.latshang@usz.ch

+ Literatur

am Online-Beitrag unter: www.medinfo-verlag.ch

Take-Home Message

- ◆ Die Spiroergometrie ist der Goldstandard zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit
- ◆ Sie ermöglicht eine detaillierte Beurteilung von leistungslimitierenden Faktoren in Gesunden und in Patienten mit kardialer und/oder pulmonaler Erkrankung
- ◆ Sie spielt eine wichtige Rolle in der Abklärung von unklarer Leistungstoleranz und Dyspnoe und anstrengungsinduziertem Asthma bronchiale
- ◆ Sie hilft in der Beurteilung der Arbeitsfähigkeit und des perioperativen Risikos

Message à retenir

- ◆ L'épreuve d'effort est le gold standard pour l'évaluation de la performance physique
- ◆ Elle permet une évaluation détaillée des facteurs de limitation de la performance chez les sujets sains et chez les patients atteints de maladie cardiaque et/ou pulmonaire
- ◆ Elle joue un rôle important dans l'enquête sur l'intolérance d'exercice et de la dyspnée inexplicée et de l'asthme bronchique induit par effort
- ◆ Elle contribue à l'évaluation de la capacité de travail et du risque périopératoire

Literatur:

1. 2003) ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 167: 211-277
2. Stuart RJ, Jr., Ellestad MH (1980) National survey of exercise stress testing facilities. *Chest* 77: 94-97
3. Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381
4. [Anonymous] (1991) American College of Sports Medicine. Guidelines for exercise testing and prescription
5. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburi R (1999) Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications
6. Weisman IM, Zeballos RJ (2001) Clinical exercise testing. *Clin Chest Med* 22: 679-701, viii
7. Casaburi R, Wasserman K (1986) Exercise training in pulmonary rehabilitation. *N Engl J Med* 314: 1509-1511
8. Whellan DJ, O'Connor CM, Lee KL, Keteyian SJ, Cooper LS, Ellis SJ, Leifer ES, Kraus WE, Kitzman DW, Blumenthal JA, Rendall DS, Houston-Miller N, Fleg JL, Schulman KA, Pina IL (2007) Heart failure and a controlled trial investigating outcomes of exercise training (HF-ACTION): design and rationale. *Am Heart J* 153: 201-211
9. Win T, Jackson A, Sharples L, Groves AM, Wells FC, Ritchie AJ, Laroche CM (2005) Cardiopulmonary exercise tests and lung cancer surgical outcome. *Chest* 127: 1159-1165
10. Roca J. (2013) Clinical exercise testing