

Die umfassendste Untersuchung zur Abklärung der globalen kardiopulmonalen und muskulären Leistungsfähigkeit

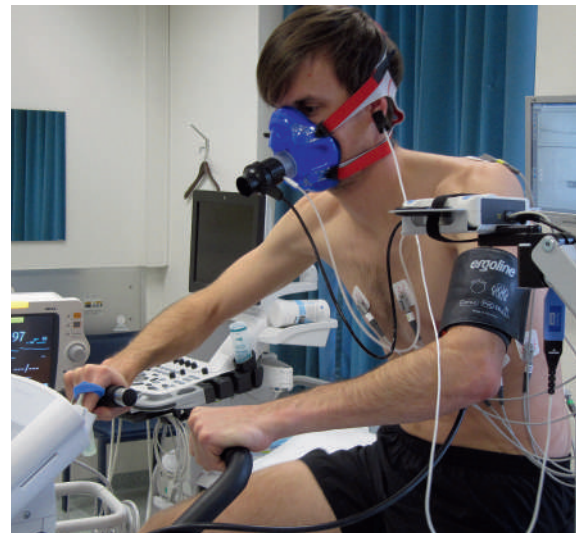
Spiroergometrie – Indikation, Durchführung und Interpretation

Frank Rassouli, Robert Thurnheer

Kantonsspital Münsterlingen, Pneumologie

Quintessenz

- Die Spiroergometrie ist die umfassendste Untersuchung zur Abklärung der globalen kardiopulmonalen und muskulären Leistungsfähigkeit.
- Die Untersuchung eignet sich zur Abgrenzung kardial und pulmonal bedingter Dyspnoe von anderen Ursachen, zudem für arbeitsmedizinische Abklärungen und die präoperative Risikoabschätzung.
- Eine standardisierte Beurteilung mit Einbezug möglicher kardialer, pulmonaler und muskulärer Limitationen ist zu empfehlen.
- Bei Beachtung der Kontraindikationen und Abbruchkriterien ist die Untersuchung sicher, jedoch technisch anspruchsvoll.



Die Spiroergometrie (Cardiopulmonary Exercise Testing, CPET) dient der Untersuchung der ventilatorischen und kardiovaskulären Funktion und des Gasaustausches während eines Symptom-limitierten, maximalen Steigerungsprotokolls. Sie ist der Goldstandard zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie der limitierenden Faktoren im Falle einer verminderten körperlichen Leistungsfähigkeit.

Indikationen

Typische Indikation ist eine Objektivierung von ungeklärter Belastungsdyspnoe bzw. Leistungsintoleranz und deren Quantifizierung. Der Schweregrad einer Einschränkung lässt sich für die Beurteilung der Arbeitsfähigkeit miteinbeziehen. Oft ist die Ursache einer Leistungsminderung ersichtlich, das heisst, es findet sich eine eindeutig kardiale, pulmonale oder andere Ursache einer Leistungsintoleranz. Ausserdem kann ein CPET für die Beurteilung der Operabilität, zum Beispiel vor geplanter Lungenresektion oder anderen grossen Eingriffen, für die Messung therapeutischer Effekte, beispielsweise nach pulmonaler Rehabilitation, und für die Prognosebeurteilung bei

Herzinsuffizienz eingesetzt werden. Bei Patienten mit Komorbiditäten kann die hauptsächlich limitierende Erkrankung eruiert werden, zum Beispiel bei Patienten mit COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung) und Herzinsuffizienz. Funktionseinschränkungen des Gasaustausches durch Diffusions- oder Verteilungsstörungen (V/Q mismatch) wie zum Beispiel bei interstitiellen Pneumopathien oder pulmonaler Hypertonie lassen sich in frühen Stadien erfassen. Anstrengungsinduzierte Hyperventilation, oder selten auch mangelnde Kooperationsbereitschaft, lassen sich durch diese Untersuchung ebenfalls diagnostizieren [1].

Kontraindikationen

Diese sind mit denjenigen der alleinigen Fahrradergometrie vergleichbar; ein Myokardinfarkt in den letzten fünf Tagen, instabile Angina pectoris, unkontrollierte Arrhythmien, Endokarditis, Myokarditis, Perikarditis, eine akute Lungenembolie, tiefe Venenthrombose, symptomatische schwere Aortenstenose, manifeste Herzinsuffizienz, unkontrolliertes Asthma und signifikante Ruhehypoxämie sind dabei die wichtigsten Kontraindikationen.

Tabelle 1: Gemessene und errechnete Parameter.

Gemessen		
WR	work rate	Arbeitsrate in Watt
HR	heart rate	Herzfrequenz
BP	blood pressure	Blutdruck
SpO ₂ /PaO ₂		Arterielle Sauerstoffsättigung/Sauerstoffgehalt
RR	respiratory rate	Atemfrequenz
AMV		Atemminutenvolumen
IC	inspiratory capacity	Inspiratorische Kapazität
V _{DS} /V _T		Totraumventilation
V'O ₂ max		Maximale O ₂ -Aufnahme
Errechnet		
HRR	heart rate reserve	Herzfrequenzreserve; Differenz aus geschätzter maximaler Herzfrequenz und erreichter Herzfrequenz
BR	breathing reserve	Atemreserve; Differenz aus maximaler willkürlicher Ventilation und Ventilation bei Belastungsmaximum
RER	respiratory exchange ratio	Respiratorischer Quotient
AT	anaerobic threshold	Anaerobe Schwelle; Arbeitsintensitäten unterhalb dieser Schwelle können für längere Zeit durchgehalten werden
O ₂ -Puls		Sauerstoff-Puls, Sauerstoffaufnahme pro Pulsschlag; Korrelat des Schlagvolumens unter Belastung
ΔV'O ₂ /ΔWR	oxygen cost of work	Energie-Effizienz
P(A-a)O ₂		Alveolo-arterieller Druckgradient, erhöht bei Diffusions- und Verteilungsstörungen, unverändert bei reinen Ventilationsstörungen

Tabelle 2: Normalwerte.

Parameter	Bei maximaler Belastung
WR	Gemäss Formel
HR _{peak}	>90% des Solls
HRR	<15 bpm
BP	<200/90 mm Hg
SaO ₂ -Desaturation	Keine Desat. (max. Desat. <5%)
RR	40–50/min
MVV	37,5 × FEV ₁
BR	>20–30%, >15 l/min absolut
RER	>1,15
IC	Unverändert
V _{DS} /V _T	<30%, 10–15% bei V'O ₂ max
AT	>40% des V'O ₂ max-Sollwertes
V'O ₂ max	>80% des Solls (Plateau)
O ₂ -Puls	14–18 ml/Schlag
PaO ₂	>80 mm Hg
ΔVO ₂ /ΔWR	8,5–11,0 ml/min/W

Durchführung

Vor Beginn der Spiroergometrie erfolgt normalerweise die Bestimmung der Lungenfunktion in Ruhe (Spirometrie, ± Bodyplethysmographie, ± Messung der Diffusionskapazität) und eine arterielle Blutgasanalyse. Die Spiroergometrie wird als sogenanntes Symptom-limitiertes, maximales Steigerungsprotokoll, häufig mittels Fahrrad-Ergometrie oder mittels Laufband durchgeführt. Eine Kalibration der Gasanalyse-

toren und des Flusssensors muss einmal täglich durchgeführt werden. Der Patient sollte bequeme Sportkleidung tragen und zwei Stunden vor der Untersuchung keine grösseren Anstrengungen unternehmen und keine grosse Mahlzeit einnehmen. Der Untersuchungsvorgang sowie das Gerät sollten dem Patienten gut erklärt werden. Die Sitzhöhe und die Höhe der Griffe müssen auf den Patienten eingestellt werden. Nach Wahl des geeigneten Steigerungsprotokolls soll der Patient mit einer konstanten Trittfrequenz (60–70 U/min) treten, solange er kann bzw. bis eines der Abbruchkriterien auftritt. Nach der Belastung werden die Abbruchgründe erfragt, ebenso sollte die subjektive Anstrengung mittels visueller Analogskala oder modifizierter Borg-Skala erfasst werden.

Abbruchkriterien

Als Abbruchkriterien gelten: Angina pectoris bzw. unklare Thoraxschmerzen, Ischämiezeichen oder höhergradige Arrhythmien im EKG, ein Blutdruckabfall >20 mm Hg vom höchsten Wert, ein Blutdruck systolisch >250 mm Hg oder diastolisch >120 mm Hg, eine Sauerstoff-Desaturation <80%, Blässe, Schwindel, Verwirrung oder Zeichen eines respiratorischen Versagens. Durch direkte ärztliche Überwachung, Beachtung von Kontraindikationen sowie Abbruchkriterien, regelrechtes Monitoring der Vitalzeichen sowie Reanimationsbereitschaft und Verfügbarkeit von Sauerstoff kann das Risiko minimiert werden [2].

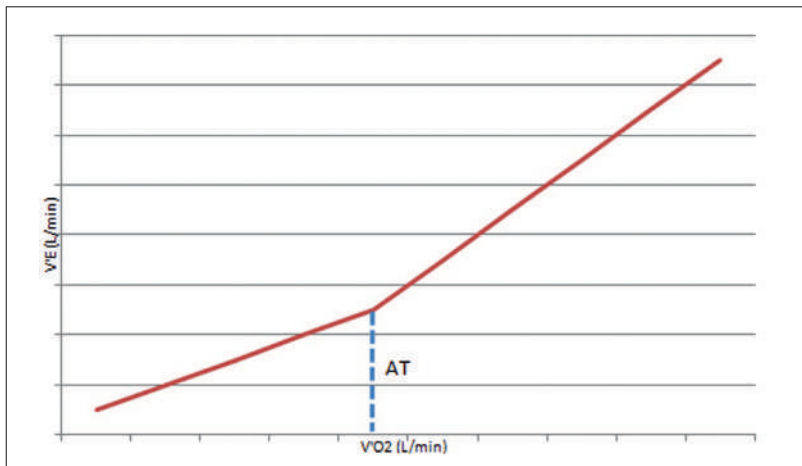


Abbildung 1: Relation Ventilation/Sauerstoff-Aufnahme ($V'E/V'O_2$) zur nichtinvasiven Bestimmung der AT (idealtypische Kurve).

Variablen und Parameter

Im Folgenden werden die bei der Spiroergometrie relevanten gemessenen und errechneten Variablen und Parameter (siehe auch Tab. 1 und 2) kurz erklärt.

Soll-Arbeitsleistung

Für die Soll-Arbeitsleistung (WR_{max}) gibt es verschiedene Normalwert-Tabellen. Hier ist die Formel nach Jones [3] ohne Berücksichtigung des Körpergewichts angegeben:

$$\text{♂} = (2526 \times \text{Grösse(m)} - 9,08 \times \text{Alter(J)} - 2759) \times 0,163$$

$$\text{♀} = (1266 \times \text{Grösse(m)} - 8,27 \times \text{Alter(J)} - 940) \times 0,163$$

Herzfrequenz und Herzfrequenzreserve

Beim Gesunden steigt die Herzfrequenz (heart rate, HR) linear mit zunehmender Belastung. Die Herzfrequenzreserve (heart rate reserve, HRR) beschreibt die Differenz von geschätzter maximaler Herzfrequenz ($HR_{peak,pred}$) und tatsächlich erreichter maximaler Herzfrequenz (HR_{peak}). Die maximal mögliche Herzfrequenz ist primär altersabhängig und wird meistens folgendermassen geschätzt: $HR_{peak,pred} = 220 - \text{Alter}$. Die HRR wird dann berechnet als $HRR = HR_{peak,pred} - HR_{peak}$. Beim Gesunden sollte die HRR beim Belastungsmaximum annähernd 0 betragen (dies zeigt eine maximale Anstrengung des Patienten). Eine erhöhte HRR wird zum Beispiel bei COPD, zystischer Fibrose (CF) und interstitiellen Lungenerkrankungen (ILD) beobachtet, aber auch bei Therapie mit negativ chronotropen Medikamenten (z.B. Betablocker) oder unzureichender Mitarbeit des Patienten.

Blutdruck

Während der Belastung steigt normalerweise der systolische Blutdruck (blood pressure, BP) progressiv

mit Zunahme des $V'O_2$ (Sauerstoffaufnahme), während der diastolische Blutdruck relativ konstant bleibt. Ein verstärkter Blutdruckanstieg kann bei manifester arterieller Hypertonie, aber auch als Frühzeichen bei noch nicht manifester arterieller Hypertonie auftreten. Ein verminderter Anstieg weist auf eine kardiovaskuläre Erkrankung hin. Ein Blutdruckabfall während der Belastung ist ein Alarmzeichen für Herzinsuffizienz, kardiale Ischämie oder Obstruktion des Ausflustraktes und muss umgehend zum Abbruch der Untersuchung führen.

Arterielle Sauerstoffsättigung

Während körperlicher Belastung bleibt die arterielle Sauerstoffsättigung (PaO_2) beim Gesunden stabil oder steigt an. Eine Desaturation während Belastung wird vor allem bei interstitiellen Lungenerkrankungen (ILD) und pulmonaler Hypertonie (PH) beobachtet. Eine Ausnahme sind Leistungssportler, bei denen es bei maximaler Belastung zu einer Desaturation kommen kann.

Atemfrequenz, maximale Minutenventilation

Die Ruhe-Atemfrequenz beträgt typischerweise 12–16/min und wird bei Belastung auf 40–50/min (evtl. sogar noch leicht höher) ansteigen. Das Atemzugvolumen steigt von 0,5 Litern auf 55% der Vitalkapazität an. Die maximale willkürliche Minutenventilation kann spirometrisch gemessen werden, meist wird sie jedoch mit der Formel $FEV_1 \times 37,5$ (Faktor variierend zwischen 37 und 40) extrapoliert.

Atemreserve

Die Atemreserve (ventilatorische Reserve, breathing reserve, BR) beschreibt, wie viel von der maximal möglichen Ventilation (maximum voluntary ventilation, MVV) bei maximaler Belastung tatsächlich ausgeschöpft wird ($V'E_{max}$). Die BR wird berechnet als: $BR = 1 - V'E_{max}/MVV$. Patienten mit respiratorischen Erkrankungen haben typischerweise eine reduzierte ventilatorische Kapazität, folglich eine reduzierte BR. Bei COPD und ILD ist die BR bei maximaler Belastung typischerweise reduziert oder komplett aufgehoben.

Respiratory Exchange Ratio

Die Respiratory Exchange Ratio (RER) beschreibt den Quotienten $V'CO_2/V'O_2$, der unter Steady-state-Bedingungen dem respiratorischen Quotienten entspricht. Werte >1 zeigen eine erhöhte CO_2 -Abgabe an, zum Beispiel bei Laktatazidose (nach Überschreiten der anaeroben Schwelle, s.u.) oder Hyperventilation. Werte $>1,15$ weisen darauf hin, dass ein Patient sich wirklich angestrengt hat.

Tabelle 3: Typische Antwortmuster der Spiroergometrie bei verschiedenen Konditionen.

	CHF	COPD	ILD	PH	Dekonditionierung
V'O₂max	↓	↓	↓	↓	↓
AT	↓	V/nb	↓	↓	↓/↔
HR_{peak}	V	↓/↔	↓	↓/↔	↓/↔
HRR	V	↑/↔	↑	↑/↔	↑/↔
O₂-Puls	↓	↓/↔	↓/↔	↓	↓
BR	↑/↔	↓	↓/↔	↔	↔
PaO₂	↔	V	↓	↓	↔
AA-Gradient	↔	V	↑	↑	↔
V_{DS}/V_T	↔	↑	↑	↑	↔

V = variabel, nb = nicht bestimmbar, CHF = congestive heart failure, COPD = chronic obstructive pulmonary disease, ILD = interstitial lung disease, PH = pulmonary hypertension.

Inspiratorische Kapazität

Normalerweise reduziert sich das endexpiratorische Lungenvolumen (EELV) mit zunehmender Belastung um bis zu 1 Liter unter die funktionelle Residualkapazität (FRC). Während der Spiroergometrie wird der Patient in festen Zeitabständen gebeten, ein maximales inspiratorisches Manöver (IC) auszuführen. Bei COPD erhöht sich typischerweise das EELV im Laufe der Belastung (sichtbar durch die Reduktion des IC), was als dynamische Hyperinflation bezeichnet wird. Bei erhöhtem EELV erhöht sich auch die Atemarbeit (work of breathing, WOB), weil die elastischen Rückstellkräfte von Thorax und Lunge zunehmen.

Totraumventilation

Die Totraumventilation (V_{DS}/V_T) (DS = dead space, T = tidal) ist abhängig vom Atemmuster sowie der Lungenfunktion. Sie liegt in Ruhe normalerweise bei 30% und fällt mit steigender Belastung auf 10–15%. Die Totraumventilation kann bei verschiedenen Erkrankungen erhöht sein, ist aber für sich allein nicht diagnostisch für spezifische Störungen und muss immer im Gesamtkontext interpretiert werden.

Anaerobe Schwelle

Die anaerobe Schwelle (Laktatschwelle, AT) entspricht der maximalen $V'O_2$, bei der noch keine progrediente Erhöhung der Blutlaktatkonzentration auftritt. Arbeitsintensitäten unterhalb dieser Schwelle können für längere Zeit durchgehalten werden. Eine invasive indirekte Messung kann mittels arterieller Blutgasanalyse (ABGA) oder serieller venöser Laktatmessungen durchgeführt werden. In der Regel wird die AT jedoch nichtinvasiv bestimmt. Dafür existieren verschiedene Möglichkeiten, zum Beispiel, wenn die RER >1 wird oder wenn $V'E$ (aufgrund des vermehrt anfallenden CO_2) im Vergleich zu $V'O_2$ überproportional zu steigen beginnt (Abb. 1).

Beim Gesunden liegt die AT meistens bei 50–60% der $V'O_2$ max (maximale Sauerstoffaufnahme), bei Leistungssportlern deutlich darüber (bis zu 80% der $V'O_2$ max). Werte unter 40% $V'O_2$ max werden bei diversen kardiovaskulären, respiratorischen und muskuloskeletalen Erkrankungen beobachtet.

Maximale Sauerstoffaufnahme

Die maximale Sauerstoffaufnahme ($V'O_2$ max) ist das klassische Kriterium zur Bewertung der kardiorespiratorischen Fitness sowie zur Schweregradeinteilung einer verminderten körperlichen Leistungsfähigkeit. Sie reflektiert bei guter Mitarbeit des Patienten die maximale aerobe Kapazität. Werte <80% des Solls werden als pathologisch beurteilt, Werte <40% zeigen eine schwere Einschränkung an. Durch Training kann die maximale Sauerstoffaufnahme um ca. 25% gesteigert werden. Als Faustregel gilt:

- Männer: 18 bis 22 Jahre: 44–50 ml/kgKG/min, ab 30 Jahren: –1%/Jahr;
- Frauen: 18 bis 22 Jahre: 38–42 ml/kgKG/min, ab 30 Jahren: –1%/Jahr;
- Spitzensportler bis 85 ml/kgKG/min.

Bei schwerer Herzinsuffizienz liegt der Wert typischerweise <14 ml/kgKG/min. Bei Patienten, die mehr als 20 ml/kgKG/min erreichen, genügen die ventilatorischen Reserven für eine Pneumonektomie.

Sauerstoff-Puls

Der Sauerstoff-Puls (O_2 -Puls) ist das Produkt aus Schlagvolumen und arterio-gemischtvenöser Sauerstoffdifferenz ($CaO_2 - CvO_2$). Aus der Gleichung $V'O_2 = \text{Herzzeitvolumen} \times (CaO_2 - CvO_2)$ folgt die Berechnung des Sauerstoffpulses als $O_2\text{-Puls} = V'O_2/HR$. Dieser wird oft als Korrelat des Schlagvolumens unter Belastung angesehen, muss jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da auch Dekonditionierung, ein frühzeitiger

Abbruch aufgrund von respiratorischer Limitation, subjektiv limitierenden Symptomen oder submaximaler Mitarbeit zu erniedrigten Werten führen.

Energie-Effizienz

Die Energie-Effizienz ($\Delta V\text{O}_2/\Delta\text{WR}$), auch als *oxygen cost of work* bezeichnet, beschreibt die Effizienz der Sauerstoffverarbeitung von der Aufnahme bis zur effektiven Umwandlung in Arbeit. Werte zwischen 8,5 und 11,0 ml/min/W gelten als normal [4]. Die *oxygen cost of work* kann mittels folgender Formel berechnet werden: $\Delta V\text{O}_2/\Delta\text{WR} = (V'\text{O}_{2,\text{max}} - V\text{O}_{2,\text{Ruhe}}) / (\text{Dauer der Belastung} - 45 \text{ sec}) \times \Delta\text{W}/\text{min}$.

Interpretation der CPET

Zunächst muss bestimmt werden, ob der Test mit maximaler Anstrengung/Mitarbeit durchgeführt wurde. Indikatoren, die dafür sprechen, sind:

- Plateaubildung des $V'\text{O}_{2,\text{max}}$ ($V'\text{O}_{2,\text{max}}$ ist erst erreicht, wenn die O_2 -Kurve sich am Ende abflacht und nicht weiter ansteigt)
- HR oder $V'E$ haben das erwartete Maximum erreicht
- RER $>1,15$
- Laktat >4 mmol/l
- Völlige Erschöpfung des Patienten.

Im Anschluss werden folgende Fragen beantwortet:

- Sind die Resultate normal oder abnormal?
- Wie stark ist der Patient limitiert?
- Welche Faktoren sind für die Limitation verantwortlich?
- Welche(s) abnormale(n) Reaktionsmuster konnte(n) dargestellt werden?
- Welche Erkrankungen können für diese(s) Muster verantwortlich sein?

Physiologische Reaktion des Gesunden auf körperliche Belastung

Die $V'\text{O}_{2,\text{max}}$ ist beim Gesunden determiniert durch die Kapazität des kardiovaskulären Systems. Der Gasaustausch bleibt erhalten. Durch die zunehmende Hyperventilation bei ansteigender Belastung kann es zu einer Reduktion des PaCO_2 und einer Steigerung des PaO_2 gegen Ende der Belastung kommen. Für genauere Erklärungen der normalen Arbeitsphysiologie wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Ventilatorisch-mechanische Limitation

Die ventilatorische Antwort auf Belastung ist bei Lungenerkrankungen verstärkt. Das bedeutet, dass

diese Patienten mehr Atemarbeit leisten müssen, um die gleiche Menge CO_2 abzuatmen. Zudem verfügen sie (s.o.) über eine reduzierte Atemreserve (BR). Beim Gesunden beträgt die BR bei maximaler Belastung ca. 30% (bei sehr gut Trainierten kann dies deutlich weniger sein). Eine ventilatorische Limitation liegt vor, wenn die BR kleiner als 20–30% wird. Dies kann sowohl aus einer Reduktion der MVV als auch einer Erhöhung der $V'E$ resultieren.

Limitation durch gestörten Gasaustausch bei Lungenerkrankungen

Beim Gesunden verringert sich der Sauerstoffpartialdruck PaO_2 unter Belastung nicht. Ebenso bleibt der Aa-Gradient ($\text{P}_{\text{A-aO}_2}$) im Normalbereich. Bei interstitiellen Pneumopathien, pulmonal-vaskulären Erkrankungen (PVD) und Erkrankungen mit Rechts-Links-Shunt ist der pulmonale Gasaustausch durch Diffusionsstörung und/oder Ventilations-Perfusions-Ungleichgewicht gestört, was sich in einer arteriellen O_2 -Desaturation und einem erhöhten Aa-Gradienten manifestiert. Dies kann auch bei schwerer COPD der Fall sein.

Kardiale Limitation

Linksherzinsuffizienz

Patienten mit Herzinsuffizienz zeigen aufgrund der verminderten linksventrikulären Auswurfraction (LVEF) einen verminderten O_2 -Puls. Der Pulsanstieg erfolgt zu früh, die Herzfrequenzreserve ist vorzeitig aufgebraucht. Eine chronotrope Inkompetenz kann ebenfalls der limitierende Faktor sein, zum Beispiel bei Erkrankungen des Reizleitungssystems oder auch medikamentös induziert.

Rechtsherzbelastung, pulmonale Hypertonie

Bei Lungengefässerkrankungen zeigt sich unter Umständen ein erhöhtes ventilatorisches Äquivalent für CO_2 ($V'E/V'\text{CO}_2$) und ein tiefes End-Tidal- CO_2 im Bereich der anaeroben Schwelle. Die O_2 -Puls-Kurve weist ein frühes Plateau und einen erniedrigten Maximalwert auf.

Myokardiale Ischämie

Neben klinischen Hinweisen und EKG-Veränderungen erreicht bei myokardialer Ischämie der Sauerstoffpuls früh ein Plateau, ebenfalls findet sich in $\Delta V'\text{O}_2/\Delta\text{W}$ ein vorzeitiges Plateau.

Muskuläre Erkrankung

Bei mitochondrialen Myopathien steigt das Herzzeitvolumen Q im Verhältnis zur Sauerstoffaufnahme

überproportional an: $\Delta Q/\Delta V'O_2$. Da Q zusätzliche aufwendige Messungen benötigt, bietet sich hier eher der SATET (Sub Anaerobic Threshold Exercise Test) an. Die Peak-Minutenventilation ist im Verhältnis zur Sauerstoffaufnahme erhöht (Peak $V'E/V'O_2$). Tabelle 3 zeigt typische Antwortmuster der Spiroergometrie bei verschiedenen Bedingungen.

Kofaktoren

Zu den oben genannten limitierenden «Haupt»-Faktoren können diverse Kofaktoren hinzutreten, die zu einer weiteren Aggravation der Leistungsintoleranz bzw. verstärkten Reduktion der $V'O_{2max}$ beitragen können:

- Hyperventilation ($PaCO_2$ am Ende der Belastung <35 mm Hg)
- Belastungshypertonie (systolisch >200 mm Hg, diastolisch >100 mm Hg bei 100 Watt)
- Anämie (Männer Hb <14 g/dl, Frauen Hb <12 g/dl). Schmid et al. haben 2007 einen Algorithmus zur Unterstützung der CPET-Interpretation entwickelt und validiert. Goldstandard als Vergleichsgrundlage war ein Expertenkonsens. Dieser wurde modifiziert und vereinfacht und ist in Abbildung 2 dargestellt. Er kann nur als Hilfe dienen und erhebt keinen Anspruch darauf, alleinig zur korrekten Interpretation der Resultate zu führen. Dazu wird immer auch der gesamte klinische Kontext benötigt.

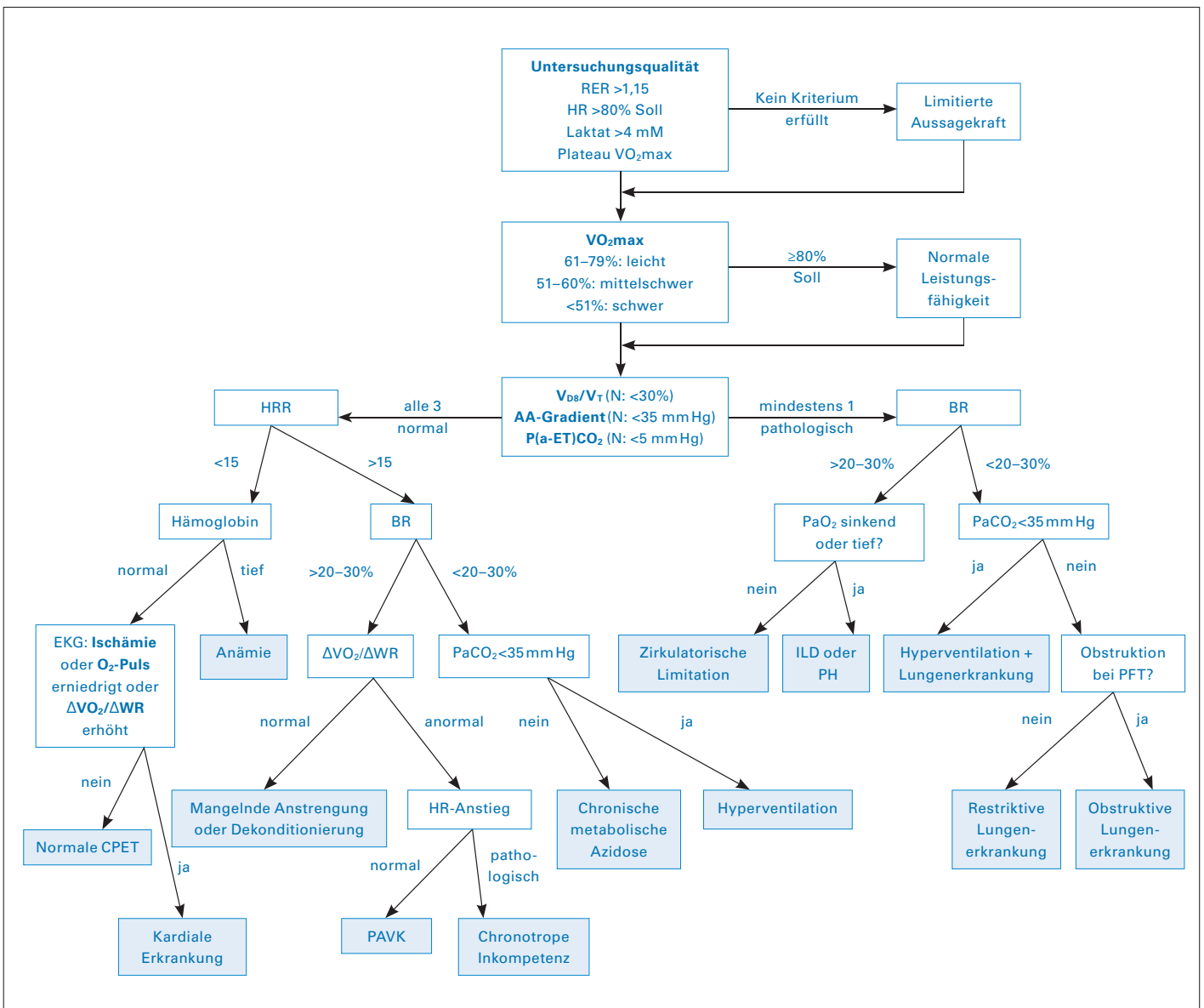


Abbildung 2: Algorithmus zur Unterstützung der CPET-Interpretation (modifiziert gemäss [5], Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages John Wiley and Sons). Grau hinterlegt ist der jeweilige limitierende Faktor der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit.

Tabelle 4: Geschätzte O₂-Aufnahme bei verschiedenen Aktivitäten.

Tätigkeit	VO ₂ (ml/min/kg)
Schreibtischarbeit, PKW fahren	4,25
LKW fahren	5,3
Lockeres Stehen/Kranführer/ einfache Montagen	8,75
Hausreinigung	9,45
Langsames Gehen/LKW-Fahren/ einfaches Be-/Entladen	10,5
Montage leicht-mittelschwer	12,25
Schnelles Gehen/Maurer-/Malararbeit	14
Servieren	14,7
Radwechsel	15,7
Heben/Tragen 10–20 kg	16
Heben/Tragen 20–30 kg	21
Bauarbeit/Möbelpacker	28
Heben/Tragen 40–50 kg	30

Korrespondenz:
Prof. Dr. med.
Robert Thurnheer
Kantonsspital
Postfach, Kantonsspital
CH-8596 Münsterlingen
robert.thurnheer[at]stgag.ch

CPET als Prognoseparameter

Beim Gesunden ist die Belastungstoleranz als Mortalitätsprädiktor etabliert. Dies gilt auch für chronische Lungenerkrankungen.

CPET zur Beurteilung der Arbeitsfähigkeit

Anhand der V'O₂max können Aussagen über die Fähigkeit, bestimmte Berufe auszuüben, getroffen werden. Generell sollte die Tätigkeit nicht mehr als 40% der V'O₂max beanspruchen, damit sie berufsmässig ausgeführt werden kann. Beispiele für die benötigte Sauerstoffaufnahme (V'O₂) während bestimmter Tätigkeiten sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Finanzierung/Interessenkonflikte

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Literatur

- 1 ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. American journal of respiratory and critical care medicine 2003;167:211-77.
- 2 Kroidl RF, Schwarz S., Lehnigk, B. Kursbuch Spiroergometrie. Thieme Verlag 2007.
- 3 Jones NL, Summers E, Killian KJ. Influence of age and stature on exercise capacity during incremental cycle ergometry in men and women. The American review of respiratory disease 1989;140:1373-80.
- 4 Palange P, Simonds AK. ERS handbook Respiratory Medicine. 2013.
- 5 Schmid A, Schilter D, Fengels I, et al. Design and validation of an interpretative strategy for cardiopulmonary exercise tests. Respirology 2007;12:916-23.