



Befundung Spiroergometrie

1. Auflage 2024

Befundung Spiroergometrie kompakt

= Analyse der Anpassungen von Lunge-Herz-Kreislauf-Stoffwechsel an die Belastung

Indikationen – Parameter

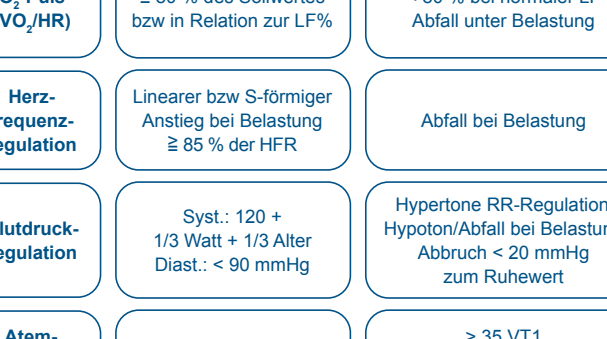
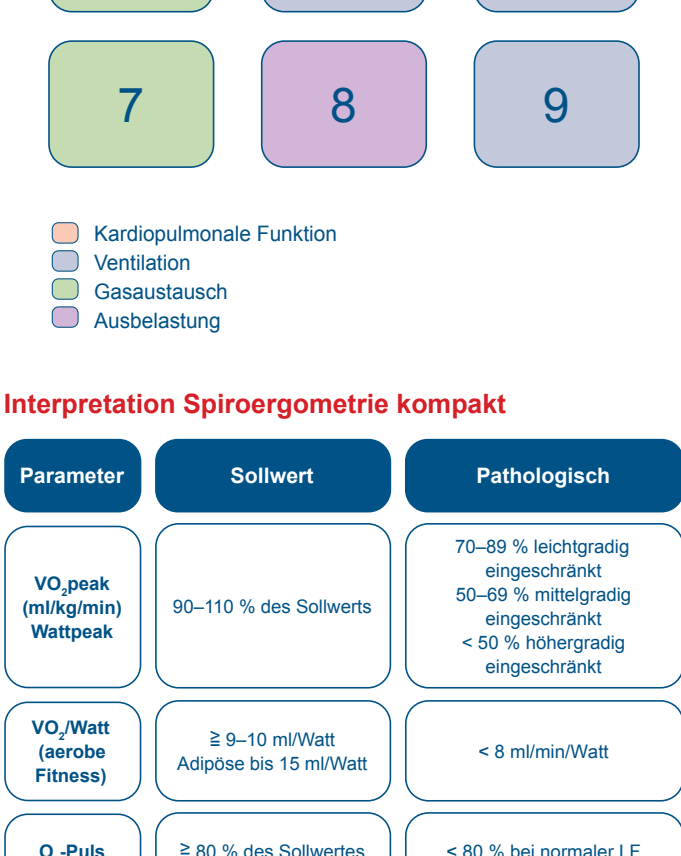
Leistungsfähigkeit	VO ₂ peak, Wattpeak, VT1, VT2, HFmax
Abklärung Dyspnoe	Limitierung: <ul style="list-style-type: none"> kardial (VO₂peak, VO₂/Watt, O₂-Puls, HF) pulmonal (VE, VE/VO₂, VE/VO₂, PetCO₂, PetO₂, BR) metabolisch (RER, VT1, VT2, HFR, BR)
Präoperativ	VO ₂ peak, VE/VO ₂ : Indiziert bei: <ul style="list-style-type: none"> präop FEV1 postdilatorisch < 80 % DLCO < 80 % errechneter Wert postop FEV1/DLCO < 30 %
Prognose/Verlauf/Med	VO ₂ peak, VO ₂ /Watt, VE/VO ₂ , VT1
Training	VO ₂ peak, Wattpeak, VT1, VT2, HFmax

Durchführung

Ruhephase: Lungenfunktion: FEV1, Berechnung MVV=FEV1 x 35, Blutgasanalyse, Blutdruck, EKG, ggf Laktat 1–3 min
Leerlaufphase: 3–5 min
Belastungsphase: EKG, Blutdruck alle 2 min, BGA submaximal und maximal, IC-Manöver alle 1–2 min, ggf Laktat
Erholungsphase: EKG 5 min, Blutdruck 1., 3. und 5. min, RPE (BORG-Skala) ggf Laktat

Interpretation Spiroergometrie

9-Felder Graphik



Interpretation Spiroergometrie kompakt

Parameter	Sollwert	Pathologisch
VO₂peak (ml/kg/min) Wattpeak	90–110 % des Sollwerts	70–89 % leichtgradig eingeschränkt 50–69 % mittelgradig eingeschränkt < 50 % höhergradig eingeschränkt
VO₂/Watt (aerobe Fitness)	≥ 9–10 ml/Watt Adipöse bis 15 ml/Watt	< 8 ml/min/Watt
O₂-Puls (VO₂/HR)	≥ 80 % des Sollwertes bzw in Relation zur LF%	< 80 % bei normaler LF Abfall unter Belastung
Herzfrequenzregulation	Linearer bzw S-förmiger Anstieg bei Belastung ≥ 85 % der HFR	Abfall bei Belastung
Blutdruckregulation	Syst.: 120 + 1/3 Watt + 1/3 Alter Diast.: < 90 mmHg	Hypertone RR-Regulation Hypoton/Abfall bei Belastung Abbruch < 20 mmHg zum Ruhewert
Atemäquivalent VE/VO₂	Ruhe: 25–30 VT1: < 20–25	> 35 VT1 steiler Anstieg bei Belastung fehlende Wannbildung
Atemäquivalent VE/VO₂	Ruhe: 25–35 VT1: < 25–30	< 35 VT1 fehlende Wannbildung
RER Respiratory exchange ratio	Ruhe: 0,7–0,8 Ausbelastung: ≥ 1,05 ≥ 1,1	> 1,05 in Ruhe < 1,0 bei Ausbelastung
PetCO₂	Ruhe > 35 mmHg, unter Belastung > 40 mmHg	Ruhe < 35 mmHg, unter Belastung ≥ 50 mmHg
PetO₂	Ruhe > 90 mmHg, Anstieg unter Belastung	Kein Anstieg unter Belastung
AaDO₂	Ruhe < 30 mmHg, Belastung < 35 mmHg	Ruhe > 30 mmHg, Belastung > 35 mmHg
P(a-ET)CO₂	0-positiv in Ruhe, negativ bei Belastung	positiv bei Belastung

Kardiozirkulatorische Felder

Feld 1 neu/ 3 alt: Darstellung von O₂-Aufnahme (VO₂) und CO₂-Abgabe (VCO₂)

- T- Testbeginn, E- Testende
- In Ruhe VO₂ (blaue Linie) über VCO₂ (rote Linie)
- Schnittpunkt VO₂/VCO₂ = Respiratory exchange ratio
- VO₂peak = max. Sauerstoffaufnahme

Auswertung (Sollwerte/Verlauf)

- VO₂peak (% Sollwert erreicht)? – max. Leistungsfähigkeit
- ΔVO₂/ΔWatt = aerobe Fitness – linearer Verlauf der VO₂ zur Wattsteigerung – falls Abflachung/Plateau verminderte aerobe Fitness
- Vorzeitige Abflachung, Plateau oder Abfall VO₂ unterhalb Sollwert im Vergleich zur Wattleistung = Hinweis auf kardiale Limitierung
- Oszillation (wellenartiger Verlauf der VO₂) – Hinweis auf Cheyne Stokes Atmung

Feld 2 neu/ 2 alt: Darstellung von Herzfrequenz (HF) und Sauerstoffpuls (O₂-Puls = VO₂/HF)

- max. Herzfrequenz erreicht Herzfrequenzreserve (LLN) (rot schraffiert)
- Anstiegsverlauf Herzfrequenz bei Belastung (physiologisch linear oder s-förmiger Anstieg)
- O₂-Puls = Sauerstoffmenge, die pro Herzschlag aufgenommen wird – indirekt Maß für das Schlagvolumen des Herzens

Auswertung (Sollwerte/Verlauf)

- Herzfrequenzreserve nicht erreicht (vorzeitiger Abbruch, Beta-blockertherapie ...)
- Frühzeitiges Plateau/Abfall des O₂-Pulses unterhalb des Sollwertes mit HF-Knick nach oben als möglicher Hinweis auf kardiale Limitierung

Feld 3 neu/ 5 alt: Darstellung von Herzfrequenzverlauf zur VO₂ (rosa Linienverlauf) sowie VCO₂ im Verhältnis zu VO₂ (rot Linienverlauf)

- Herzfrequenzverlauf im Sollbereich (rosa Schraffierung)
- Verhältnis VO₂ (x-Achse) zu VCO₂ (y-Achse) zur Bestimmung der 1. ventilatorischen Schwelle – V-slope (Knickpunkt)

Auswertung (Sollwerte/Verlauf)

- Frühe VT1 als Ausdruck verringert aerober Kapazität
- Steiler Anstieg der Herzfrequenz (Trainingsmangel, Funktionsstörung Schilddrüse, Anämie, hyperkinetischer Anstieg ...)

Feld 4 neu/ 4 alt: Darstellung von Verhältnis Ventilation zur CO₂-Abgabe (VE/VCO₂)

- VE/VCO₂ – wieviel Liter Luft müssen ventiliert werden, um 1 L CO₂ abzuatmen – Maß für die Atemökonomie
- VE/VCO₂-slope im Range-Bereich – unterhalb: Hypoventilation
- V-slope: Anstiegssteilheit; > 25 prognostisch schlecht

Feld 5 neu/ 7 alt: Darstellung von Verhältnis Atemzugvolumen (Vt) x-Achse und Atemfrequenz zum Atemminutenvolumen (VE)

- Vt – zu Beginn Anstieg des Atemzugvolumens, bei Intensität 60 % der VC, Plateau des Atemzugvolumens, VE – Steigerung nur mehr über die Steigerung der Atemfrequenz
- Obere Isoplethe: Atemfrequenz 20/min
- Untere Isoplethe: Atemfrequenz 50/min

Gasaustausch Felder + Ausbelastung

Feld 4 neu/ 6 alt: Darstellung von Verhältnis von Atemminutenvolumen zur O₂-Aufnahme (VE/VO₂) bzw. zur CO₂-Abgabe (VE/VCO₂)

- Maß für die Atemökonomie – je niedriger desto effektiver ist die Atemarbeit
- Wannenförmiger Verlauf bei Belastung mit Anstieg des VE/VO₂ (1. Schwelle) sowie Anstieg des VE/VCO₂ (2. Schwelle)

Feld 7 neu/ 9 alt: Darstellung der endexpiratorischen Partialdrücke von O₂ (PetO₂) sowie CO₂ (PetCO₂)

- Indirektes Maß für den Gasaustausch
- Hyperventilation: PetCO₂ erniedrigt, PetO₂ erhöht
- Alveoläre Hypoventilation: PetCO₂ erhöht
- Bestimmung der kapillären Blutgase:
 - P(A-a)DO₂: normal < 35 bei Belastung
 - P(A-A)CO₂: normal: in Ruhe 0–2, bei Belastung < 0

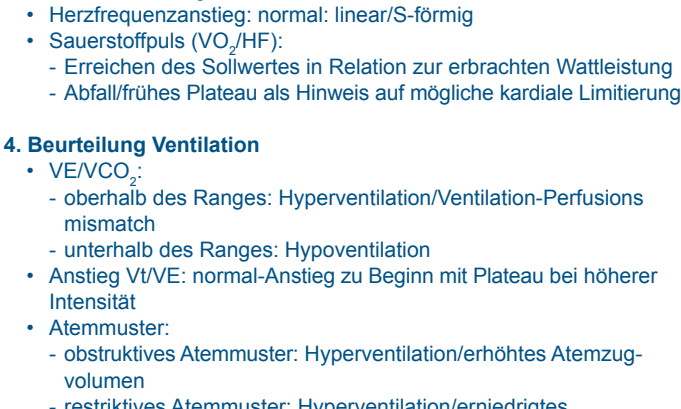
Feld 8 neu/alt: Darstellung der respiratorischen Exchange Ratio (RER) über die Zeit

- RER: Verhältnis aus CO₂-Abgabe (VCO₂) zu O₂-Aufnahme (VO₂) – Maß für die metabolische Ausbelastung
- RER in Ruhe: 0,7–0,85
- RER > 1 bereits in Ruhe: Hyperventilation
- RER = 1: Schnittpunkt VCO₂/VO₂
- RER < 1,1 bei Belastung: Hinweis auf eingeschränkte Ausbelastung

Schwellenbestimmung

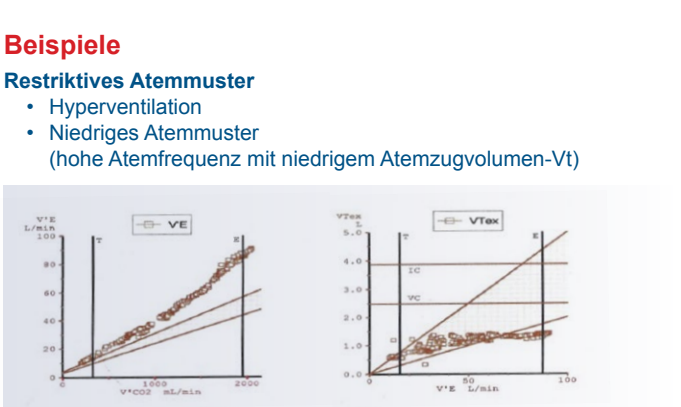
1. Ventilatorische Schwelle

- V-slope (VCO₂/VO₂): überproportionaler Anstieg von VCO₂ zu VO₂
- Bestimmung des Atemäquivalent für VE/VO₂
- VE-Anstieg über Zeit: 1. überproportionaler VE-Anstieg
- PetO₂/Zeit: Anstieg des PetO₂



2. Ventilatorische Schwelle

- V-slope: überproportionaler Anstieg von VE versus VCO₂
- Anstieg des Atemäquivalent für VE/VO₂
- VE-Anstieg über Zeit: 2. überproportionaler VE-Anstieg
- PetCO₂/Zeit: Abfall des PetCO₂



Auswertung

- Leistungsfähigkeit**
 - Wattmax: /VO₂peak ml/kg % des Sollwertes:
 - normal = 90–110 %
 - unterdurchschnittlich = 70–90 %
 - deutlich eingeschränkt = 50–70 %
 - hochgradig eingeschränkt = < 50 %
- Ausbelastungszeichen**
 - Kardial: Erreichen der HFR (Schraffierung LLN/ULN)
 - Ventilatorisch: Erreichen der VE-Sollwerte (Schraffierung LLN/ULN)
 - Metabolisch: Laktatanstieg > 5 mmol/L, BE-base excess > -5 mmol/L, RER > 1.1
- Beurteilung Kardiozirkulation**
 - Aerobe Kapazität: paralleler Anstieg von VO₂ zu Wattanstieg. Normal/erniedrigt
 - Herzfrequenzanstieg: normal: linear/S-förmig
 - Sauerstoffpuls (VO₂/HF):
 - Erreichen des Sollwertes in Relation zur erbrachten Wattleistung
 - Abfall/frühes Plateau als Hinweis auf mögliche kardiale Limitierung
- Beurteilung Ventilation**
 - VE/VO₂:
 - oberhalb des Ranges: Hyperventilation/Ventilation-Perfusions mismatch
 - unterhalb des Ranges: Hypoventilation
 - Anstieg VT1/VE: normal-Anstieg zu Beginn mit Plateau bei höherer Intensität
 - Atemmuster:
 - obstruktives Atemmuster: Hyperventilation/erhöhtes Atemzugvolumen
 - restriktives Atemmuster: Hyperventilation/erniedrigtes Atemzugvolumen
 - Ventilatorische Limitierung: BR% < 20
- Beurteilung Gasaustausch**
 - Hyperventilation: PetO₂ erhöht, PetCO₂ erniedrigt
 - Hypoventilation: PetCO₂ erhöht
 - AaDO₂ Anstieg bei zunehmender Belastung: Diffusionsstörung > 35 mmHg
 - P(A-A)CO₂: positiv > 5 bei Belastung, V/Q mismatch, pH

Beispiele

Restriktives Atemmuster

- Hyperventilation
- Niedriges Atemmuster (hohe Atemfrequenz mit niedrigem Atemzugvolumen-Vt)



Obstruktives Atemmuster

- Hyperventilation
- Erhöhtes Atemmuster (erhöhtes Atemzugvolumen-Vt)

Abkürzungen

AaDO₂=(alveolar-arterieller) Sauerstoffpartialdruck, BR=breathing reserve (Atemreserve, 1-VEmax/MVV), DLCO=Diffusionskapazität, HF=Herzfrequenz, HFR=Herzfrequenzreserve (maximale Herzfrequenz - Ruheherzfrequenz), LLN=lower limit of normal, MVV= maximal voluntary ventilation (Atemrezerve), O₂-Puls=Sauerstoffpuls (VO₂/HF), P(a-ET)CO₂=Differenz arteriell-end-tidaler Kohlendioxidpartialdruck, PetCO₂=end-tidaler CO₂-Partialdruck, PetO₂=end-tidaler O₂-Partialdruck, RER=respiratory exchange ratio (VCO₂/VO₂), ULN=upper limit of normal, VE=Atemminutenvolumen, VE/VO₂=Atemäquivalent für VO₂, VE/VCO₂=Atemäquivalent für VCO₂, VO₂peak=maximale Sauerstoffaufnahme, VT1=1. ventilatorische Schwelle, VT2=2. ventilatorische Schwelle, Wattpeak= maximale Wattleistung

Impressum

Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Pneumologie (ÖGP)
 Autor*innen: Karin Vonbank, Martin Burtcher
 Druck: Friedrich Druck

Mit freundlicher Unterstützung:

