

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/VCO₂, VE/VO₂, PetCO₂, PetO₂, BR) metabolisch (RER, VT1, VT2, HFR, BR) |
| Präoperativ | VO ₂ peak, VE/VCO 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/VCO ₂ , VT1 |
| Training | VO ₂ peak, Wattpeak, VT1, VT2, HFmax |

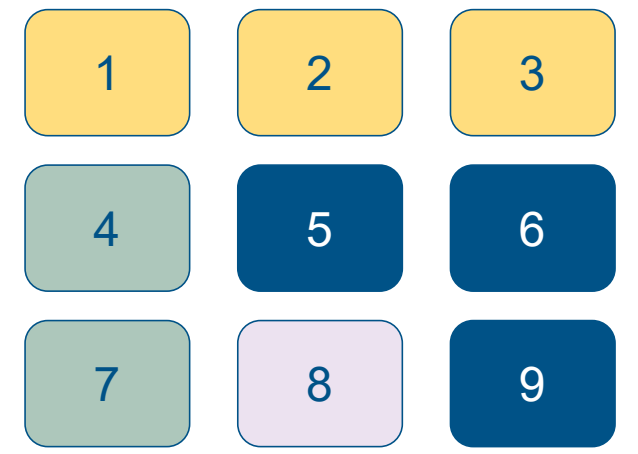
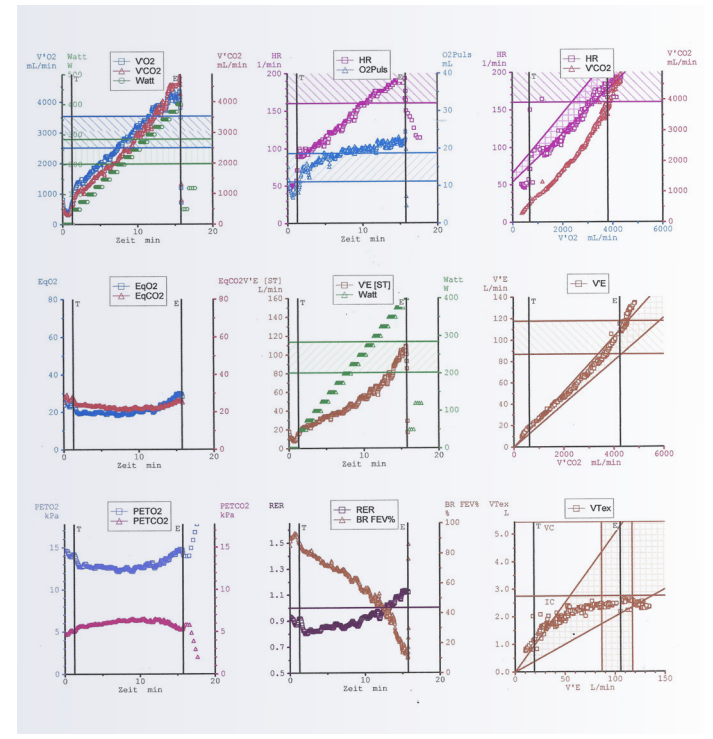
Durchführung
 Ruhephase: Lungenfunktion: FEV1, Berechnung MVV=FEV1 x 35, Blutgasanalyse, Blutdruck, EKG, ggf Laktat 1–3 min
 Leerlaufphase: EKG, Blutdruck alle 2 min, BGA submaximal und maximal, IC-Manöver alle 1–2 min, ggf Laktat
 Belastungsphase: EKG 5 min, Blutdruck 1., 3. und 5. min, RPE (BORG-Skala)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

Abkürzungen

AaDO₂=(alveolär-arterieller) Sauerstoffpartialdruck, BR=breathing reserve (Atemreserve, 1-VE_{max}/MVV), DLCO=Diffusionskapazität, HF=Herzfrequenz, HFR=Herzfrequenzreserve (maximale Herzfrequenz – Ruheherzfrequenz), LLN=lower limit of normal, MVV= maximal voluntary ventilation (Atemgrenzwert), 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/VCO₂=Atemäquivalent für VCO₂, VE/VO₂=Atemäquivalent für VO₂, VO₂peak=maximale Sauerstoffaufnahme, VT1=1. ventilatorische Schwelle, VT2=2. ventilatorische Schwelle, Wattpeak=maximale Wattleistung

Interpretation Spiroergometrie

9-Felder Graphik



1 Kardiopulmonale Funktion
2 Ventilation
3 Gasaustausch
4 Ausbelastung

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/VCO₂ | 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 < 33 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 |

Eine Empfehlung der



Befundung Spiroergometrie

1. Auflage 2024

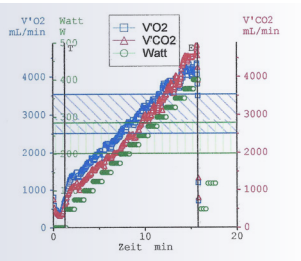
Impressum

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

Mit freundlicher Unterstützung:



Kardiozirkulatorische Felder

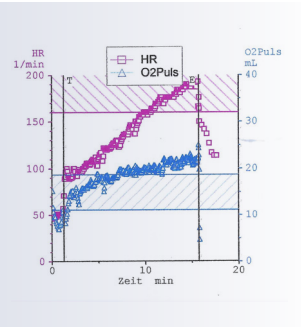


Feld 1 neu/ 3 alt: Darstellung von O₂-Aufnahme (VO₂) und CO₂-Abgabe (VCO₂)

- 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

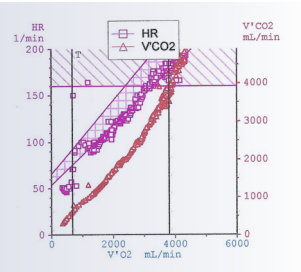


Feld 2 neu/ 2 alt: Darstellung von Herzfrequenz (HF) und Sauerstoffpuls (O₂-Puls = VO₂/HF)

- 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

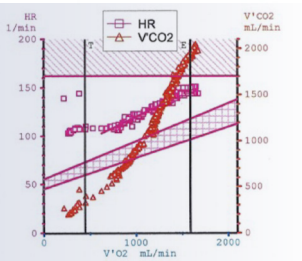
Auswertung (Sollwerte/Verlauf)

- 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



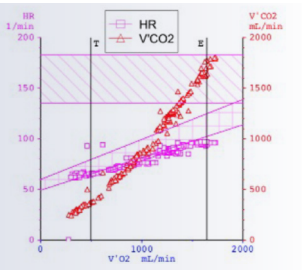
Feld 3 neu/ 5 alt: Darstellung von Herzfrequenzverlauf zur VO₂ (rosa Linienverlauf) sowie VCO₂ im Verhältnis zu VO₂ (roter Linienverlauf)

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



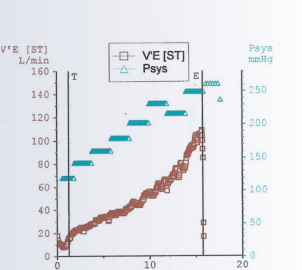
Auswertung (Sollwerte/ Verlauf)

- Frühe VT1 als Ausdruck ver-ringerter aerober Kapazität
- Steiler Anstieg der Herzfrequenz (Trainingsmangel, Funktions-störung Schilddrüse, Anämie, hyperkinetischer Anstieg ...)



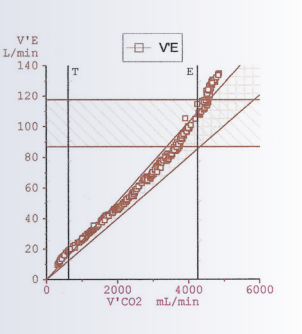
- Flacher Anstieg der Herzfrequenz-regulation (guter Trainingszustand, medika-mentös z.B. Betablockertherapie, chronotrope Inkompetenz)

Ventilatorische Felder



Feld 5 neu/ 1 alt: Darstellung von Atemminutenvolumen (VE) über die Zeit und im Verhältnis zur Watt-leistung

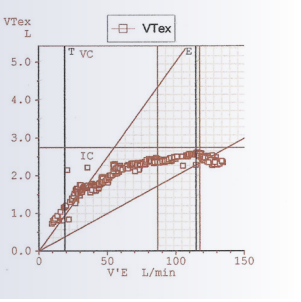
- MVV (maximal voluntary ventila-tion): FEV1 x 35
- Verhältnis VEmax zu MVV – nor-malerweise Atemreserve > 20 %
- wird Sollwert des maximalen Atemminutenvolumens erreicht (braun schraffiert)
- 2 Knickpunkte bei Anstieg des Atemminutenvolumens (VT1 und VT2 – ventilatorische Schwellen)



Feld 6 neu/ 4 alt: Darstellung von Verhältnis Ventilation zur CO₂-Abgabe (VCO₂)

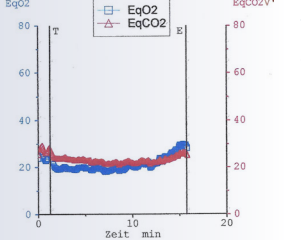
- VE/VCO₂ – wieviel Liter Luft müssen ventilert werden, um 1 L CO₂ abzuatmen – Maß für die Atemökonomie
- VE/VCO₂-slope im Range-Bereich
 - oberhalb: Hyperventilation
 - unterhalb: Hypoventilation
- V-slope: Anstiegssteilheit: prognostisch bedeutend (normal < 25, > 35 prognostisch schlecht)

Feld 9 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

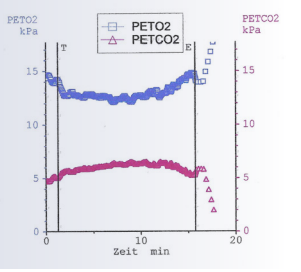
Gasaustausch Felder + Ausbelastung



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

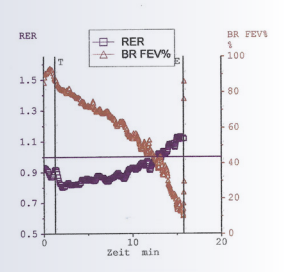
- Maß für die Atemökonomie – je niedriger desto effektiver ist die Atemarbeit
- Wannenförmiger Verlauf bei Belastung mit Anstieg des VE/VO₂ (1. Schwelle) sowie Anstieg des VE/VCO₂ (2. Schwelle)

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



- Indirektes Maß für den Gasaus-tausch
- 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

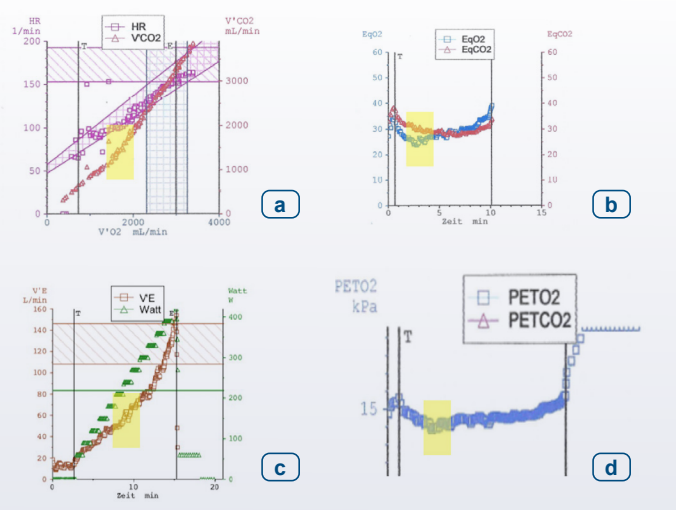


- RER: Verhältnis aus CO₂-Abgabe (VCO₂) zu O₂-Aufnahme (VO₂) – Maß für die metabolische Ausbelastung
- RER in Ruhe: 0,7–0,85
- RER > 1 bereits in Ruhe: Hyperventilation
- RER = 1: Schnittpunkt VCO₂/VO₂
- RER < 1.1 bei Abbruch: Hinweis auf eingeschränkte Ausbelastung

Schwellenbestimmung

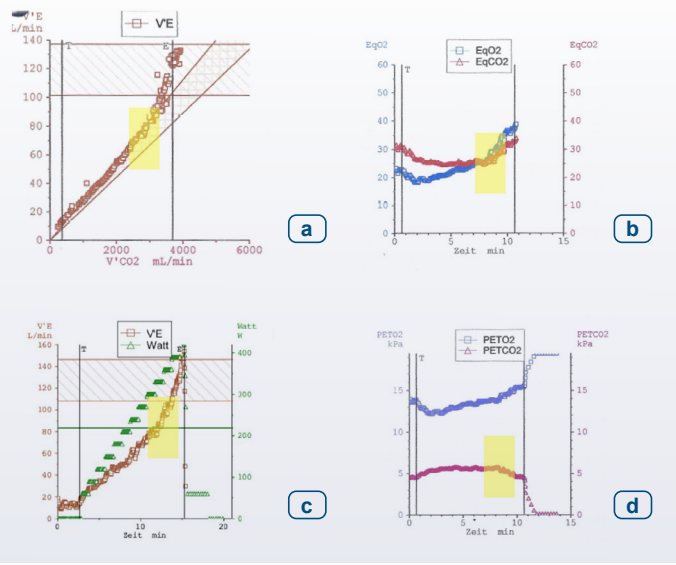
1. Ventilatorische Schwelle

- V-slope (VCO₂/VO₂): überproportionaler Anstieg von VCO₂ zu VO₂
- Anstieg 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/VCO₂
- VE-Anstieg über Zeit: 2. überproportionaler VE-Anstieg
- PetCO₂/Zeit: Abfall des PetCO₂



Auswertung

1. Leistungsfähigkeit

- Wattmax: /VO₂peak ml/kg % des Sollwertes:
 - normal = 90–110 %
 - unterdurchschnittlich = 70–90 %
 - deutlich eingeschränkt = 50–70 %
 - hochgradig eingeschränkt = < 50 %

2. 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

3. 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 Watt-leistung
 - Abfall/frühes Plateau als Hinweis auf mögliche kardiale Limitierung

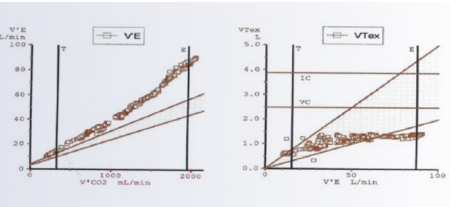
4. Beurteilung Ventilation

- VE/VCO₂:
 - oberhalb des Ranges: Hyperventilation/ Ventilation-Perfusions mismatch
 - unterhalb des Ranges: Hypoventilation
- Anstieg Vt/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

5. Beurteilung Gasaustausch

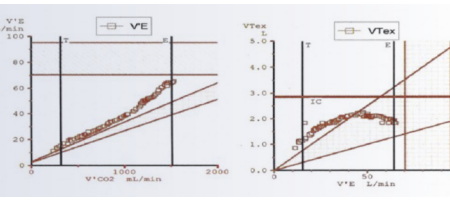
- Hyperventilation: PetO₂ erhöht, PetCO₂ erniedrigt
- Hypoventilation: PetCO₂ erhöht
- AaDO₂ Anstieg bei zunehmender Belastung: Diffusionsstörung > 35 mmHg
- P(a-A)CO₂: positiv > 5 bei Belastung, V/Q mismatch, pH

Beispiele



Restriktives Atemmuster

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



Obstruktives Atemmuster

- Hyperventilation
- Erhöhtes Atemmuster (erhöhtes Atemzugvolumen-Vt)