Indikation, Kontraindikation, Methodik und Risiken

Voraussetzungen im CPET- Labor

Grundbedingungen

- ✓ Kooperierender Patient, der einen Belastungstest auch durchführen kann
- ✓ Funktionsfähige Hard- und Software
- ✓ Ausgebildetes Personal
- ✓ Standardisierte Abläufe
- ✓ Befunderstellung
- ✓ Notfallausrüstung

Indikationen für CPET

Dyspnoe	Differenzierung zwischen prädominierend kardialer oder pulmonaler Problematik, Adipositas, etc.
Risikoprofil	Herz- und Lungenoperationen Lungen- und Herztransplantationen Große abdominelle Operationen
Gutachten	Maximale und Dauer-Leistungsfähigkeit Frage der Belastbarkeit Klärung, ob die Limitierung BK-relevant ist?
Therapie	Beurteilung von Medikations- und Trainingserfolg bei z. B. Herzleiden, COPD (z.B. bei Reha), Lungenvolumenreduktion

Meyer H.-J. et al., Pneumologie 2018

CPET Seminare

Absolute Kontraindikationen für CPET

- Akuter Herzinfarkt ≤ 3-5 Tage
- Instabile Angina pectoris und akute Myokardischämie
- Unkontrollierte Herzrhythmusstörung mit hämodynamischer Beeinträchtigung
- Akute, bzw. entzündliche Herzerkrankung
- Dekompensierte Herzinsuffizienz
- Hochgradige und symptomatische Aortenstenose
- Akute Lungenembolie
- Akute Bein-/ Beckenvenenthrombose
- Nicht kontrolliertes Asthma
- Schwere akute Exazerbation einer COPD
- Akute Infektionen, Nierenversagen, schwere Hyperthyreosen

J. Fritsch: EKG, Belastungs-EKG in Schwarz, Lehnigk, Schwittai; Lungenfunktionsdiagnostik und Spiroergometrie, Thieme Verlag. 2. Auflage 2019

Relative Kontraindikationen für CPET

- Koronarstenose des Hauptstammes oder der rechten Koronararterie
- Hämodynamisch eingeschränkte Herzklappenerkrankung
- Unkontrollierte arterielle Hypertonie
  (in Ruhe syst. > 200 mmHg, diastolisch > 120 mmHg)
- Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
- Tachy- / Bradyarrhythmie
- Höhergradige AV-Überleitungsstörung
- Elektrolytentgleisung
- Epilepsie (ungenügend kontrolliert)

J. Fritsch: EKG, Belastungs-EKG
in Lungenfunktionsdiagnostik und Spiroergometrie, Thieme Verlag. 2. Auflage 2019

Abbruchkriterien

Klinische Kriterien: Brustschmerz verdächtig auf Angina pectoris,
Blässe, Verwirrung, Schwindel, Ateminsuffizienz

EKG: Signifikante ST- Streckenveränderungen,
komplexe Rhythmusstörungen,
AV-Block Grad 2 oder 3,
QRS- Zunahme, neuer Schenkelblock

Blutdruckkriterien: RR-Anstieg >250/120 mmHg
RR-Abfall >20 mmHg vom höchsten Wert

BGA: PaO_2< 40mmHg, SaO_2< 80%

CPET Seminare

Primäre Messparameter

Atemzugvolumen	VT [L] (BTPS)
Atemfrequenz	BF [1/min]
Gaskonzentration	FEO_2 und $FECO_2$, bezogen auf 1 (= Fraktion):
Herzfrequenz	HR [1/min]
Belastung	Leistung [Watt] / Geschwindigkeit [m/sek]
Blutdruck	mmHg
BGA	PaO_2, $PaCO_2$, pH

*Alle Informationen gehen auf diese **7 Primärparameter** zurück:*
daraus folgen > 100 abgeleitete Parameter

CPET Seminare

Wichtige abgeleitete Parameter

Sauerstoffaufnahme

$V'O_2 = V'E \times (FIO_2 - FEO_2)$

Kohlendioxidabgabe

$V'CO_2 = V'E \times FECO_2$

VE in BTPS = Body Temperature, Pressure, Saturated
(37 Grad, Umgebungsdruck, 100% Wasserdampfsättigung)

VO_2, VCO_2 in STPD = Standard Temperature, Pressure, Dry
(0 Grad, 760 mmHg, trocken)

CPET Seminare

Allgemeine Einflussfaktoren

Faktoren		Einfluss auf…
Patientendaten	Alter, Gewicht, Größe	Sollwerte
Belastungsform	Fahrrad, Laufband, Armarbeit	Leistung, VT1, V´E
Belastungsart	Sitzend, Liegend, Halbliegend	Leistung, Sollwerte
Protokoll	Rampe, Stufentest	Leistung, Sollwerte
Motivation	„Rentenjäger“	Leistung
Tageszeit	Morgens, mittags, abends	Leistung
Temperatur	Ideal 18-24 Grad	Leistung
Nahrungsaufnahme	Nüchtern, Kohlenhydrate	RER
Trainingszustand	KH-Aufenthalt und CTX	Leistung, VT1
Medikation	Beta-Blockade, Beta-Mimetika	O_2-Puls, HR
Erkrankungen	Anämie, Fieber, Hyperthyreose	Leistung, O_2-Puls, V´E

CPET Seminare

Testprotokolle

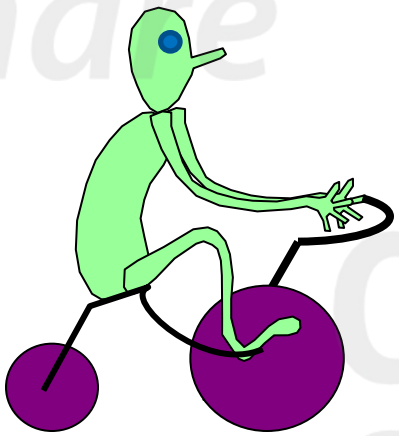
Stufentest (WHO Programm, Sportler)
Steigerung meist 2-3 Minuten

Rampentest
Steigerung kontinuierlich

Constant Work Test (Endurance Test)
Konstante Last mit 60-80% der maximalen Leistung (Watt)

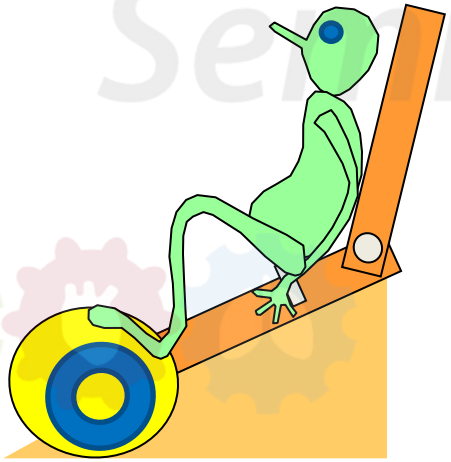
In der klinischen Anwendung der Spiroergometrie haben sich **Rampenprotokolle** weitgehend durchgesetzt

1. Belastungsart – Fahrradergometer



Sitzend

- steady state
- Rampenprotokoll
- constant work test

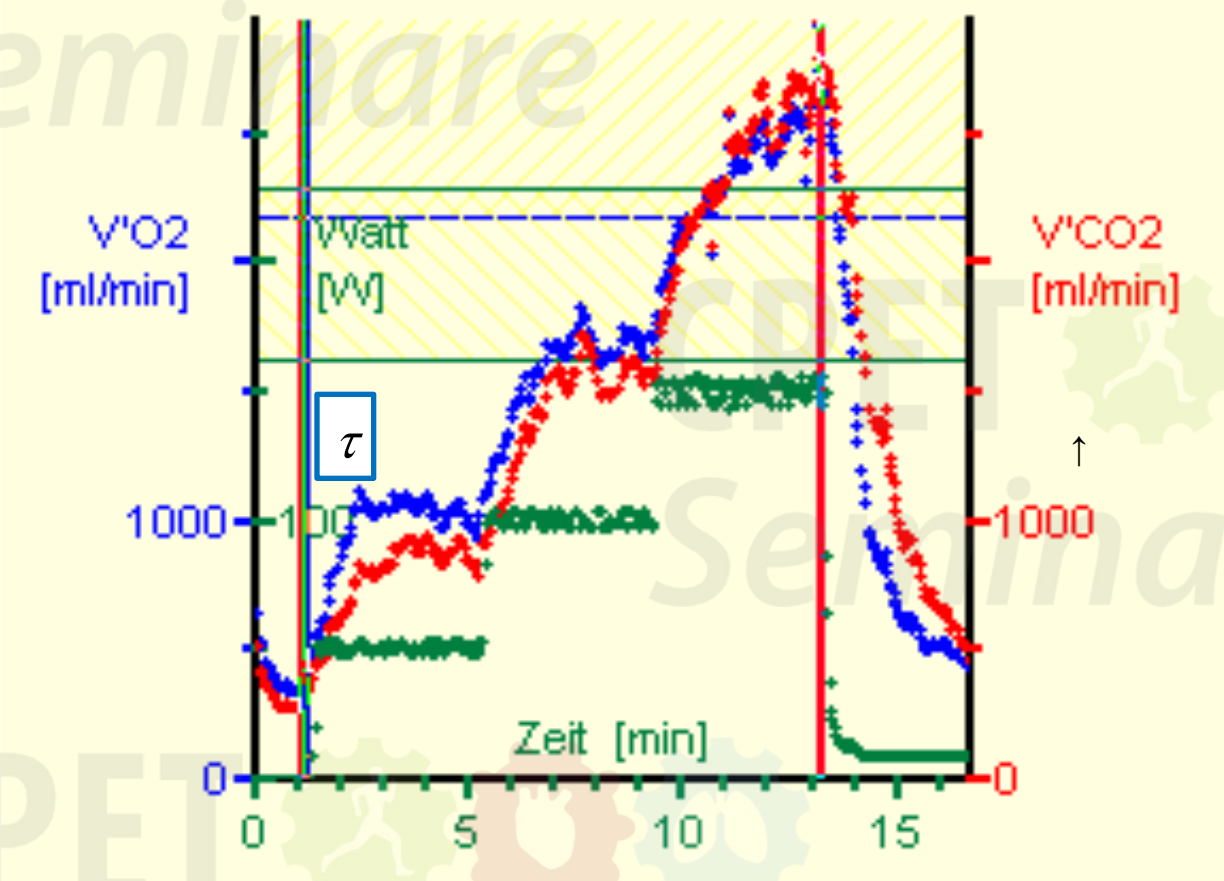


Halbliegend

- steady state
- Rampenprotokoll
- constant work test

CPET Seminare

Stufentest



Vorteile:

- Ansprechrate des kardiozirk. & ventilat. Systems bestimmbar (delay time, τ $V'O_2$)
- Gute steady state Bedingungen

Nachteile:

- Einstellphänome der Messparameter
- Diskontinuierliche Parameterentwicklung
- Belastungssprünge
- Schwellenbestimmung

Protokolle, z.B.

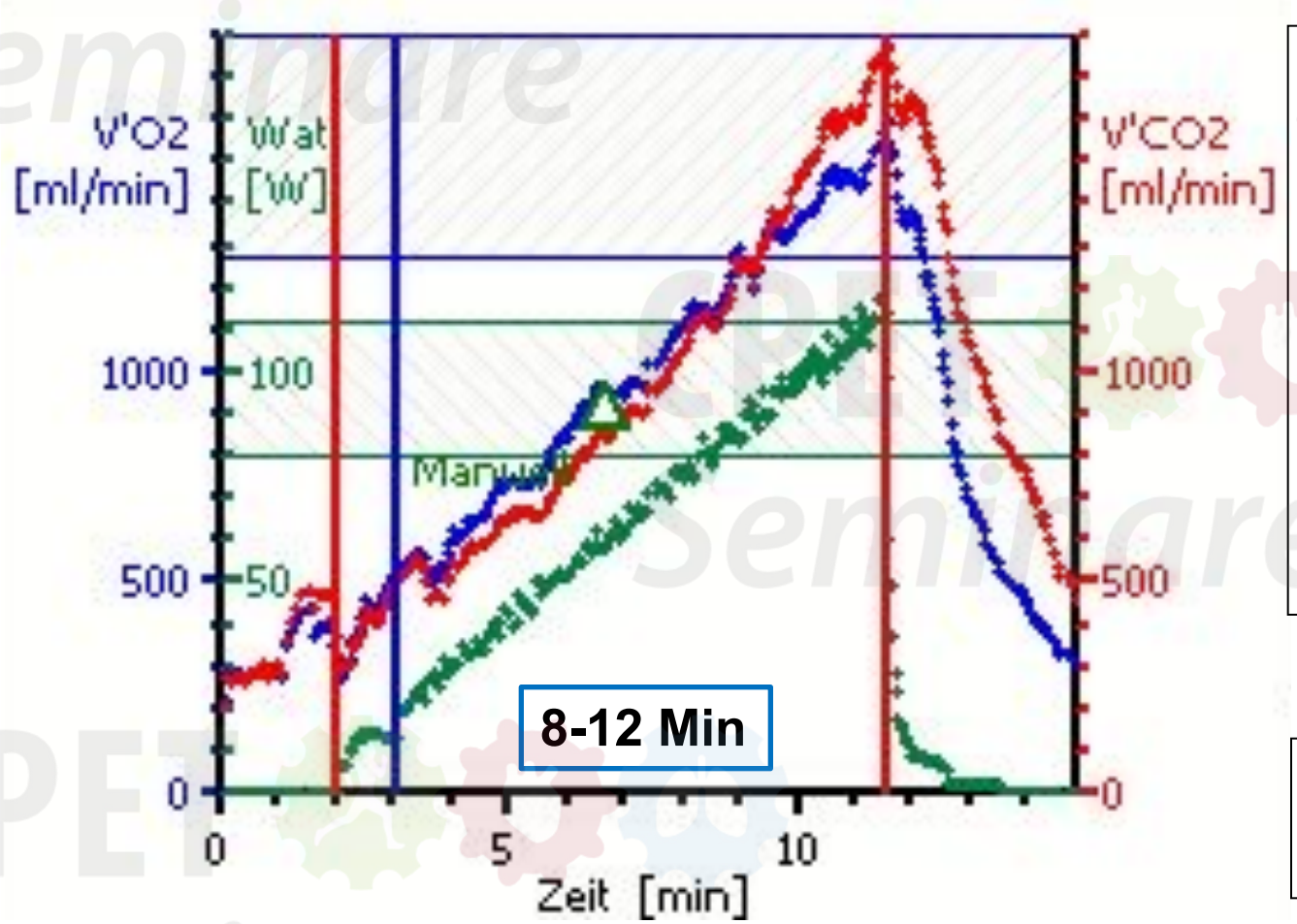
Startbelastung 25/50/75/100 Watt

Stufen 25/50 Watt

delay time, τ $V'O_2$ = Ansprechzeit auf definierte Belastung

CPET Seminare

Rampen Test



Vorteil:

- kontinuierliche Entwicklung der Messparameter
- plötzliche Einstell-phänomene auf Belastungssprünge fehlen
- angenehmer für Untrainierte als abrupte Belastungswechsel

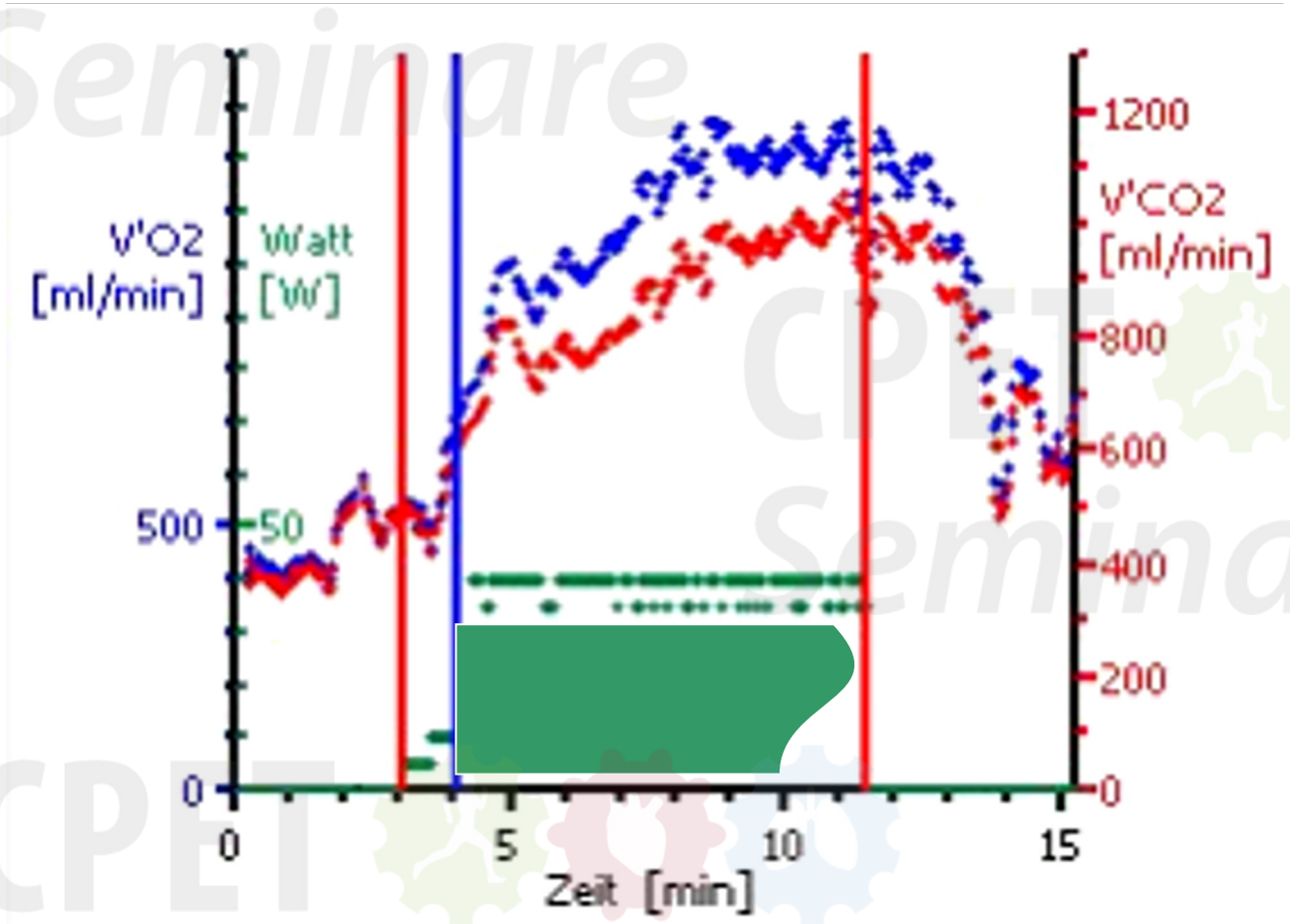
Nachteil:

- Kein Steady-state

Rampe

Steigerung mit 5 bis 20 (40) Watt/min

Constant Work Load



- 60-80% max. Last, bis Patient abbricht
- weniger abhängig von Muskelkraft
- biologische Eichung
- Outcome nach Medikation oder Reha
- Verlaufskontrolle (z. B. Pneumektomie)
- delay time (τ) $V'O_2$, $V'CO_2$

CPET Seminare

2. Laufbandbelastung

Merke:

- $V'O_2$ max 10 % höher als bei Fahrradbelastung
- Alternativ: 6 MWT bei Schwerkranken, Prognose (pulmonale Hypertonie, COPD)

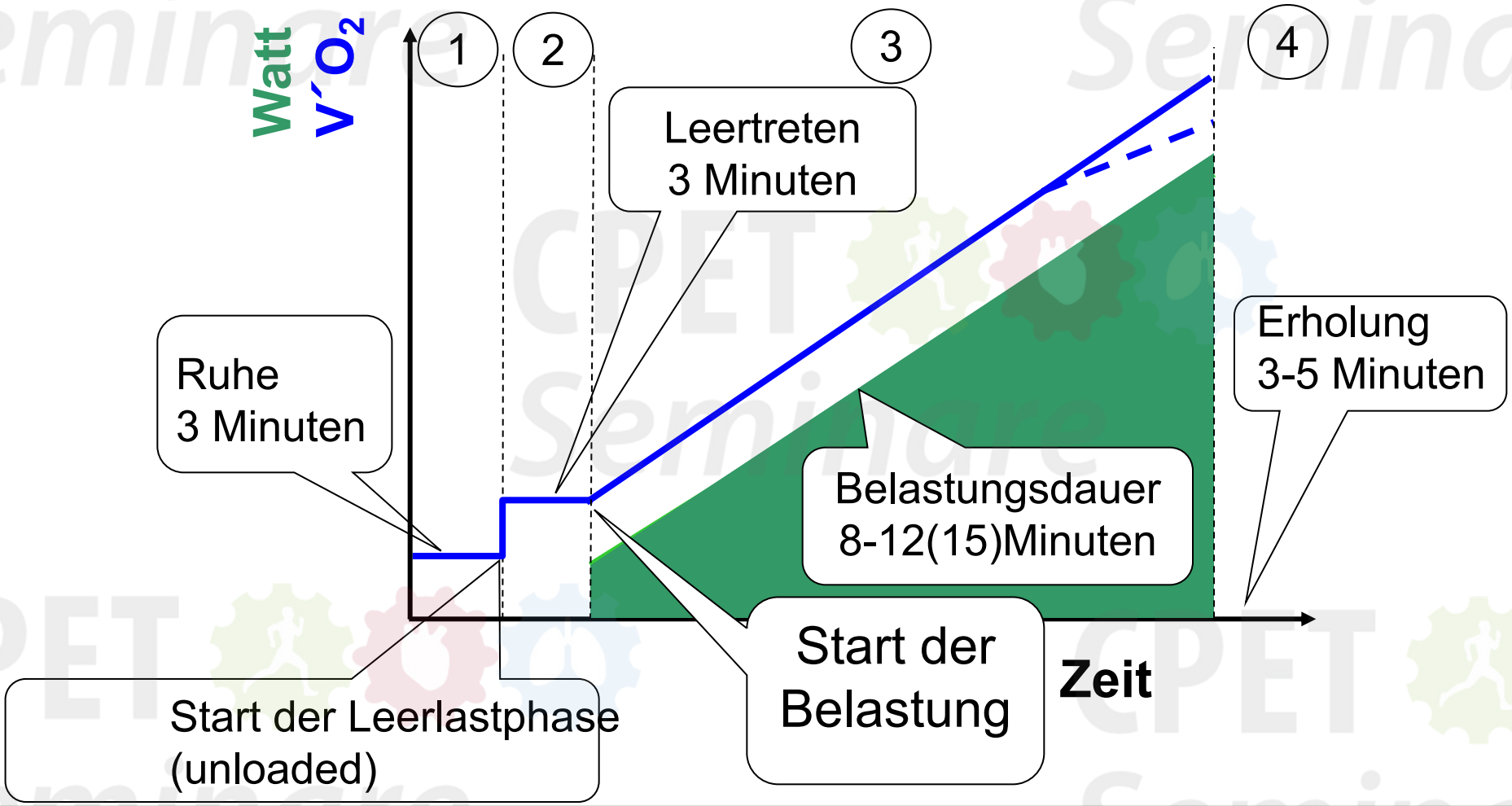
Protokolle:

- Bei Patienten:
  Naughton-Protokoll: Steigung ↑ und/oder Geschwindigkeit ↑
  (weitere Protokolle z.B. Bruce, Balke)
- Bei Sportlern:
  Geschwindigkeit ↑ und geringe (konstante) Steigung 0,5-1%

3. Feldtest – mobile CPET

- Sportartspezifisch
- Rehabilitation
- Arbeitsmedizin

Phasen eines Rampenprotokolls



CPET Seminare

Untersuchungsphasen

Ruhephase

- Beinabstand, Maskensitz
- Plausibilität $V'O_2$ (340-450 ml) bzw. 5xKG
- Plausibilität RER
- EKG Ableitung gut?
- Ruhe-Blutgase
- IC-Manöver Ruhe
- Anleitung Borg Skala und Mittelung über Befinden

Leerlastphase

- Überprüfung Drehzahl
- $V'E$ leicht rückläufig
- RER sinkend
- Atemäquivalente sinkend
- Angedeutetes Steady State

Lastphase

- Plausibilität Last zu $V'O_2$
- Plausibilität $V'O_2$ Höhe
- IC Manöver 2.-3. Minute
- Blutgasanalyse 3. Minute
- Blutgasanalyse 6. Minute
- Blutgasanalyse 9. Minute
- IC Manöver vor Belastungsende
- Evtl. max. Flowkurve
- Subjektive Symptome (Angina, Schwindel)

CPET Seminare

Belastungsziel

Symptomlimitierte Ausbelastung in einem Zeitraum der Lastphase von

8-12 (6-15) Minuten erreichen

CPET Seminare

Abschätzung erreichbarer maximaler Leistung

Optionen:

1. Patient nach Belastung des letzten Test fragen
2. „Soll-Watt“ aus der Software entnehmen
3. „Soll-$V´O_2$“ als Grundlage der Berechnung
4. Stockwerke, die der Patient ohne Anhalten geht
5. Bei Patienten mit ventilatorischer Limitation FEV_1

CPET Seminare

1. Ziellast (Watt) ?

Patient fragen nach Ergebnis des letzten Tests

Antwort meist “60”

unzuverlässig

CPET Seminare

2. Ziellast (Watt) ?

“Soll-Watt” aus der Geräte-Software als Zielwert:

- ***Wasserman*** Watt-Sollwerte bei Übergewichtigen sind zu hoch
- ***Wasserman*** Watt-Sollwerte bei Frauen tendenziell zu niedrig
- ***Jones*** Watt-Sollwerte plausibler
- ***SHIP*** Watt-Sollwerte durch spezifisches Testprotokoll problematisch

3. Ziellast bei „Gesunden“ über Soll-V´O_2

Soll-V´O_2 aus der Gerätesoftware als Zielwert

→ Abschätzung der Leistung in Watt:

gegeben: V´O_2 Ruhe 5 ml/kg Körpergewicht
(+ 150 ml für Leertreten)
+ 10 ml V´O_2 / Watt

Beispiel: Gewicht 80 kg entspricht **V´O_2 Ruhe 400 ml**
V´O_2 predicted Software: 2400 ml
2400 – 400 = 2000 ml VO_2für Belastung = 200 W

Ziellast 200 Watt nach 10(12) Minuten
z.B. 15-20 Watt Steigerung /Minute
Start mit 10 % Ziellast sinnvoll; hier 20 Watt

4. Ziellast über „Stockwerke“

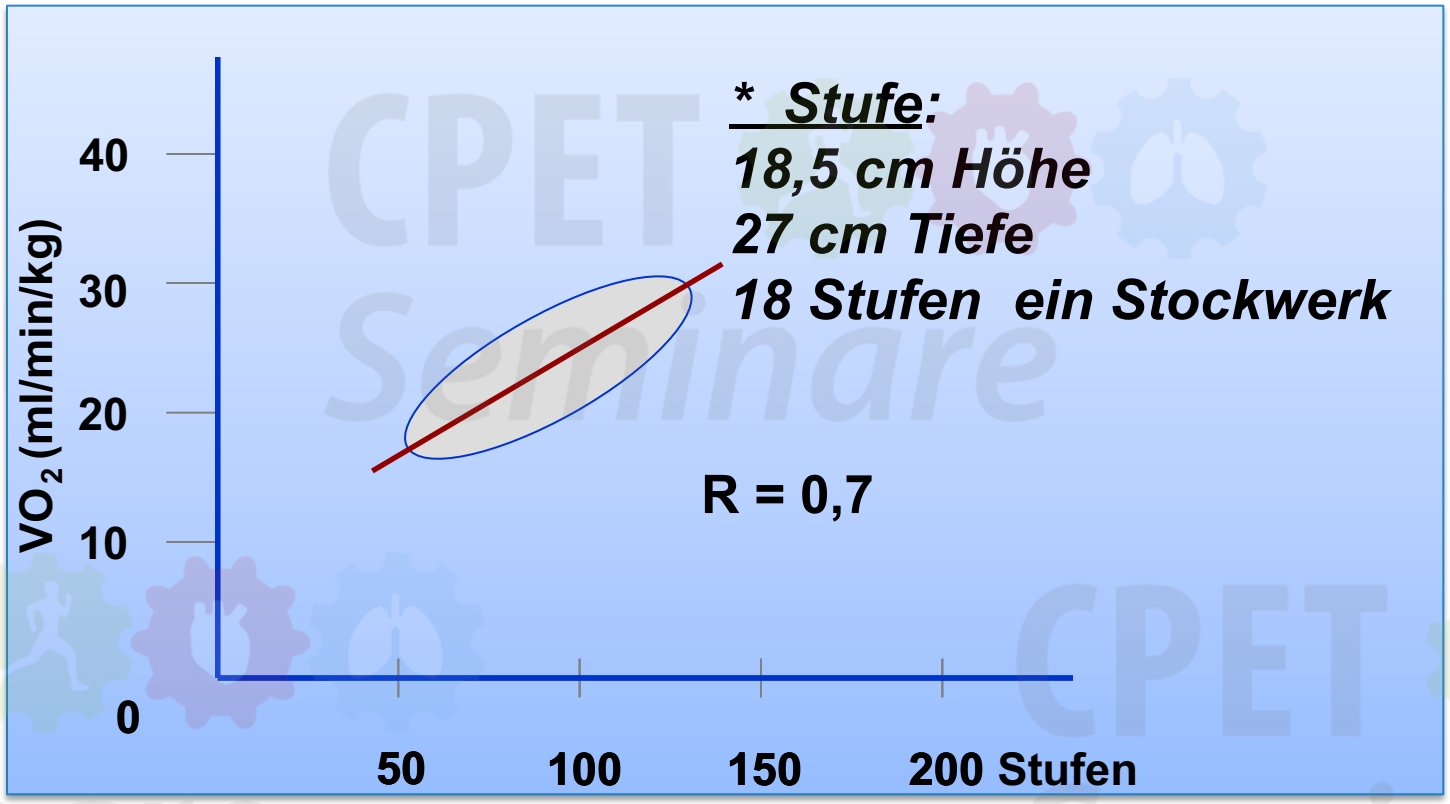
Die Zahl der Stockwerke, die ohne Pause gegangen werden, gibt Hinweise auf die zu erwartende Leistungsfähigkeit

1 Stockwerk	= ca. 50 Watt	(5 Watt Steigerung/Minute)
2 Stockwerke	= ca. 100 Watt	(8-10 Watt Steigerung/Minute)
3 Stockwerke	= ca. 150 Watt	(12-15 Watt Steigerung/Minute)

Korrelation Stufen versus V´O2

Wieviel Etagen können Sie ersteigen ? „Treppenhaus – Ergometrie“

Untersuchung an 31 COPD Patienten



u. a. M. Pollock [Chest (1993);104: 1378-1383]

CPET Seminare

5. Ziellast bei „Lungenkranken“ über FEV_1

Bei ventilatorischer Limitierung:

Ruheventilation etwa 9L/Minute
pro 25 Watt zusätzlich ca. 9L/Minute
(9 er Regel nach Rühle)

Beispiel:
Patient mit einem FEV_1 = 1L
Berechnung Ventilationsspielraum **(MVV)= FEV_1 x 35**
MVV = 35 L

9 Liter Ruheventilation, bleiben 26 L für Belastung
3 mal 9 = 27 (3 x 25 Watt)

Ventilatorisch maximal 75 Watt Zielleistung möglich

Untersuchungssicherheit

Untersuchungen	Todesfälle	Klientel	Literatur
1375	0,5/10.000		Stuart 1980
70.000	0, (6 Kompl.)		ACSM 1991*
353.638	0	Sportler	Kalt. 1979
712.285	17, (96 Kompl.)	KHK	Kalt. 1979
458.000	1/76000		Douard 1987
75.828	0		Myers 2000

! ≈ 2-5 auf 100.000 CPET - Todesfälle in Abhängigkeit vom Klientel

AJRCCM 2003, Vol. 167, Seite 226S

Zusammenfassung

- es gibt 7 primäre Messparameter und mehr als 100 abgeleitete
- das Rampenprotokoll hat sich in der klinischen Anwendung durchgesetzt
- die Belastungsdauer sollte 8-12 (15) min dauern
- für die Festlegung des Belastungsprotokolls muss eine erwartete Ziellast bestimmt werden
- ein standardisierter Untersuchungsablauf sollte eingehalten werden

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit