

# 심폐기능 검사

순천향대학교 서울병원

호흡기내과

윤희영

# Contents

- CPET 검사 개요 및 필요성
- 운동생리와 기본 변수
- 검사 장비와 프로토콜
- 결과 해석과 정상 기준
- 안전 관리 및 검사 운영
- 요약

# Case

- 55세 남성, 회사원
- 주소: 3개월 전부터 계단 오르기 힘들어 짐
- 과거력: 고혈압 (약물 조절 중), 흡연력 20갑년 (10년 전 금연)
- 가족력: 아버지 심근경색

- ✓ 흉부 X선: 정상
- ✓ 심전도: 정상 동율동, ST-T 변화 없음
- ✓ 심초음파: LVEF 60%, 벽운동 정상, 판막 이상 없음
- ✓ 폐기능검사: FEV1 95% 예측치, FVC 98% 예측치
- ✓ 혈액검사: Hb 14.2g/dL, BNP 35pg/mL (정상)

- ✓ 6분 보행검사: 580m  
- 검사 후 SpO2 96-97%, 호흡곤란 없음

 그런데 왜 여전히 증상이?

"평지는 괜찮은데, 계단만 오르면 숨이 차서... 2층도 중간에 쉬어야 해요.  
예전엔 4-5층도 한 번에 올라갔는데..."

# Contents

- CPET 검사 개요 및 필요성
- 운동생리와 기본 변수
- 검사 장비와 프로토콜
- 결과 해석과 정상 기준
- 안전 관리 및 검사 운영
- 요약

# CPET란 무엇인가?

- **Cardiopulmonary Exercise Test (CPET):** 심폐기능 검사, 심폐운동부하검사
- **심폐-혈액-근육 통합 평가**
  - 폐환기, 가스교환, 혈액 산소운반, 심박출량, 근육 산소소모까지 **전체 산소전달 경로**를 동시에 측정
  - 특정 장기 단독 검사로는 파악하기 어려운 **통합적 기능 이상** 확인 가능
- **비침습적·동적 검사**
  - 호흡가스 분석( $VO_2$ ,  $VCO_2$ , VE)을 통한 실시간 평가
  - 안정 시가 아닌 **점진적 운동 부하 상황**에서 생리학적 반응 관찰
  - 안전성이 높고 반복 측정 가능



# 왜 CPET가 필요한가?

- **안정시 검사만으로는 한계**
- **운동 중 이상 반응 확인 가능**
  - 환기-관류 불일치(V/Q mismatch), 저산소혈증, 심박출 제한 등
  - 안정시 정상이라도, 운동 시 심폐질환의 특성이 드러남
- **호흡곤란·피로의 원인 감별**
  - 심장성 원인: 심부전, 허혈, 심박수 반응 이상
  - 폐질환 원인: COPD, ILD, 폐고혈압 등
  - 비심폐 원인: 탈훈련, 비만, 심인성 과호흡
- **진단·예후 평가 도구**
  - 최대 산소섭취량(peak  $\dot{V}O_2$ ): 심폐체력·사망 위험 예측
  - $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  slope: 폐혈관질환·심부전 예후
- **치료 반응 및 관리 지침 제공**

# 기존 검사 vs. CPET

구분	폐기능검사	6분 보행검사	CPET
검사 조건	안정 시	일정 속도 보행	점진적 운동 부하
평가 범위	폐 기능만	전반적 지구력 + SpO2	심장-폐-근육 통합
운동 강도	없음	저강도 고정 (3-4 METs)	최대 운동까지 (>10 METs)
측정 지표	폐 용적/기류	거리, SpO2, 증상	가스교환, 심폐반응, 대사
제한 요인 파악	폐 질환만	제한적	명확한 감별 진단
검사 시간	5분	6분	8-12분 (점진적)
예후 예측력	제한적	중간	매우 강력

# 임상병리사의 역할

## 검사 준비 및 시행

- 환자 기초정보·금기사항 확인 (문진, 기저질환, 약물 등)
- 환자에게 검사 절차·주의사항 설명 → 검사 협조도 향상
- 운동 부하 단계별로 환자 상태 지속 관찰

## 장비 교정 및 품질 관리

- 호흡가스 분석기, 유량계, 혈압계 등 사전 교정(Calibration) 필수
- 정기적 품질 관리(QC) 기록 유지 → 데이터 신뢰성 확보

## 안전 모니터링

- 검사 중 ECG, SpO<sub>2</sub>, 혈압, 호흡 패턴 등 실시간 관찰
- 흉통, 심한 저산소혈증, 부정맥 등 위험 신호 조기 인지
- 필요 시 즉시 검사 중단 및 응급 대응 팀 호출

## 결과 데이터 관리 및 보고 지원

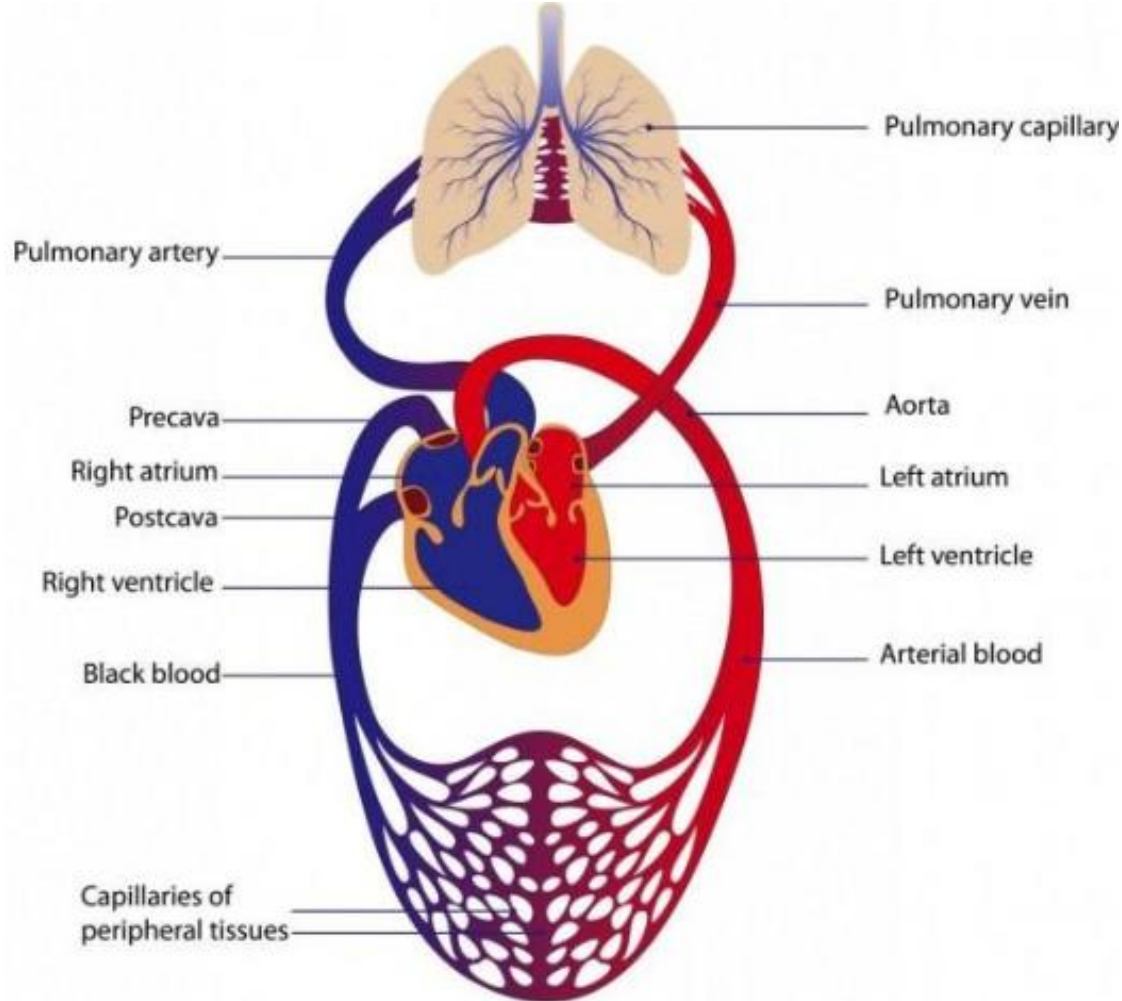
- 원시 데이터(호흡가스·심박수 등) 정리 및 이상치 검토
- 표준화된 리포트 작성 지원 (peak VO<sub>2</sub>, AT, VE/VCO<sub>2</sub> slope 등 포함)
- 판독 의사와 협력하여 임상 적용에 필요한 정확한 자료 제공

※ 의사 감독 하 수행

# Contents

- CPET 검사 개요 및 필요성
- 운동생리와 기본 변수
- 검사 장비와 프로토콜
- 결과 해석과 정상 기준
- 안전 관리 및 검사 운영
- 요약

# 산소전달체계



- 폐 (Pulmonary capillary)
- 혈액 (Hemoglobin & SpO<sub>2</sub>)
- 심장 (Cardiac Output, CO)
- 말초조직 (Capillaries & Muscle)

# 산소전달 체계

## 폐

- V/Q 균형이 산소교환의 핵심
- 확산능(DLco), SpO<sub>2</sub>, VE/VCO<sub>2</sub> 패턴 변화가 영향

## 동맥혈

- $CaO_2 = Hb \times SaO_2 \times PaO_2$
- 빈혈·저산소혈증 → 산소운반 감소 → VO<sub>2</sub> 제한

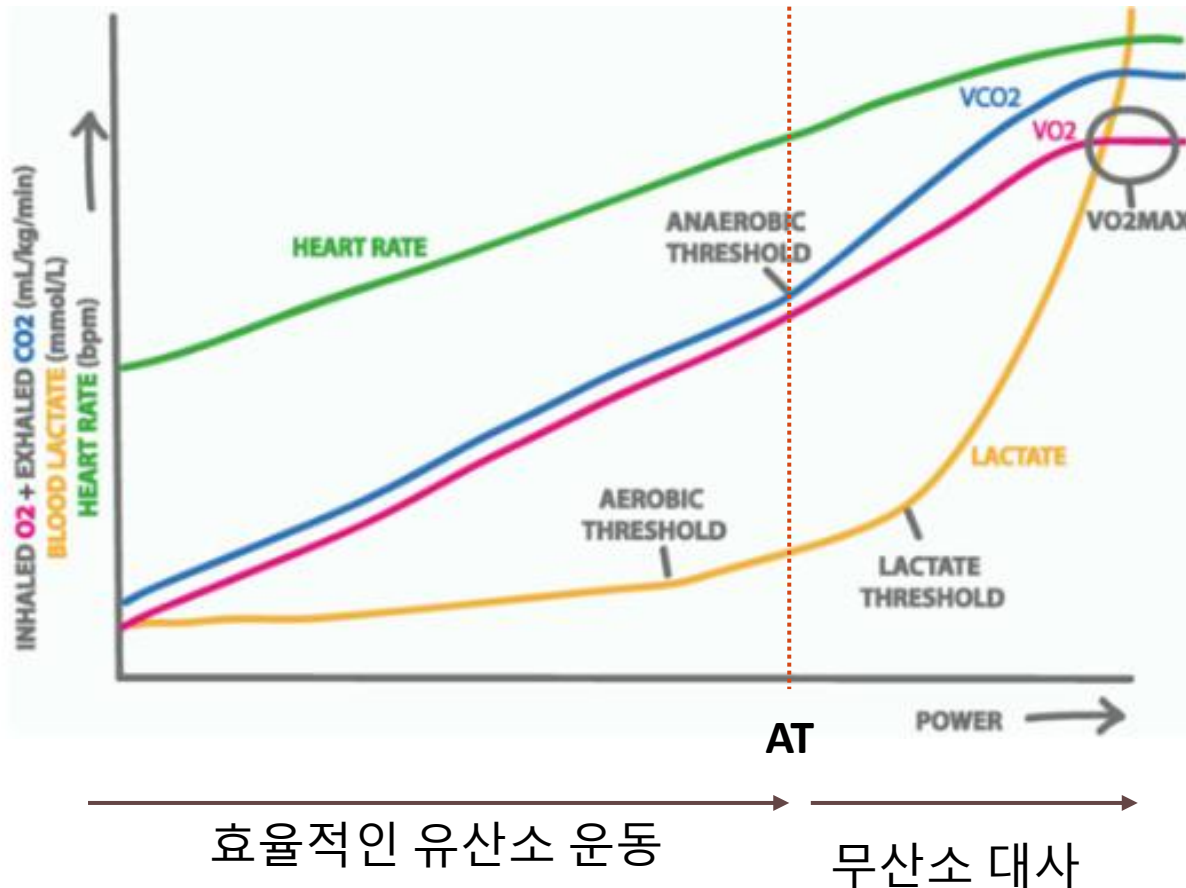
## 심장

- $O_2 \text{ delivery} = CO \times CaO_2$
- 운동 중 HR·SV 증가가 DO<sub>2</sub>의 주요 결정인자

## 말초 조직/ 근육

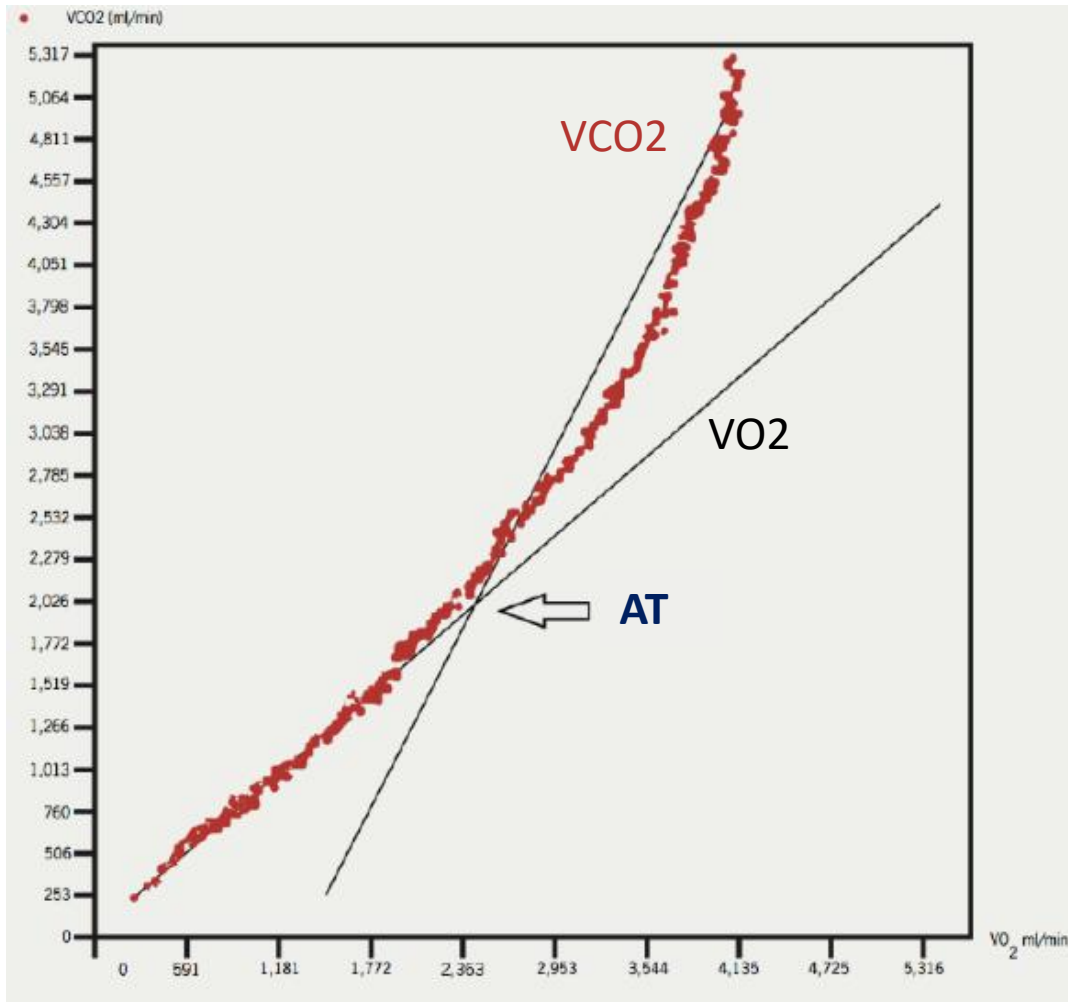
- 모세혈관 밀도와 근육의 O<sub>2</sub> extraction 능력이 핵심
- 운동 시 A-V O<sub>2</sub> difference 증가 → VO<sub>2</sub> 증가

# 정상 운동 반응 곡선



- VO<sub>2</sub> (산소섭취량): 운동 강도에 따라 선형적 증가, 최대치(VO<sub>2</sub>max)에 도달
- VCO<sub>2</sub> (이산화탄소 배출): AT(무산소성 역치) 이후 급격히 증가
- HR (심박수): 운동 강도에 비례해 점진적 선형 증가
- Lactate (젖산): AT 이후 급격히 상승, 피로와 밀접하게 관련
- AT (Anaerobic threshold, 무산소성 역치): 유산소 대사만으로 감당할 수 없는 지점에서 젖산 축적이 시작되고, 이를 보상하기 위해 환기가 비선형적으로 증가하는 대사·환기 전환점

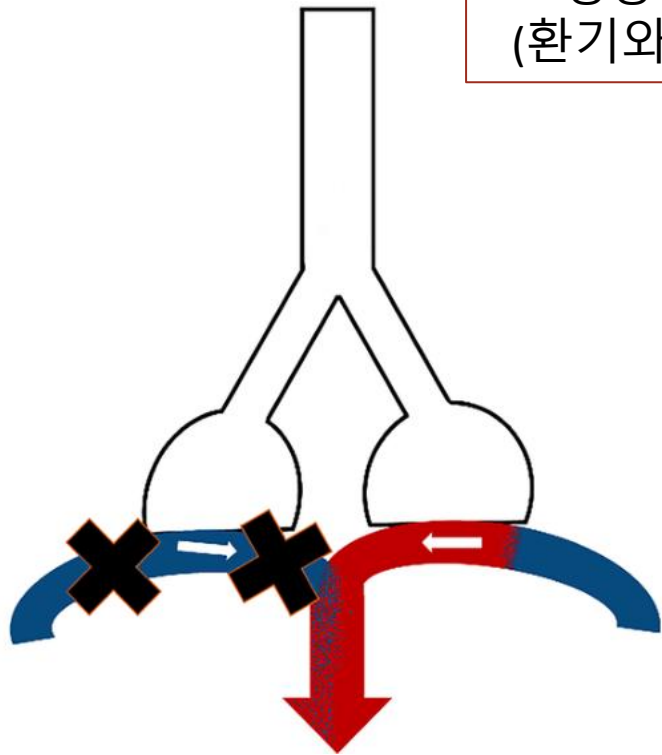
# 무산소성 역치(AT, Anaerobic Threshold)



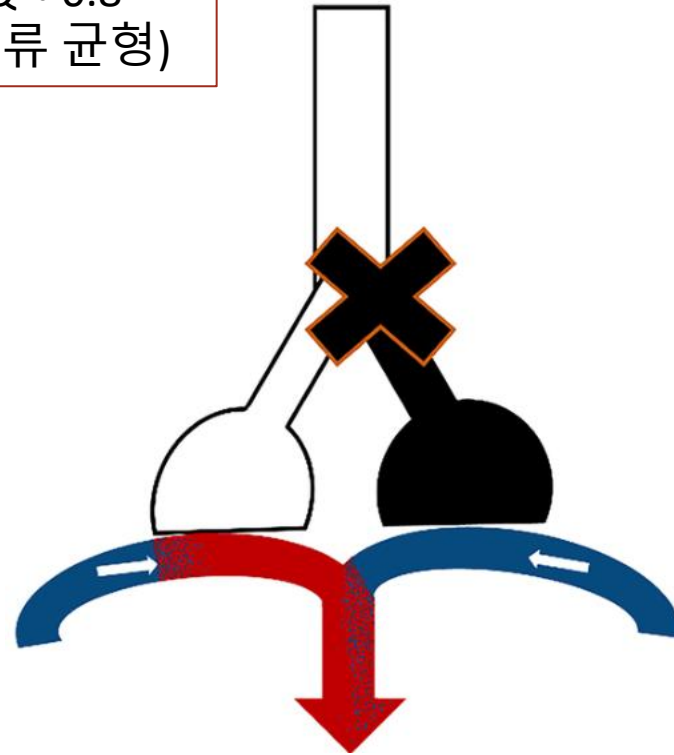
- 운동 초기~중등도 강도
  - $VO_2$ (산소섭취)  $\uparrow$ 에 따라  $VCO_2$ (이산화탄소 배출)도  $\uparrow$
  - 이때는 에너지 대사가 대부분 유산소 대사에 의존  $\rightarrow$   $VCO_2$  증가율이  $VO_2$ 와 거의 직선 관계 (비슷한 기울기)
- AT(무산소성 역치) 도달 시점
  - 젖산 증가  $\rightarrow$   $H^+$  생성  $\rightarrow$   $HCO_3^-$ 로 완충  $\rightarrow$   $CO_2$  과다 생성  $\rightarrow$  환기 자극 $\uparrow$
  - 그 결과, 같은  $VO_2$  증가에 비해  $VCO_2$ 가 더 가파르게 증가
  - 즉, 그래프에서 기울기(slope)가 바뀌는 지점이 AT

# 환기-관류 불일치 (V/Q mismatch)

정상  $V/Q \approx 0.8$   
(환기와 관류 균형)



고  $V/Q$ : 환기  $\uparrow$ , 관류  $\downarrow$



저  $V/Q$ : 환기  $\downarrow$ , 관류  $\circ$

- 고  $V/Q$  (환기 정상/ $\uparrow$ , 관류  $\downarrow$ )
  - Dead space 증가
  - 원인: 폐색전증, 폐혈관 질환, 중증 폐기종
  - 특징:  $CO_2$  배출은 상대적 유지, 산소 교환의 비효율적
- 저  $V/Q$  (환기  $\downarrow$ , 관류 정상)
  - Shunt-like effect
  - 원인: 폐질환(COPD, 폐렴, 일부 ILD)
  - 특징: 저산소혈증 ( $O_2$  저하)

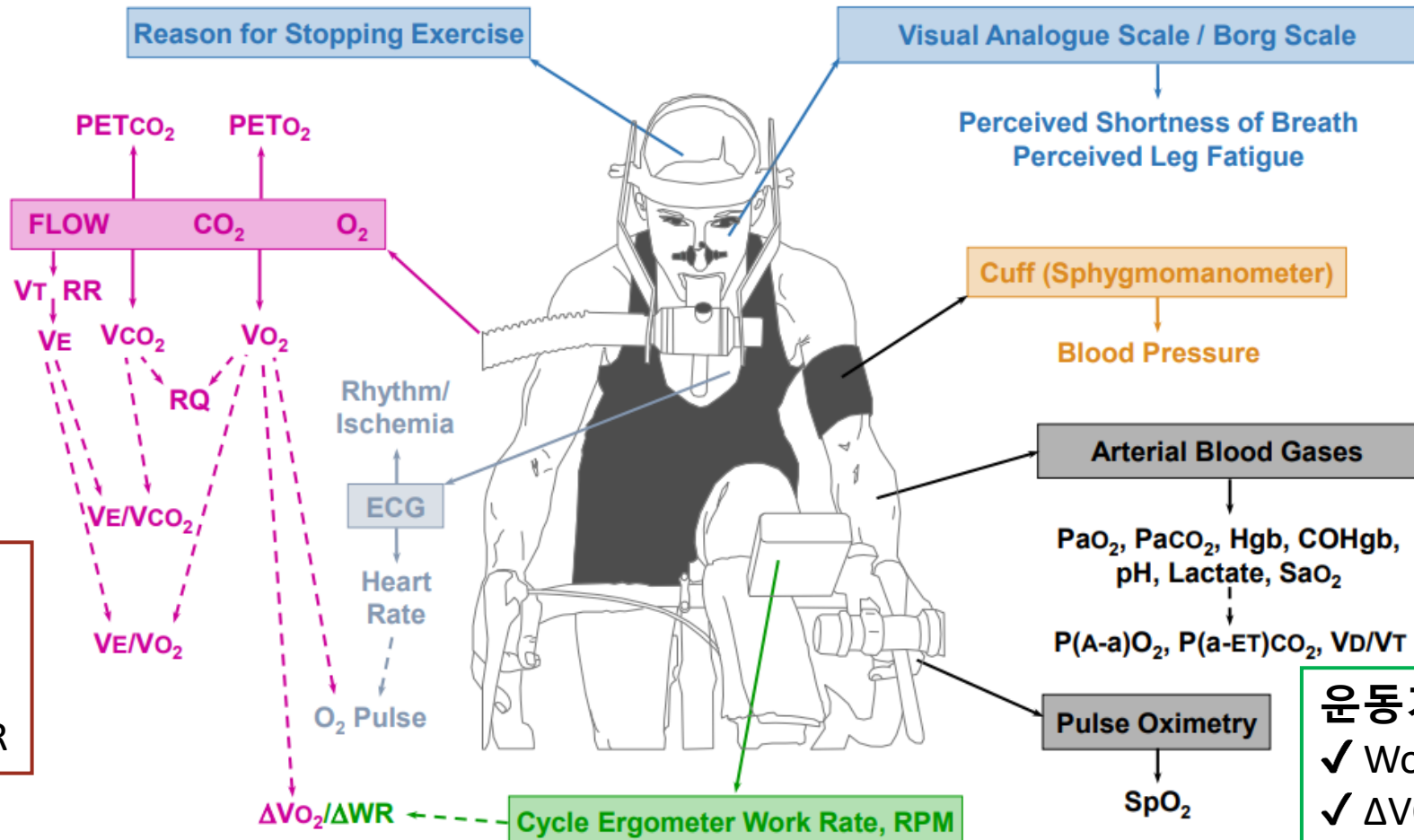
# CPET 및 보조 검사

## 호흡기계 (폐·가스교환)

- ✓ 유량·호흡 패턴
- ✓ 가스 교환
- ✓ 환기 효율

## 심혈관계 지표

- ✓ ECG
- ✓ HR
- ✓  $O_2 \text{ Pulse} = VO_2 / HR$



## 주관적 증상 평가

- ✓ Borg scale
- ✓ Reason for stopping exercise

## 혈액가스

- ✓  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ , hemoglobin, COHb, pH, lactate,  $SaO_2$ ,  $P(A-a)O_2$ , Dead space fraction ( $VD/VT$ )

## 운동기계·말초 산소추출

- ✓ Work Rate (WR), RPM
- ✓  $\Delta VO_2 / \Delta WR$  slope
- ✓ 근육 수준

# CPET 및 보조 검사

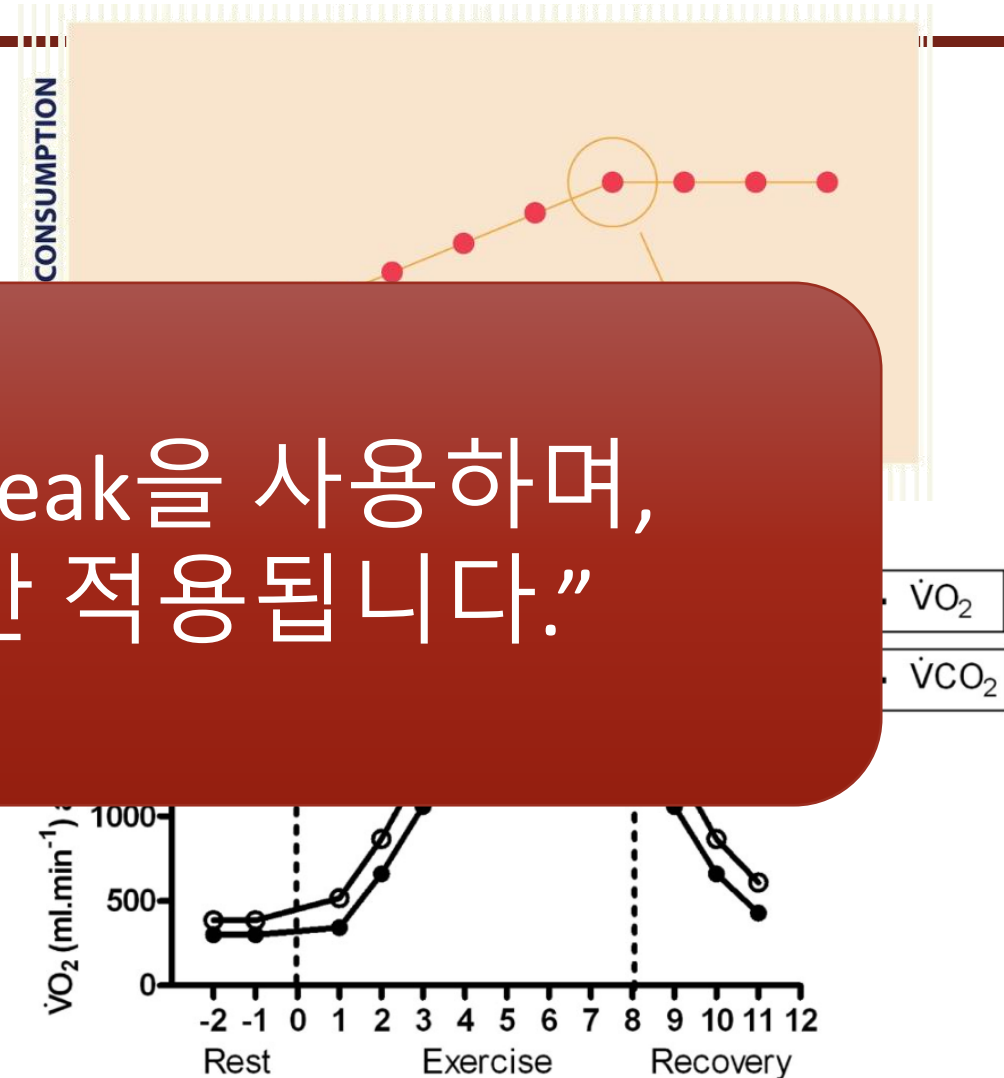
검사 항목	주요 변수	의미/활용
호흡가스 분석	VO <sub>2</sub> , VCO <sub>2</sub> , RER, AT, VE/VCO <sub>2</sub> slope, BR	산소소모·대사상태, 무산소역치, 환기효율, 환기제한 여부
심전도 (ECG)	HR, 리듬, ST-T 변화	심박수 반응, 부정맥·허혈 평가
혈압 측정	SBP, DBP 변화	정상 반응(수축기↑), 비정상 반응(저하·과도 상승)
산소포화도 (SpO <sub>2</sub> )	운동 중 산소포화도	저산소혈증 감별
동맥혈가스분석 (ABGA, optional)	PaO <sub>2</sub> , PaCO <sub>2</sub> , pH, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	산소화·환기능·산-염기 상태 확인
폐기능검사 (Spirometry)	FEV <sub>1</sub> , FVC, FEV <sub>1</sub> /FVC	폐쇄·제한성 패턴 평가, 기저 폐기능 확인
운동 전후 Spirometry 비교	ΔFEV <sub>1</sub> , ΔFVC	운동유발성 기관지수축(EIB) 확인

# 주요 변수 ① $\dot{V}O_2\text{max}$ / $\dot{V}O_2\text{peak}$ (최대·최고 산소소비량)

- $\dot{V}O_2\text{max}$

“환자 CPET에서는 대부분  $\dot{V}O_2\text{peak}$ 을 사용하며,  $\dot{V}O_2\text{max}$ 는 plateau 확인 시에만 적용됩니다.”

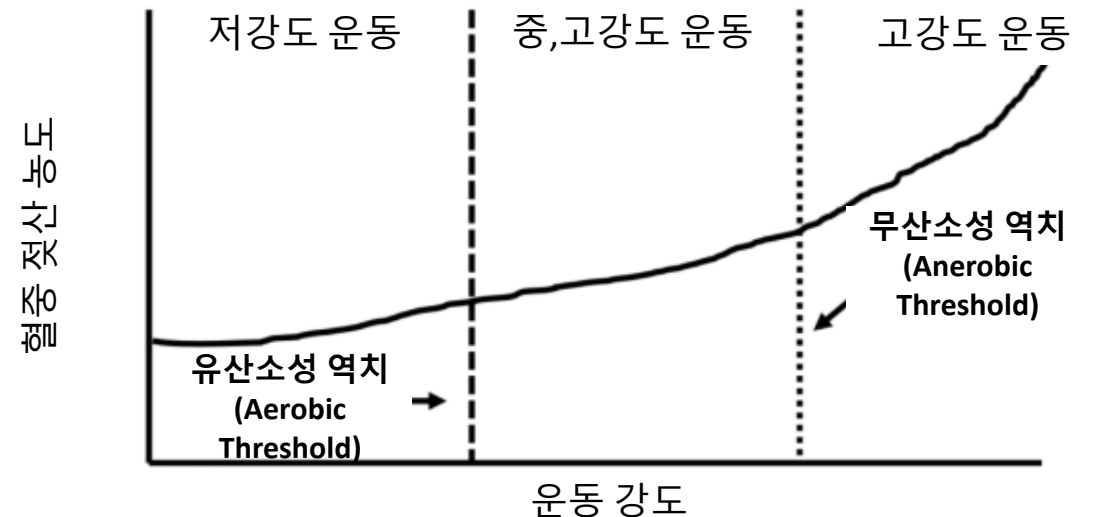
- plateau 없이 순증 상 결성인 최고  $\dot{V}O_2$  값
- 실제 임상 CPET에서 가장 흔하게 사용하는 지표



# 주요 변수② Anaerobic Threshold (AT)

- 정의: 산소 섭취만으로 대사를 유지하지 못하고, 무산소성 대사가 시작되는 전환점
- 정상 범위: 예측  $VO_2$  max의 약 40~70% 지점
- 조기 도달 → 심폐질환, 운동부하에 대한 낮은 내성 시사
- **운동능력 저하 환자 평가의 핵심 지표**
- AT는 최대 운동을 요구하지 않으므로 **객관적 운동능 평가에 유용.**
- 심폐기능, 재활치료 효과, 예후 평가에 활용

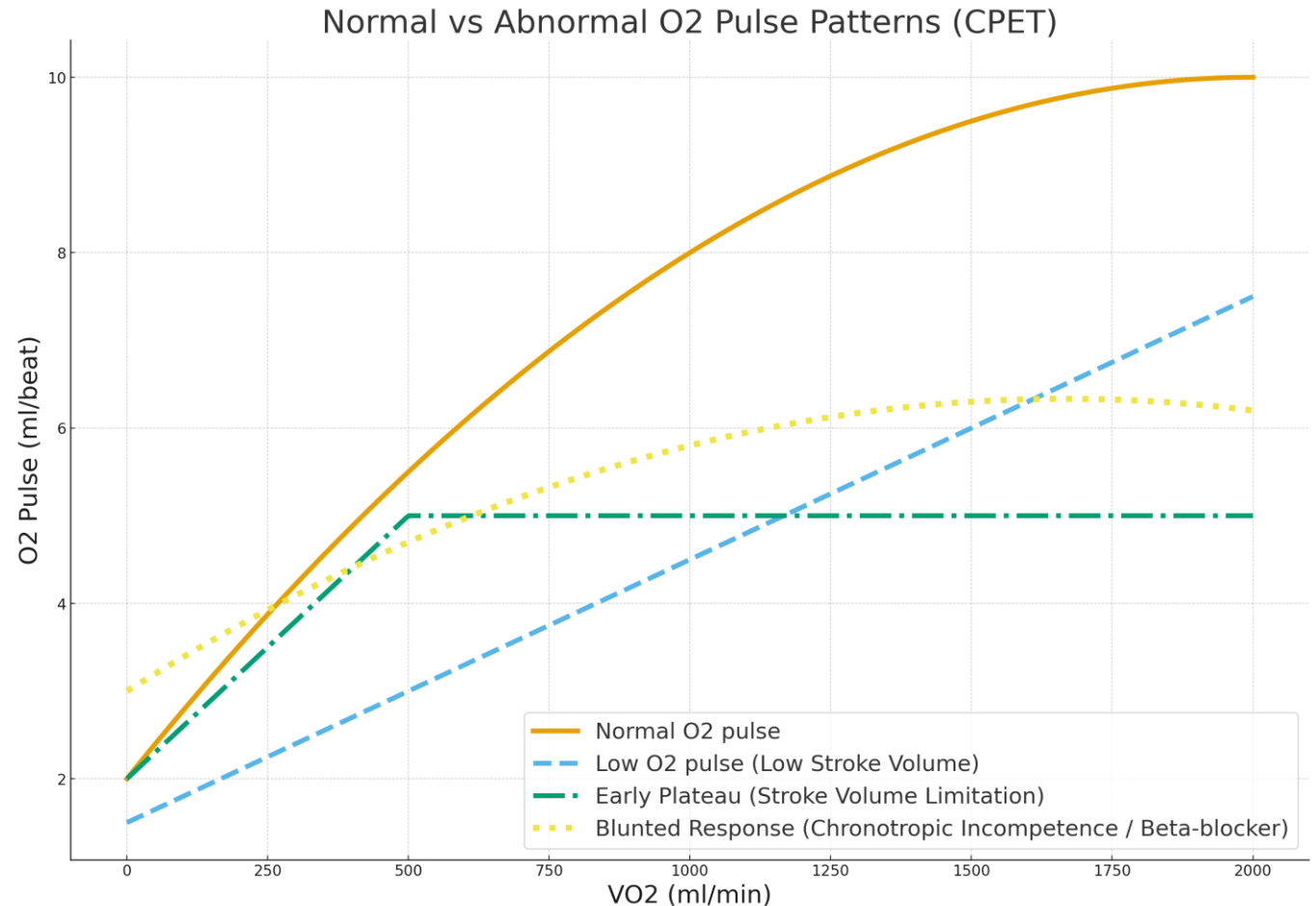
- ✓ AT > 40% 예측  $VO_2$  max
- ⚠ AT 30-40%: 경계역
- 🚨 AT < 30%: 현저한 저하



주로 지방 대사   지방·당 혼합 대사   주로 당 대사

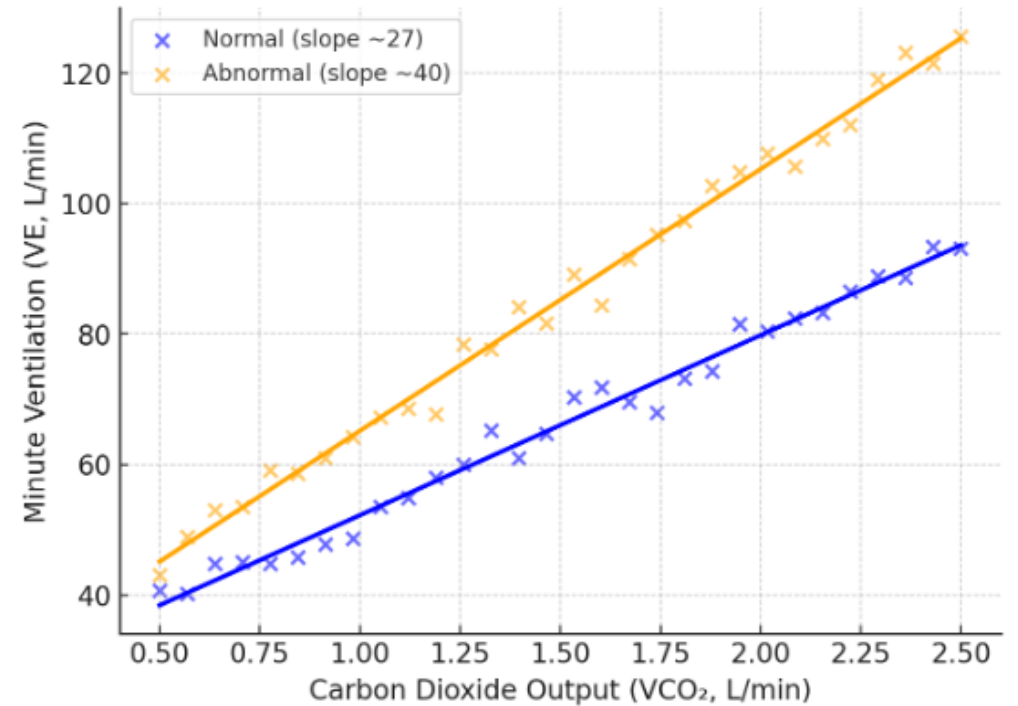
# 주요 변수③ O<sub>2</sub> Pulse (VO<sub>2</sub>/HR)

- 정의: 분당 산소섭취량(VO<sub>2</sub>)을 심박수(HR)로 나눈 값
- 1회 심박출량(stroke volume)의 간접 지표
- 말초 산소추출(A-V O<sub>2</sub> 차)의 영향 일부 반영
- 정상 반응: 운동 강도 증가에 따라 점진적 (curvilinear) 상승
- 이상 소견:
  - 값 자체가 낮음 → stroke volume 감소, 심장 기능 저하 시사
  - 곡선이 둔화·plateau → 심박출량 제한, 심근허혈, 폐고혈압, 중증판막질환, 가능성
  - Blunted response: β-blocker 복용, SA node dysfunction



# 주요 변수④ $VE/VCO_2$ slope

- 정의: 운동 중 이산화탄소 배출량( $VCO_2$ ) 대비 환기량( $VE$ )의 관계를 나타낸 기울기
- 환기 효율(ventilatory efficiency)의 대표 지표
- 기울기가 클수록 동일한  $CO_2$ 를 배출하기 위해 더 많은 환기가 필요함 → 비효율적 호흡
- 정상 범위: <30 (대체로 25~30 이하)
- 상승: 폐혈관질환, 좌심부전, 폐동맥 고혈압 등
- 노력과 무관한 객관적인 지표
- 예후와 밀접하게 연관된 지표



# 기타 지표

---

- **산소포화도 (SpO<sub>2</sub>)**
  - ✓ 정상: 운동 중  $\geq 92\%$  유지
  - ✓ 저산소혈증 시 심폐질환 가능성 ↑
- **심박수 예비량 (Heart Rate Reserve, HRR)**
  - ✓ 최대 예측 HR 대비 여유분
  - ✓ 낮을수록 예후 불량 지표
- **혈압 반응 (Blood Pressure Response)**
  - ✓ 운동 중 수축기 혈압  $\geq 20$  mmHg 상승이 정상
  - ✓ 무반응/저하 → 심장질환 시사

# Contents

- CPET 검사 개요 및 필요성
- 운동생리와 기본 변수
- 검사 장비와 프로토콜
- 결과 해석과 정상 기준
- 안전 관리 및 검사 운영
- 요약

# CPET 적응증

---

- **원인 불명의 호흡곤란 평가**
  - 안정시 검사(폐기능검사, 심초음파 등)로 설명되지 않는 호흡곤란의 감별
- **심폐질환 감별 진단**
  - 폐질환: COPD, ILD, 폐혈관질환(PAH 등)
  - 심질환: 심부전, 허혈성 심질환, 부정맥 등
- **수술 전 위험도 평가**
  - 폐절제술, 심장수술 등 고위험 수술 전 평가
- **예후 평가 및 운동 처방**
  - 심부전, 폐질환, 폐고혈압 환자의 예후 예측
  - 심폐재활 및 맞춤형 운동 처방

# CPET 금기

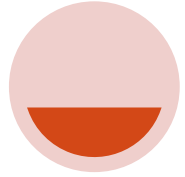
## ✓ 절대적 금기 (Absolute)

- 불안정 협심증 (Unstable angina)
- 최근 심근경색 (Recent myocardial infarction, <4주)
- 조절되지 않는 부정맥 (Uncontrolled arrhythmia)
- 중증 대동맥협착 (Severe symptomatic aortic stenosis)
- 진행성 심부전 (Decompensated heart failure)
- 중증 저산소혈증 (Severe hypoxemia, SpO<sub>2</sub> <85% at rest)
- 활동성 심근염, 심낭염 (Active myocarditis or pericarditis)

## ⚠ 상대적 금기 (Relative)

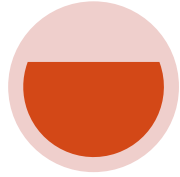
- 조절되지 않는 고혈압 (SBP >200mmHg or DBP >110mmHg)
- 중증 폐고혈압
- 조절되지 않는 대사질환 (예: 당조절 불량, 갑상선질환)
- 발열, 급성 감염, 빈혈 (Hgb <10 g/dL)

# 검사 준비 과정



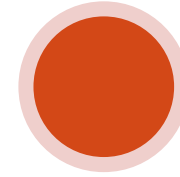
## Patient: 문진 & 기초검사

- 병력 및 약물 복용 확인
- 기초검사
- ✓ 폐기능검사(PFT),
- ✓ 흉부 X선(CXR)
- ✓ 심전도(ECG)
- ✓ 기저 혈압·SpO<sub>2</sub>



## Equipment: 장비 및 교정

- 호흡가스분석기, 유량계, 마스크·튜브 누출 점검
- 기기의 일일 교정 (Flow calibration, Gas calibration)



## Safety: 응급 장비 & 모니터링

- 응급약물·제세동기 등 안전 장비 비치
- 의료진(의사·간호사·임상병리사) 역할 분담
- 환자 교육: 검사 과정 및 중단 기준 설명

# 검사 전 환자 교육

Rating	Perceived Exertion
6	No exertion
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

- **Borg Scale 교육 (6-20점)**

6-8: 매우 가벼움

9-11: 가벼움

12-14: 약간 힘들

15-17: 힘들

18-20: 매우 힘들

- **증상 표현 교육**

- ✓ "숨이 차다" "다리가 아프다"
- ✓ "가슴이 아프다" "어지럽다"
- ✓ 손신호: 👍 (괜찮음) 🖐️ (중단)

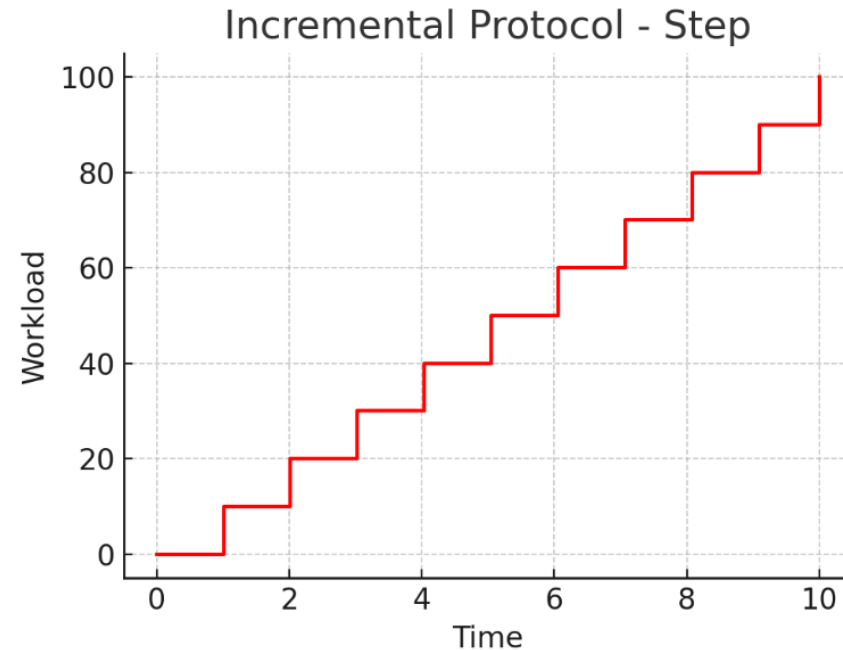
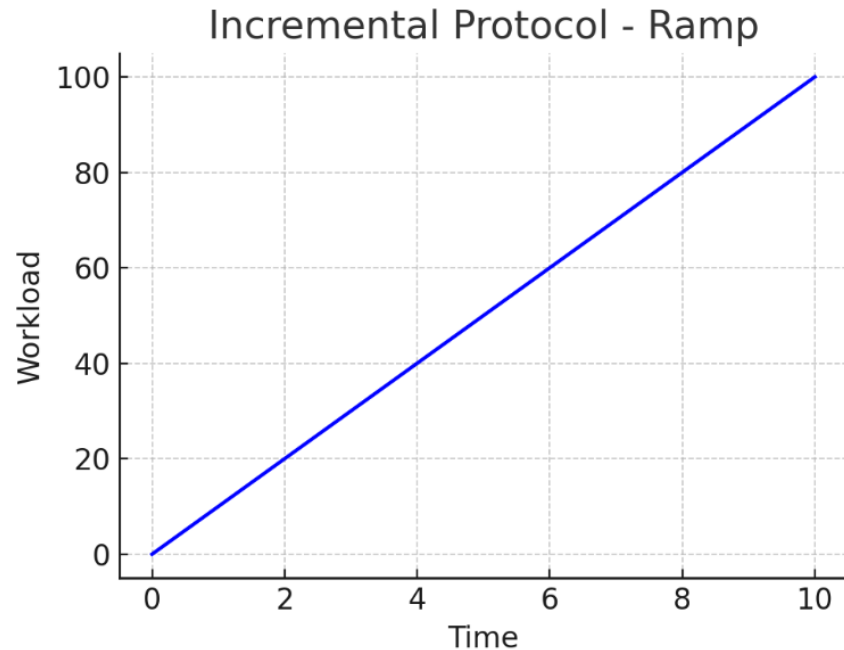
- **검사 중 격려:** "조금만 더!", "잘하고 있어요!"

# 운동부하 프로토콜

- 목적: CPET에서 환자의 심폐반응을 표준화·재현성 있게 측정하기 위함
- 검사 시간은 8-12분 내 최대 운동에 도달하도록 설계
- 환자의 연령, 체력, 질환 상태를 고려해 맞춤 선택

구분	특징	주요 목적	장점	단점
<b>Incremental (Ramp / Step)</b>	부하를 1-3분 간격으로 점진적 증가 (Cycle: 5-25 W/min)	<b>Peak VO<sub>2</sub>, AT, VE/VC O<sub>2</sub> slope</b> 평가	진단 및 예후 평가에 표준, 검사 시간 8-12분	환자가 조기 탈락하면 최대 지표 평가 어려움
<b>Constant work rate (Endurance)</b>	최대 능력의 약 75% 부하에서 지속 운동	<b>내구도, 치료 반응, 재활 효과</b> 평가	치료제 반응, 재활 효과 평가에 유용	피로로 조기 종료 가능 peak VO <sub>2</sub> 평가 불가

# Incremental Protocol (점진적 부하)



## Ramp (선형 증가)

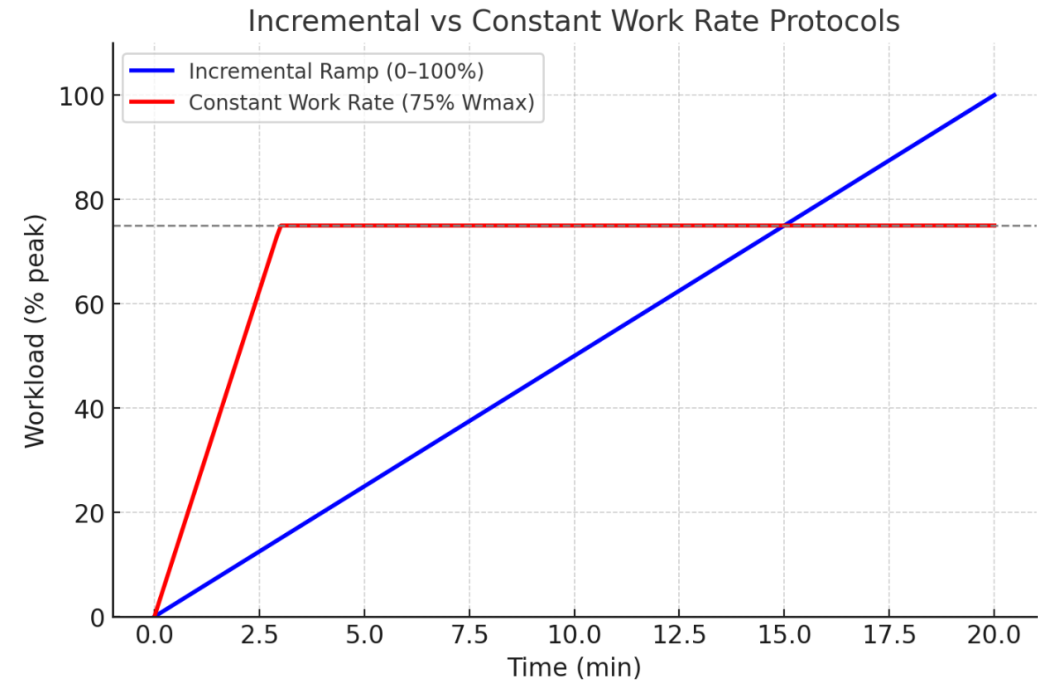
- 시간에 따라 부하가 매끄럽게 지속적으로 증가함
- HR,  $VO_2$  등 반응을 연속적으로 평가하기 유리
- ◆ 환자 협조와 장비 세팅이 정확해야 함

## Step (계단식 증가)

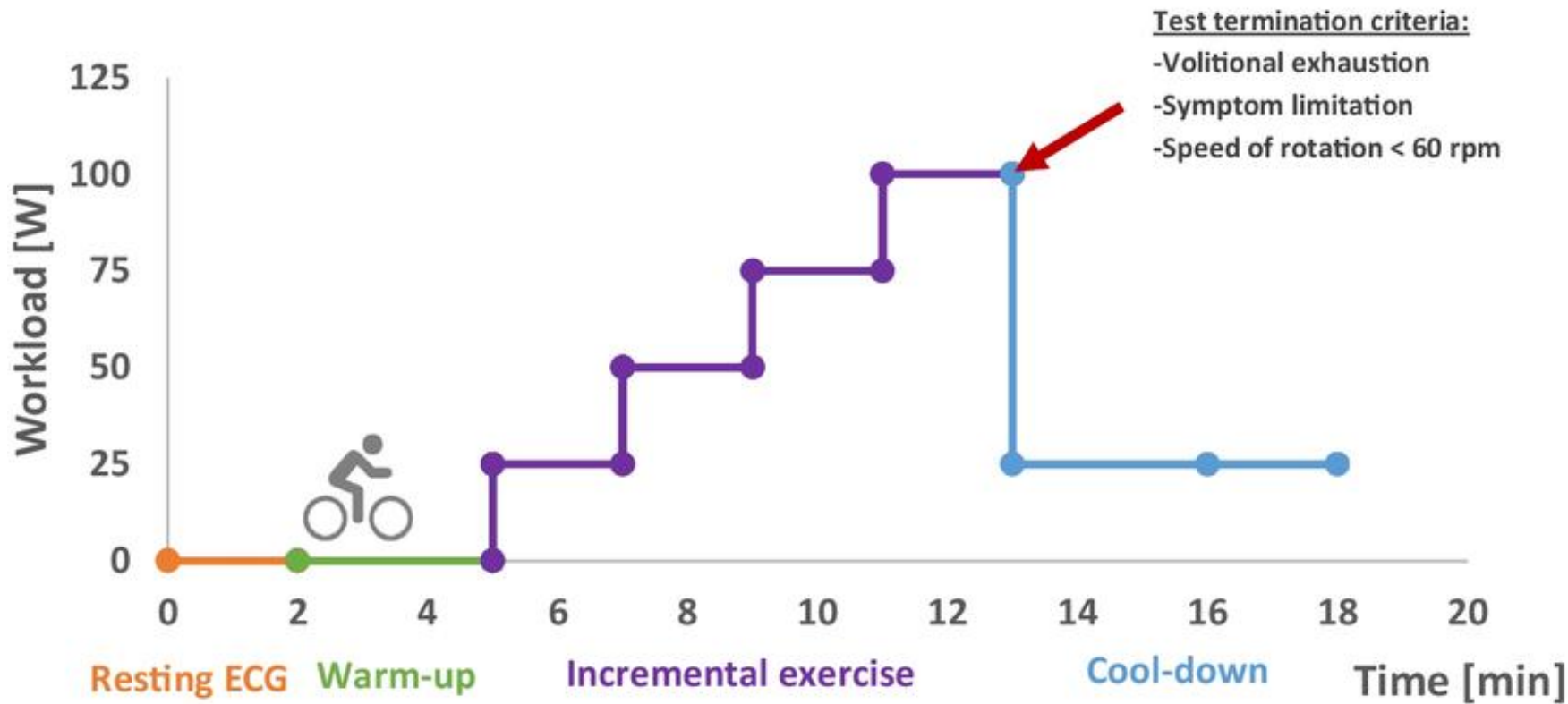
- 일정 시간 간격마다 부하를 계단처럼 증가시킴
- 각 단계에서 안정화된 생리 반응을 관찰 가능
- ◆  $VO_2$ ,  $VCO_2$  반응이 plateau에 도달하기 전에 다음 단계로 넘어가면 값이 왜곡될 수 있음
- ◆ 해석이 ramp보다 덜 정밀

# Constant Work Rate Protocol (지속 부하)

- Incremental test에서 얻은 **최대 능력(peak work rate)의 약 75% 부하를 지속**
- 시간 경과에 따라 환자의 운동 내 지표 변화(SpO<sub>2</sub>, HR, VE 등) 관찰
- ✓ 운동 내구도, 치료 효과, 재활 반응 평가에 유용
- ✓ 특히 COPD, 심부전, 폐동맥고혈압 환자에서 사용
- ✓ 보통 6-10분 정도 지속을 목표








# 4단계 운동부하 프로토콜(총 15-20분)






- 1 안정기 (2-3분)
  - 마스크/마우스피스 적응
  - 기저 활력징후 측정
- 2 무부하기 (2-3분)
  - 0-15W에서 페달링
  - 60-70 rpm 유지
- 3 부하 증가기 (8-12분)
  - 5-25W/분씩 점진적 증가
  - 증상 제한까지 지속
- 4 회복기 (최소 3분)
  - 무부하 페달링 또는 안정
  - 활력징후 정상화까지

# 연속 관찰 항목






## 매 분마다 확인:

-  심전도 리듬과 ST 분절
-  혈압 (자동 또는 수동)
-  심박수와 부정맥
-  산소포화도
-  호흡 양상과 발성 능력

## 매 2-3분마다 (각 운동 단계별):

-  Borg scale (호흡곤란 + 다리 피로도)
-  환자와 간단한 의사소통
-  운동 지속 능력 평가

## 환자 상태 관찰 (지속적):

-  안면 홍조, 창백, 발한
-  과도한 호흡곤란
-  구역, 구토
-  어지러움, 운동실조
-  손 신호나 몸짓 변화

# 목표 달성 기준: 충분한 노력의 지표

지표	기준
RER	$\geq 1.15$
Peak HR	$\geq 80\%$ of predicted max HR
Borg scale	$\geq 17/20$
Breathing reserve	$\leq 15\%$ (또는 $\leq 11$ L/min)
VO <sub>2</sub> plateau	Workload $\uparrow$ 에도 VO <sub>2</sub> $\uparrow$ 없음

- 가장 신뢰되는 지표: RER  $\geq 1.15$  (others: 보조적 기준)

- RER (Respiratory Exchange Ratio, 호흡교환율)
- $VCO_2 \div VO_2$
- 안정시: RER  $\approx 0.8$  (주로 지방 대사)
- 강한 운동 시: RER  $\uparrow$   $\rightarrow$  탄수화물 대사 증가  $\rightarrow$  1.0 이상
- 과호흡 시: CO<sub>2</sub> 배출 증가  $\rightarrow$  RER  $\geq 1.15$   
 $\rightarrow$  "충분히 최대 노력"의 지표로 사용

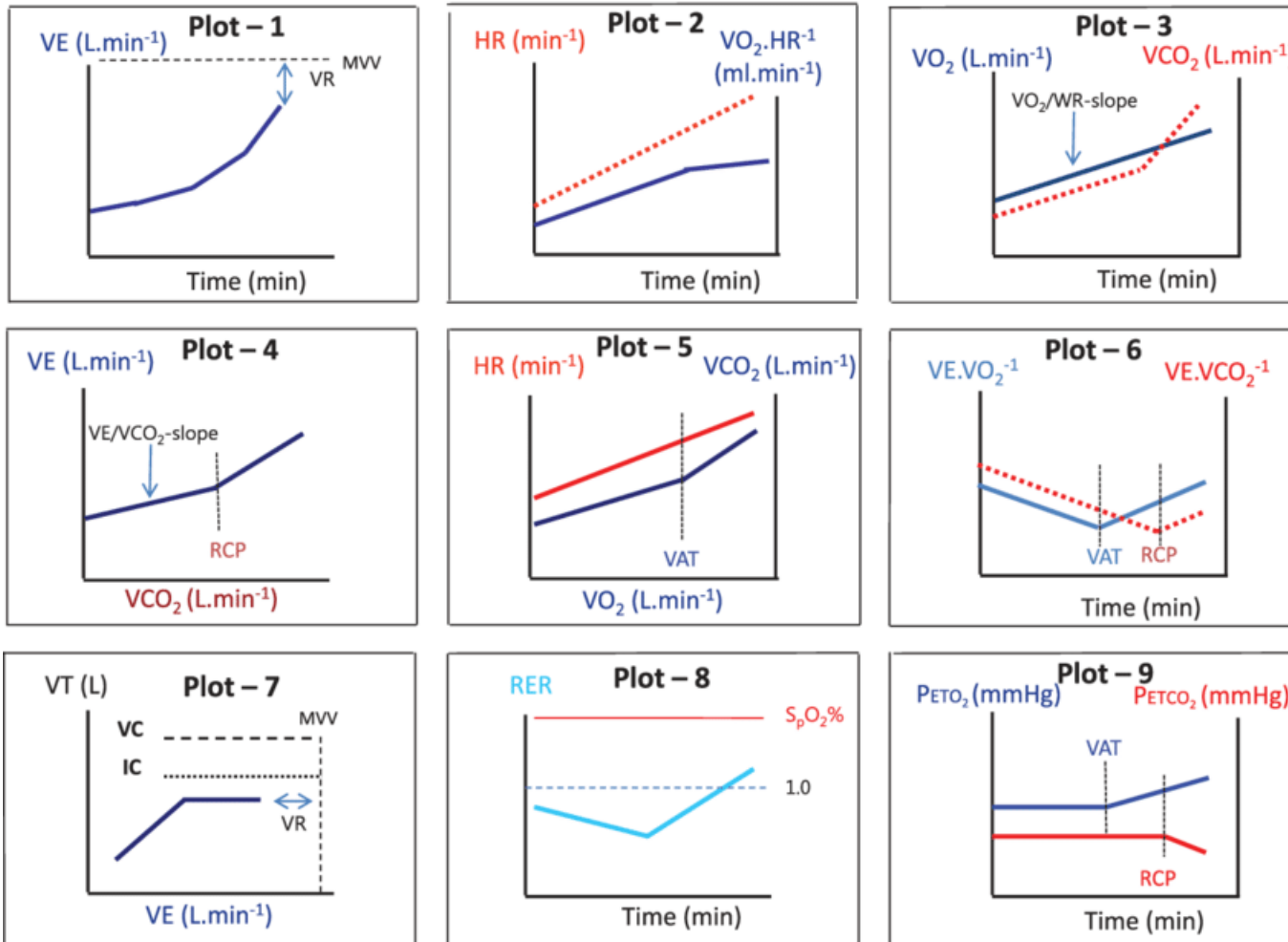
# Contents

- CPET 검사 개요 및 필요성
- 운동생리와 기본 변수
- 검사 장비와 프로토콜
- **결과 해석과 정상 기준**
- 안전 관리 및 검사 운영
- 요약

# 호흡가스분석의 임상적 활용

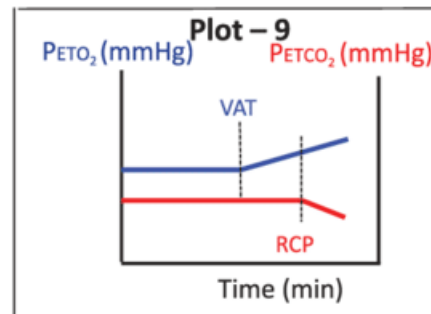
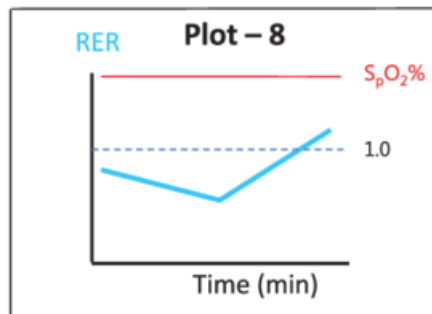
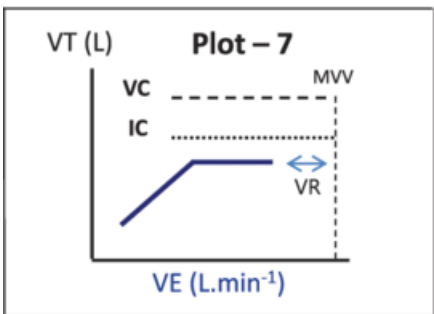
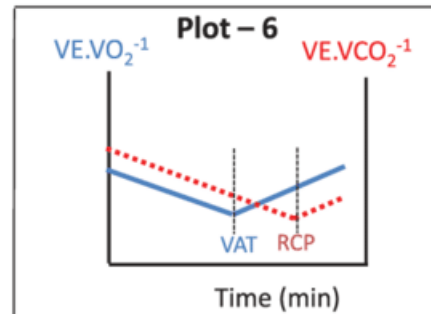
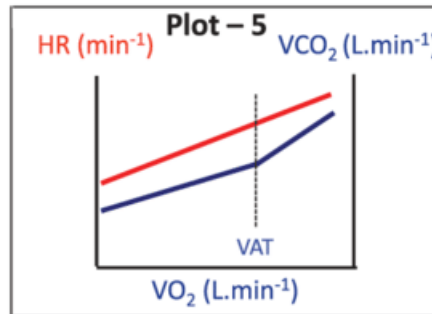
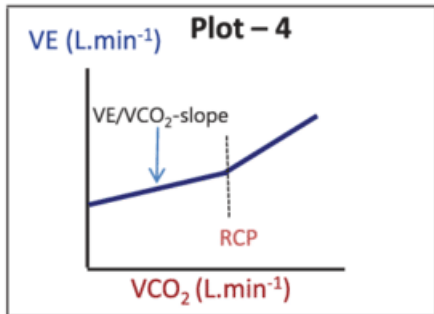
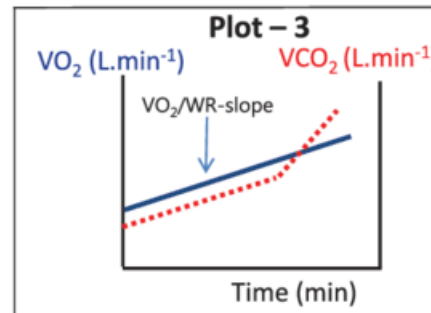
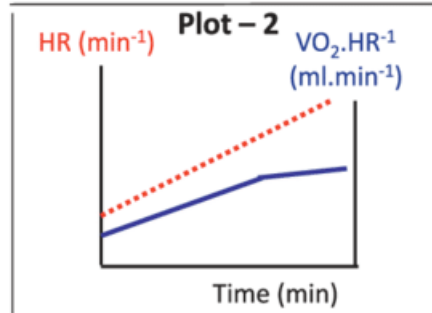
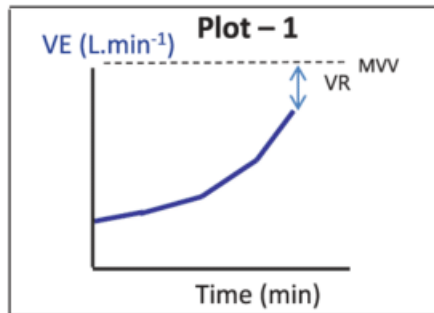
- 운동 중  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}E$  등으로 심폐기능, 대사 상태, 심폐 지구력을 평가.
- 이를 바탕으로 개인 맞춤형 운동 강도·시간·프로그램 설정 가능.
- 심장재활 중 경과를 모니터링하고, 프로그램 효과를 평가·조정하는 데 사용.
- 측정·계산 변수
  - 직접 측정:  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}T$ , 호흡수(BF),  $\dot{V}E$ , HR 등.
  - 파생 지표
    - ✓  $RER = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$
    - ✓  $EqO_2 \approx \dot{V}E / \dot{V}O_2$
    - ✓  $EqCO_2 \approx \dot{V}E / \dot{V}CO_2$
    - ✓  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  slope
    - ✓ Oxygen pulse =  $\dot{V}O_2/HR$

# Normal 9-panel Plots (정상 운동 반응)



- Wasserman 9-패널 그래프
- CPET 결과를 9개 패널로 시각화하여 체계적인 해석을 가능하게 하는 도구.
- ✓ 산소 소모·대사: 패널 1,2,3,8
- ✓ 환기량·호흡패턴·호흡 제한: 패널 5,9
- ✓ 폐가스 교환·v/Q 불일치: 패널 4,6,7

# Normal 9-panel Plots (정상 운동 반응)



Plot	내용	정상 소견
1. VE vs Time	분당 환기량	운동 강도 ↑ → 선형 증가, MVV 이하에서 종료
2. HR vs VO <sub>2</sub>	HR/VO <sub>2</sub> slope	HR 선형 증가, O <sub>2</sub> pulse 선형 상승
3. VO <sub>2</sub> vs Work Rate	산소 소비량	운동 강도 ↑ → VO <sub>2</sub> 선형 증가
4. VE vs VCO <sub>2</sub>	환기 효율	VE/VCO <sub>2</sub> slope 일정, RCP 시점에서 증가(무산소성 대사)
5. VCO <sub>2</sub> vs VO <sub>2</sub>	V-slope	AT 시점: VCO <sub>2</sub> 가 VO <sub>2</sub> 보다 급격히 증가
6. VE/VO <sub>2</sub> & VE/VCO <sub>2</sub>	환기 당량	VE/VO <sub>2</sub> 는 AT에서 감소 후 증가, VE/VCO <sub>2</sub> 는 RCP까지 감소 후 증가
7. VT vs VE	일회호흡량	VT 증가하다가 plateau, 이후 VE는 주로 호흡수 증가로 상승
8. RER & SpO <sub>2</sub>	호흡교환비 & 산소포화도	RER ≥ 1.1 → 충분한 노력, SpO <sub>2</sub> 안정 유지
9. PetO <sub>2</sub> & PetCO <sub>2</sub>	호기말 가스	VAT: PetO <sub>2</sub> ↑, PetCO <sub>2</sub> ↔ RCP: PetO <sub>2</sub> ↑, PetCO <sub>2</sub> ↓

# 정상 Reference Values: 절대값은 없다

- 연구자·집단별 reference 값 다양 (Bruce, Hansen, Jones 등)
- Cycle vs Treadmill → 값 차이 (~10–15%)
- 예측 공식(equation)도 다양
- ➔ 따라서 단일 기준값 존재하지 않음

- 그러나 임상 해석을 위해 ATS/ACCP 가이드라인에서 권고 기준(criteria of normality)을 제시하고 있으며, 이를 참고해 평가

- ATS/ACCP 권고 기준 요약

변수	정상 기준
VO <sub>2</sub> max	> 84% 예측치
AT	> 40% VO <sub>2</sub> max (40–80%)
HRmax	> 90% 예측치
HR reserve	< 15 bpm
O <sub>2</sub> pulse	> 80% 예측치
VR	(MVV–VE <sub>max</sub> ) > 11L or VE <sub>max</sub> /MVV < 85%
VE/VCO <sub>2</sub> (AT)	< 34
PaO <sub>2</sub>	> 80 mmHg
P(A–a)O <sub>2</sub>	< 35 mmHg

# CPET 해석의 4가지 핵심 질문

영역	지표	정상 기준
운동능력	$\dot{V}O_2 \text{ max}$ , Max Work Rate	$\dot{V}O_2 \text{ max} \geq 84\% \text{ predicted}$
심혈관 반응	$O_2 \text{ pulse } (\dot{V}O_2 / \text{HR})$ , AT	$\text{HRmax} \geq 90\% \text{ predicted}$ , $\text{HRR} < 15 \text{ bpm}$ , $O_2 \text{ pulse} \geq 80\% \text{ predicted}$
환기 반응	$\dot{V}_E / \text{MVV}$ , max RR, $\text{PaCO}_2$	$\dot{V}_E / \text{MVV} < 85\%$ , $\text{RR} < 60 / \text{min}$ , $\text{PaCO}_2 \text{ 35-45 mmHg}$
가스교환	$V_D / V_T$ , $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$ , $\text{PaO}_2$ , $(A-a)O_2$	$V_D / V_T < 0.28$ , $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2 < 34$ , $\text{PaO}_2 > 80 \text{ mmHg}$ , $(A-a)O_2 < 35 \text{ mmHg}$

# CPET 해석

원인	주요 CPET 소견
<b>Cardiomyopathy</b>	↓ Peak $\text{VO}_2$ , <b>no HRR</b> , ↓ $\text{O}_2$ pulse, early AT Ventilatory reserve preserved, Gas exchange 정상
<b>COPD</b>	↓ Peak $\text{VO}_2$ , <b>high HRR</b> , $\text{O}_2$ pulse normal/low ↓ Ventilatory reserve (↑ $\text{VE}/\text{MVV}$ ), ↑ $\text{V}_D/\text{V}_T$ (dead space), ↓ Oxygenation
<b>Pulmonary vascular disease</b>	↓ Peak $\text{VO}_2$ , <b>no HRR</b> , ↓ $\text{O}_2$ pulse, early AT Ventilatory reserve normal, <b>abnormal <math>\text{V}_D/\text{V}_T</math></b> , ↓ Oxygenation
<b>Obesity</b>	↓ Peak $\text{VO}_2/\text{kg}$ , but <b><math>\text{VO}_2</math> (L/min) 정상</b> (→ 절대 산소소비량은 정상) ↑ $\text{O}_2$ cost ( $\text{VO}_2$ vs Work rate 상향 이동), 다른 반응 정상
<b>Deconditioning</b>	↓ Peak $\text{VO}_2$ , borderline HR & gas exchange Ventilation 정상, Echocardiogram 정상, 운동으로 호전 가능
<b>Poor effort</b>	↓ Peak $\text{VO}_2$ , but <b>no physiologic limitation</b> HRR 높음, Ventilatory & Gas exchange 정상

# CPET에서 임상병리사가 꼭 봐야 하는 핵심 5가지

---

- HR, BP
- SpO<sub>2</sub>
- RER
- 호흡패턴(rapid shallow breathing)
- 환자 표정·협조도

# Contents

- CPET 검사 개요 및 필요성
- 운동생리와 기본 변수
- 검사 장비와 프로토콜
- 결과 해석과 정상 기준
- 안전 관리 및 검사 운영
- 요약

# 안전 관리

## 지속적 모니터링

- ✓ ECG: 부정맥, 허혈 소견 확인
- ✓ SpO<sub>2</sub>: 저산소혈증 조기 발견 ( $\geq 85\%$  미만 시 주의)
- ✓ 혈압: 매 2-3분마다 측정 (비정상 반응 시 중단 고려)

## 응급 대응 준비

- ✓ 제세동기, 산소, 기관삽관 장비, 응급약품
- ✓ 숙련된 의료 인력(심폐소생술 훈련된 의사·기술자) 상시 배치

## 검사 중단 기준 (Absolute Indications)

- ✓ 진행성 흉통, ST segment 변화
- ✓ 위험 부정맥
- ✓ 수축기 혈압  $\geq 250$  mmHg 또는  $\geq 20$  mmHg 감소
- ✓ 심한 저산소혈증 (SpO<sub>2</sub>  $\leq 80\%$  지속)
- ✓ 어지럼증, 실신, 운동 지속 불가 호흡곤란

## 상대적 중단 기준 (Relative Indications)

- ✓ 고도 고혈압 (SBP  $> 200$ , DBP  $> 110$ mmHg)
- ✓ SpO<sub>2</sub> 감소 ( $\geq 5-10\%$  from baseline)
- ✓ 예상치 못한 심박수 반응 (예: HR reserve 소진 X)
- ✓ 피로·호흡곤란·환자 요구

# 응급 대응

## ① 즉시 운동 중단

- 에르고미터 정지
- 환자에게 페달링 중단 지시

## ② 환자 안전 자세 확보

- 의식 있음: 앉은 자세 유지
- 의식 저하: 안전하게 눕히기

## ③ 활력징후 재측정

- 심전도, 혈압, 산소포화도
- 의식 상태, 호흡 양상

## ④ 의료진 호출 및 응급처치

- 응급콜 또는 의사 호출
- 필요시 산소 공급
- CPR 준비 상태 유지

## ⑤ 상황 기록 및 보고

- 시간, 증상, 대응 내용
- 검사 데이터 저장
- 의료진에게 정확한 전달

# 일일 점검 항목

## 가스 교정

- Room air 교정 (대기 중 O<sub>2</sub> ~21%, CO<sub>2</sub> ~0.04%)
- Standard gas 교정 (15% O<sub>2</sub>, 5% CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> balance)
- 교정 결과 기록 및 허용오차 확인

## 유량 교정

- 3L 주사기로 유량계 교정
- 누수 검사 (mask/mouthpiece)
- 호흡 밸브 기능 확인

## 시스템 점검

- 소프트웨어 정상 작동
- 데이터 저장 경로 확인
- 프린터 및 네트워크 연결

## 응급 장비

- 제세동기 배터리 상태
- 응급약물 유효기간
- 산소 공급 시스템 점검

# Take-home messages

- CPET는 심폐-혈액-근육의 통합 기능을 동적 상황에서 평가할 수 있는 가장 유용한 검사임  
→ 안정시 정상이어도 운동 시 병태가 드러남.
- 주요 지표( $VO_2\max$ , AT,  $O_2$  pulse,  $VE/VCO_2$  slope)는 환자의 진단, 예후, 치료 반응 평가에 핵심적  
→ 특히 AT와  $VE/VCO_2$  slope는 노력에 크게 의존하지 않아 임상적 신뢰도가 높음.
- 임상 적용은 광범위  
→ 원인 불명의 호흡곤란 감별, 수술 전 위험도 평가, 심폐재활 및 맞춤형 운동 처방 등.
- 안전 관리와 장비 점검이 필수  
→ 금기 사항 확인, 검사 중 지속적 모니터링, 응급 대응 체계 확보가 정확하고 안전한 검사의 전제 조건임.

경청해 주셔서 감사합니다.

