



Sağlık Bilimleri Üniversitesi ve ASYOD



# ASİSTANBUL 9

27-28 Haziran 2026

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Külliyesi,  
Mekteb-i Tıbbiye-i Şahane Binası

## SOLUNUM YETMEZLİĞİ

**Dr. Mehtap Pehlivanlar Küçük**

*Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı  
Yoğun Bakım Bilim Dalı  
İstanbul 2026'*



# Solunum Yetmezliği

Solunum sisteminin gaz değişim fonksiyonlarından birini veya her ikisini de yerine getiremediği bir sendrom olarak tanımlanabilir

➤ **Oxygenation**

➤ **Carbondioxide Elimination**

## **ACUTE RESPIRATORY FAILURE**

I breathe for my own necessity, for my survival.

Ayn Rand  
The Fountainhead  
1943

# Solunum Yetmezliğinin Tipleri

➤ **TYPE 1 (HYPOXEMIC)**:  $pO_2 < 80$  mmHg oda havası

Hafif hipoksemi =  $PaO_2$ 'nin 60–80 mmHg  
Orta hipoksemi =  $PaO_2$ 'nin 40–60 mmHg  
Ağır hipoksemi =  $PaO_2 < 40$  mmHg'nin

**Hipoksi** ise;  
Doku oksijenlenmesinde bozukluk

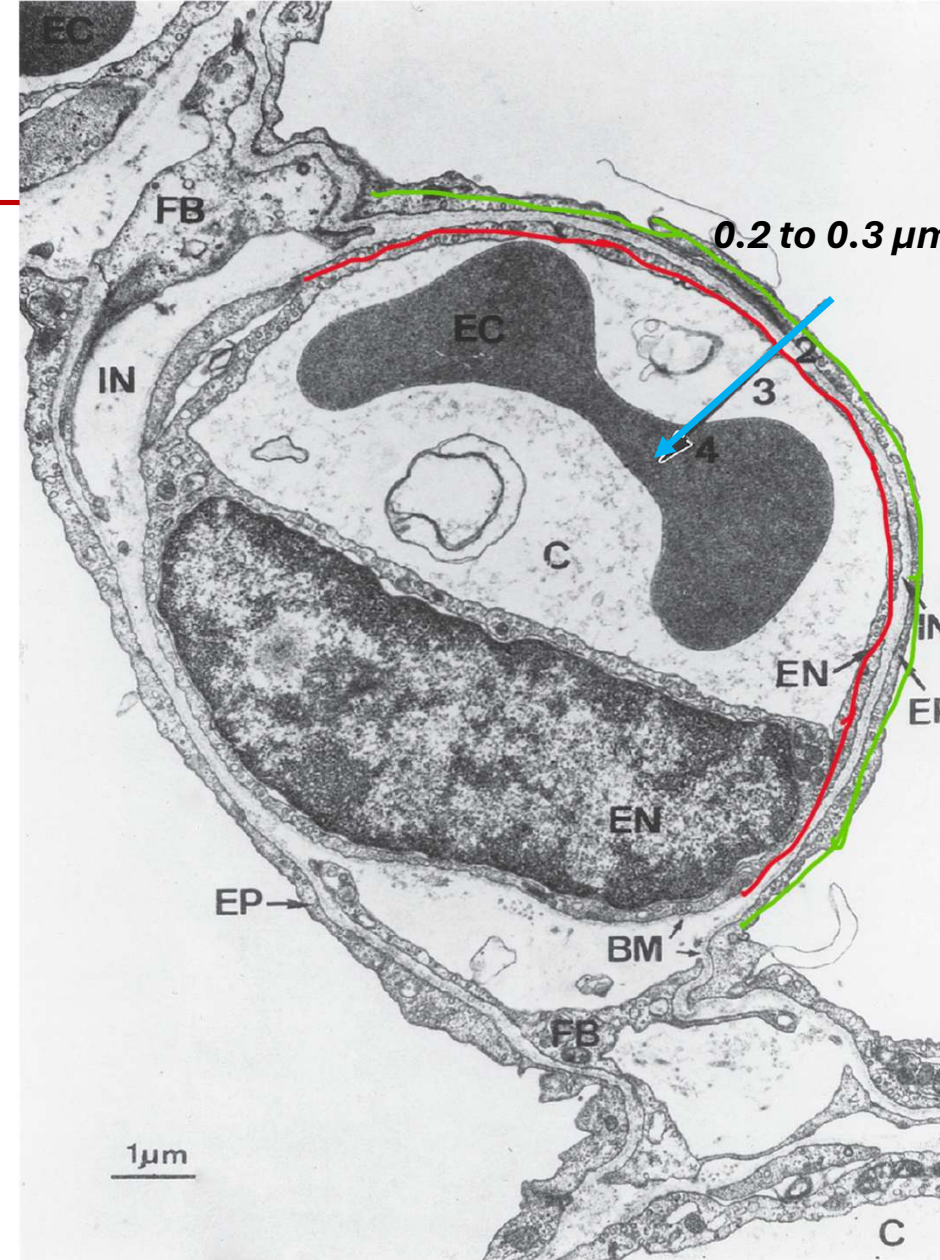
➤ **TYPE 2 (HYPERCAPNIC / VENTILATORY)**:  $pCO_2 > 50$  mmHg

➤ **TYPE 3 (PERI-OPERATIVE)**: Genellikle tip-1 SY'nin bir alt kümesidir ancak çok yaygın olduğu için ayrı olarak değerlendirilir

➤ **TYPE 4 (SHOCK)**: Şok iliŐkili

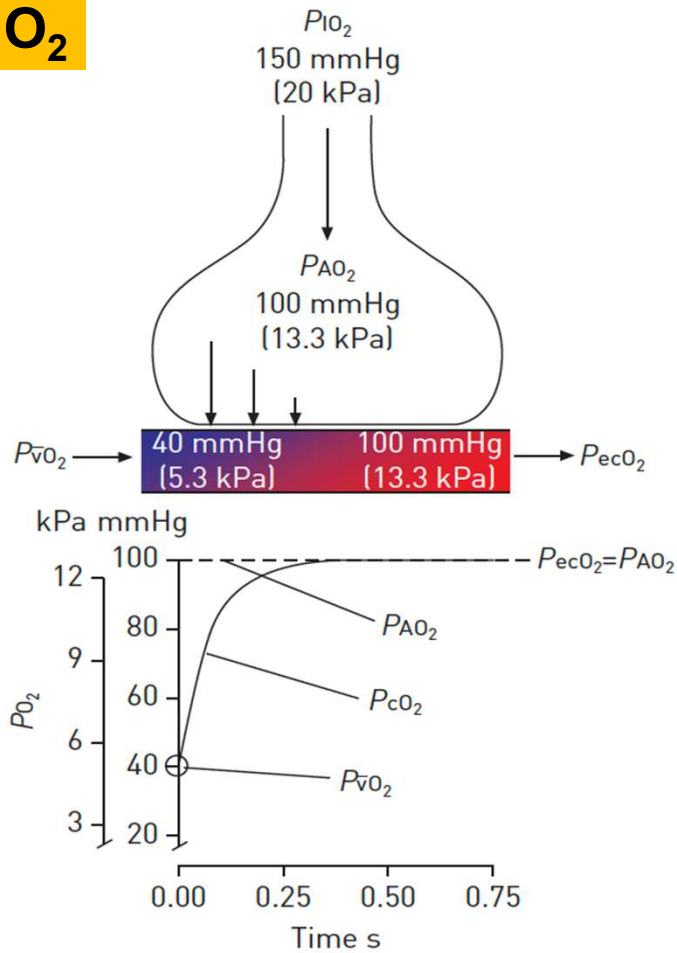
# GAZ DEĞİŞİMİ

«Atmosferik  $O_2$ 'nin alveoler gazdan kan dolaşımına geçtiği ve  $CO_2$ 'nin kan dolaşımından alveoler gaza aktarıldığı süreçtir »

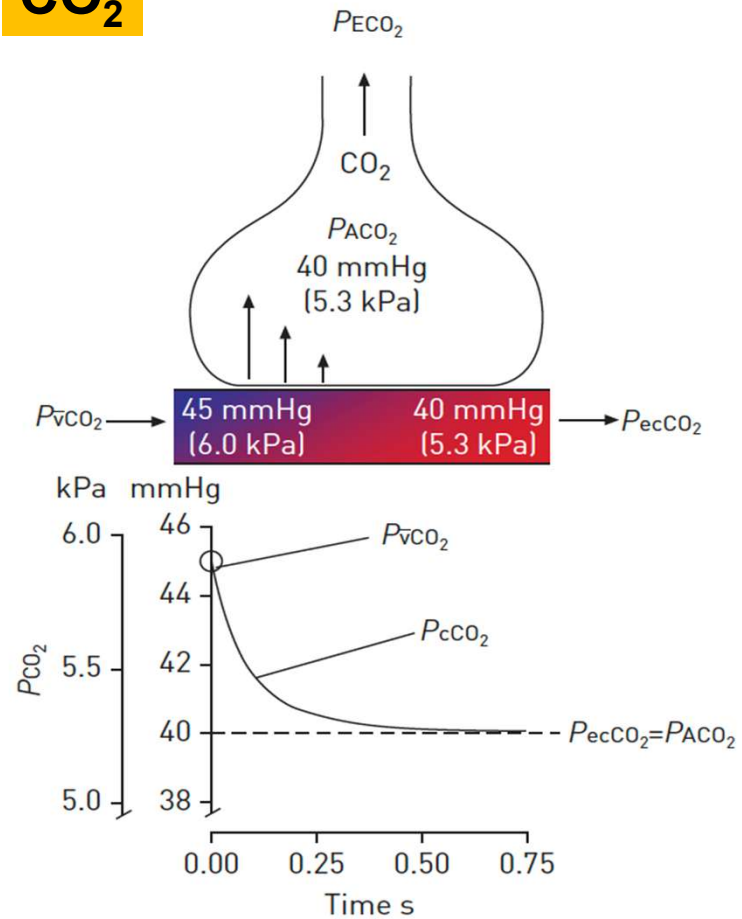


# Akciğerlerde Normal Gaz Değişimi

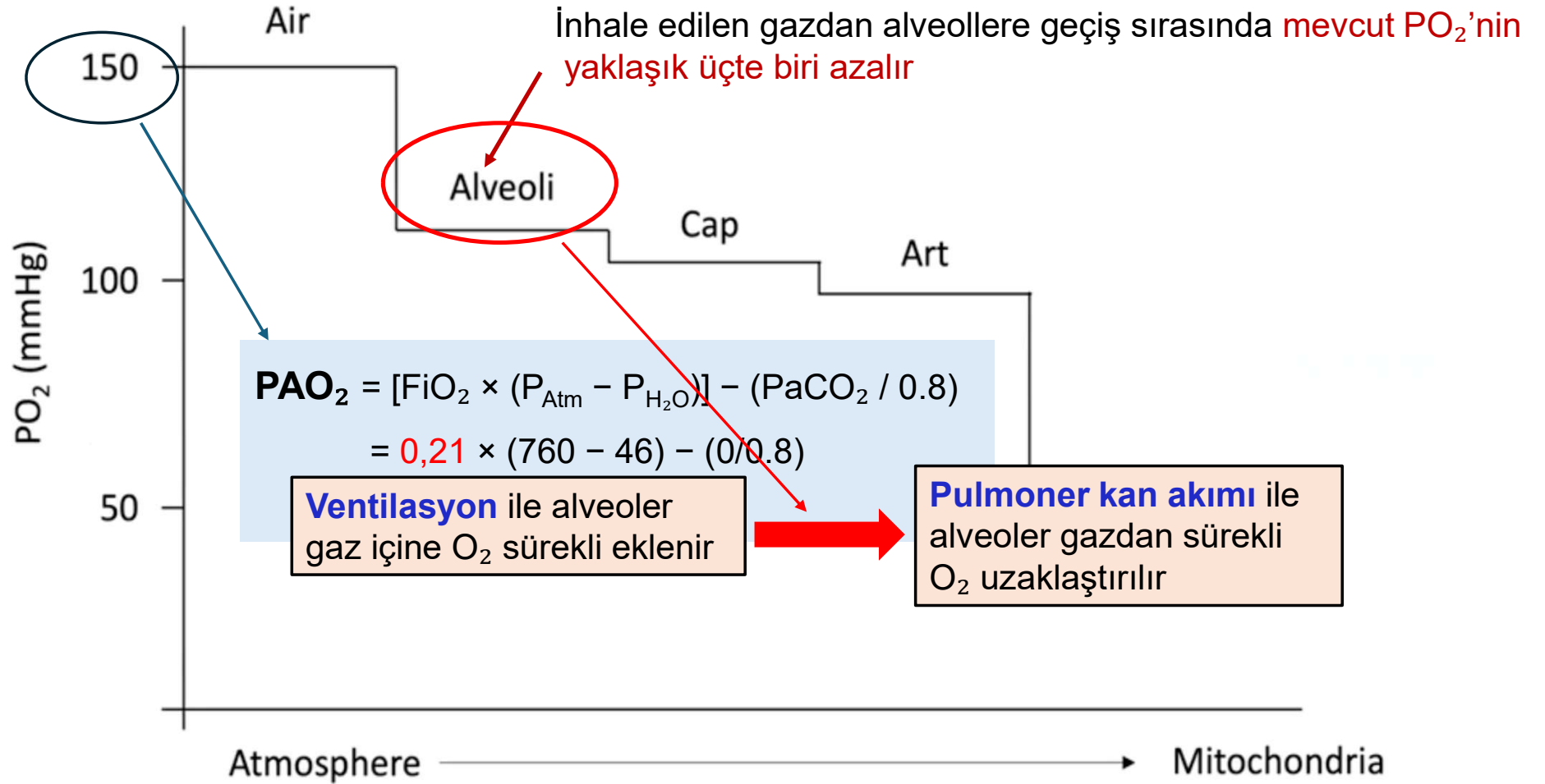
**O<sub>2</sub>**



**CO<sub>2</sub>**



# Sağlıklı Akciğerde Oksijen Kaskadı

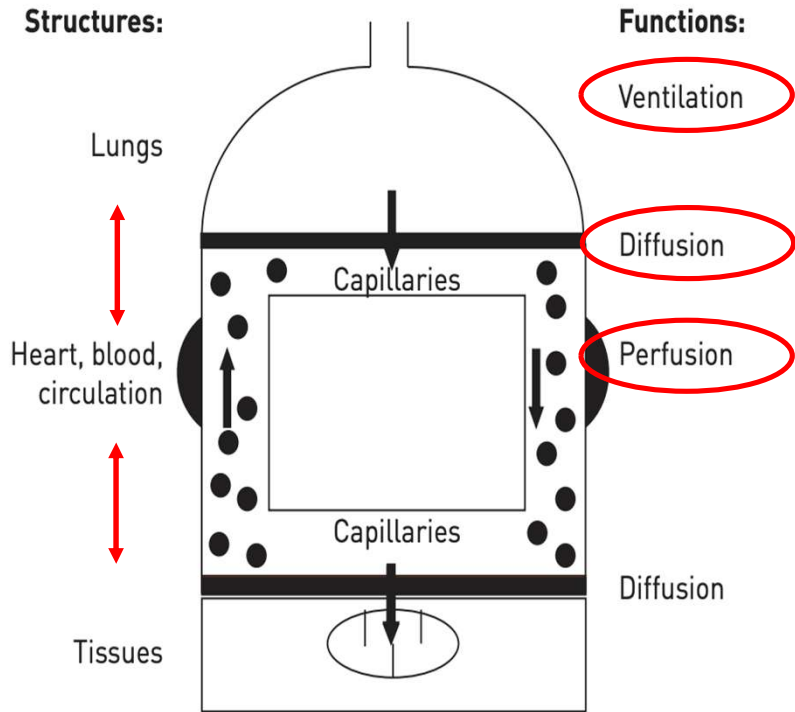


# Pulmoner gaz değişimi



# Devamlılık gösteren bir süreç

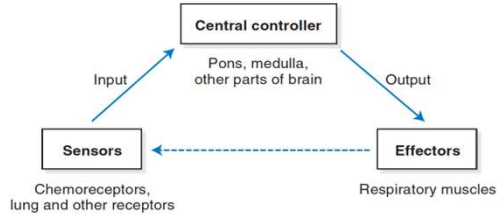
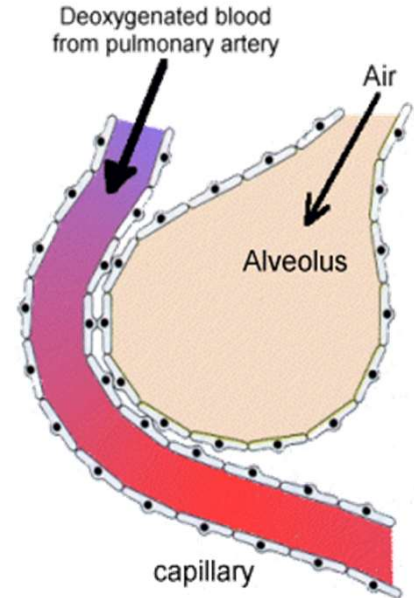
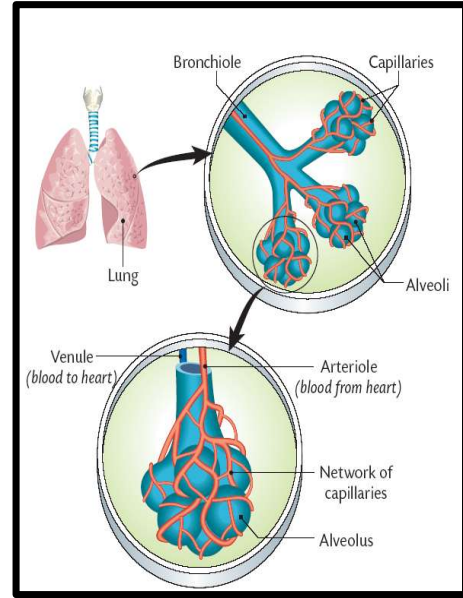
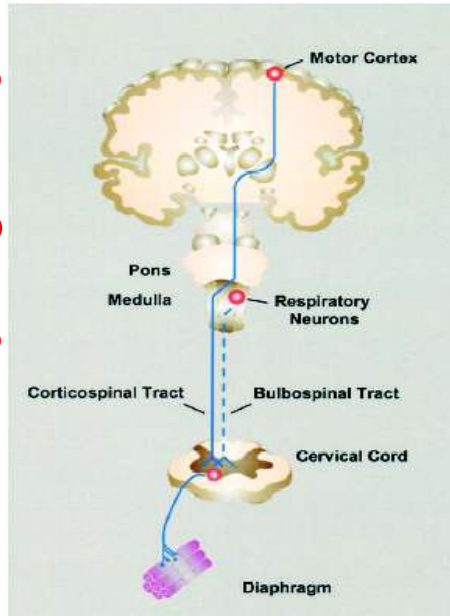
The O<sub>2</sub> transport pathway



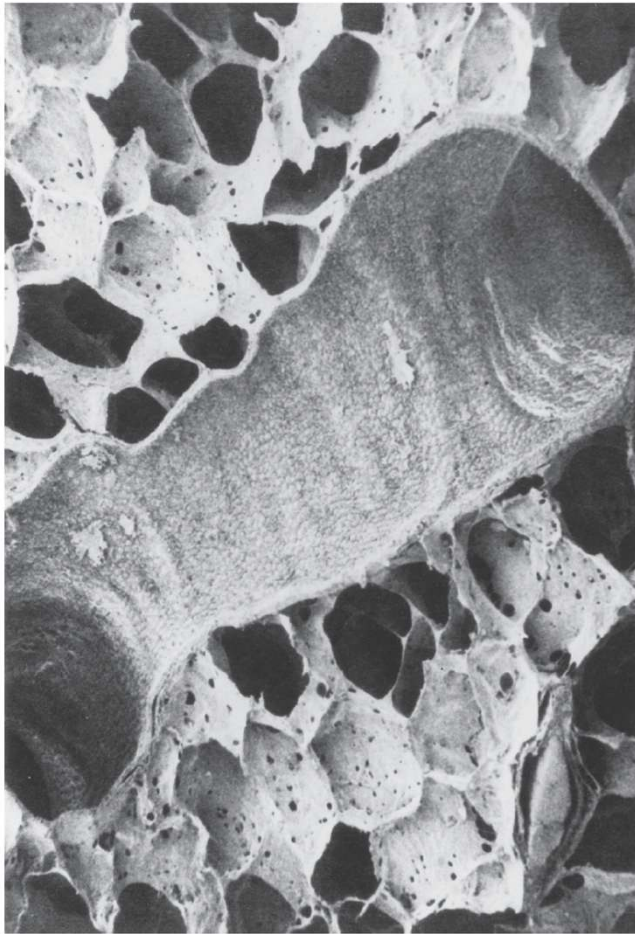
Ventilasyon

Perfüzyon

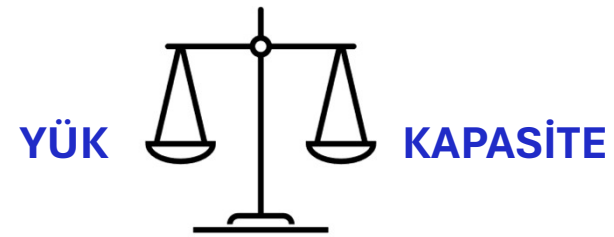
Difüzyon



Talep  $\cong$  Arz



**Figure 1.2.** Section of lung showing many alveoli and a small bronchiole. The pulmonary capillaries run in the walls of the alveoli (Figure 1.1). The holes in the alveolar walls are the pores of Kohn.



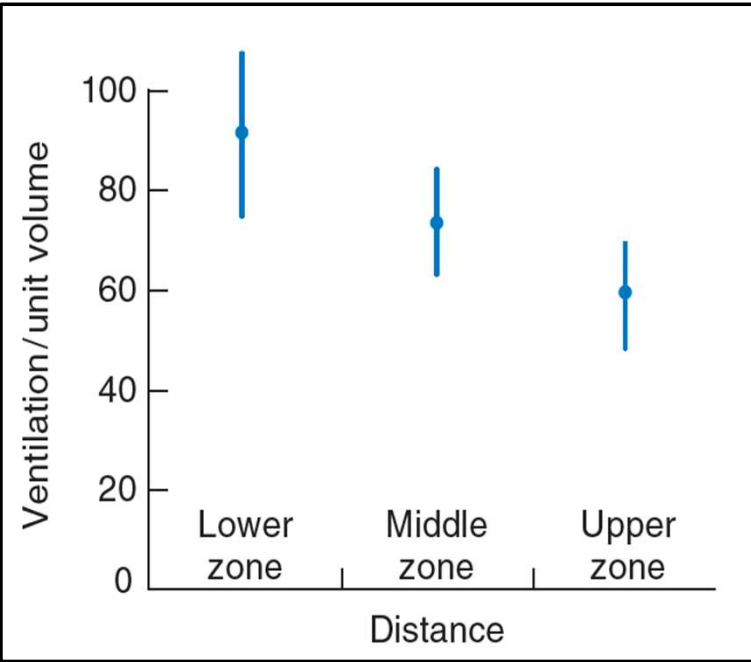
**Figure 1.7.** Microscopic section of dog lung showing capillaries in the alveolar walls. The blood-gas barrier is so thin that it cannot be identified here (compare Figure 1.1). This section was prepared from lung that was rapidly frozen while being perfused.

# V/P Dengesi Bozukluğu

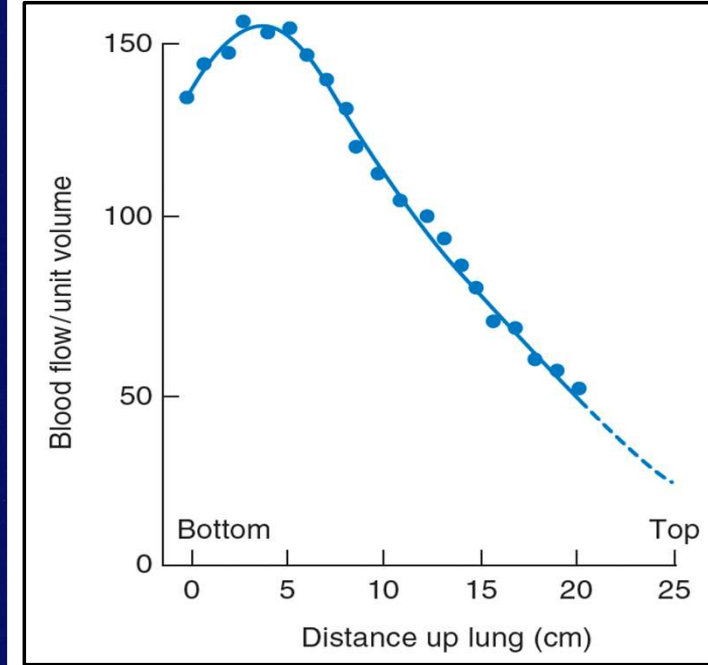
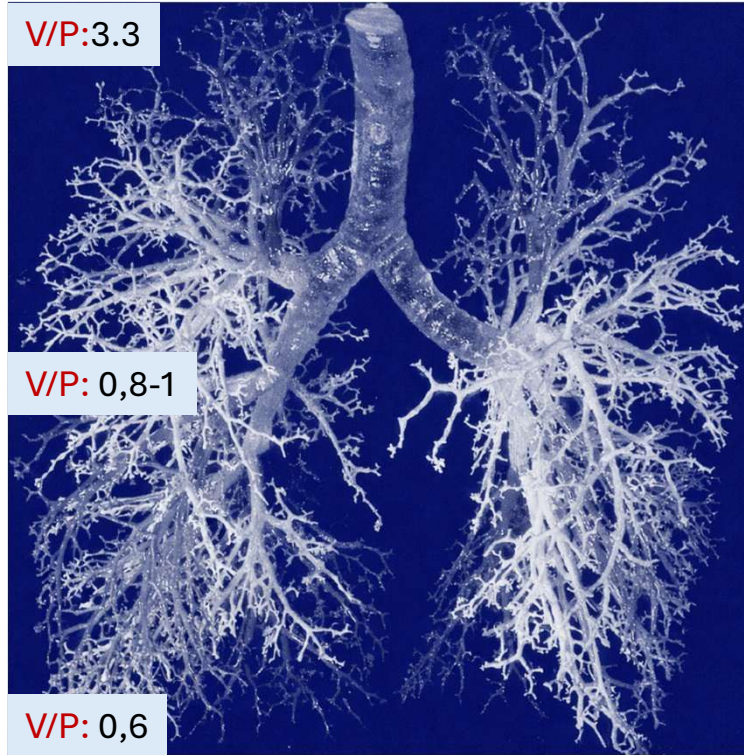
\* Akciğer hastalıklarında **gaz değişim bozukluğunun** en sık nedeni

V/P oranı, her bir akciğer ünitesinde **gaz değişimini** belirler, bölgesel farklılıklar

Alveoler ventilasyon hacmi **4-4,5 lt/dk**, CO hacmi **4,5-5 lt/dk**, **V/Q oranında 0,8-1,0**

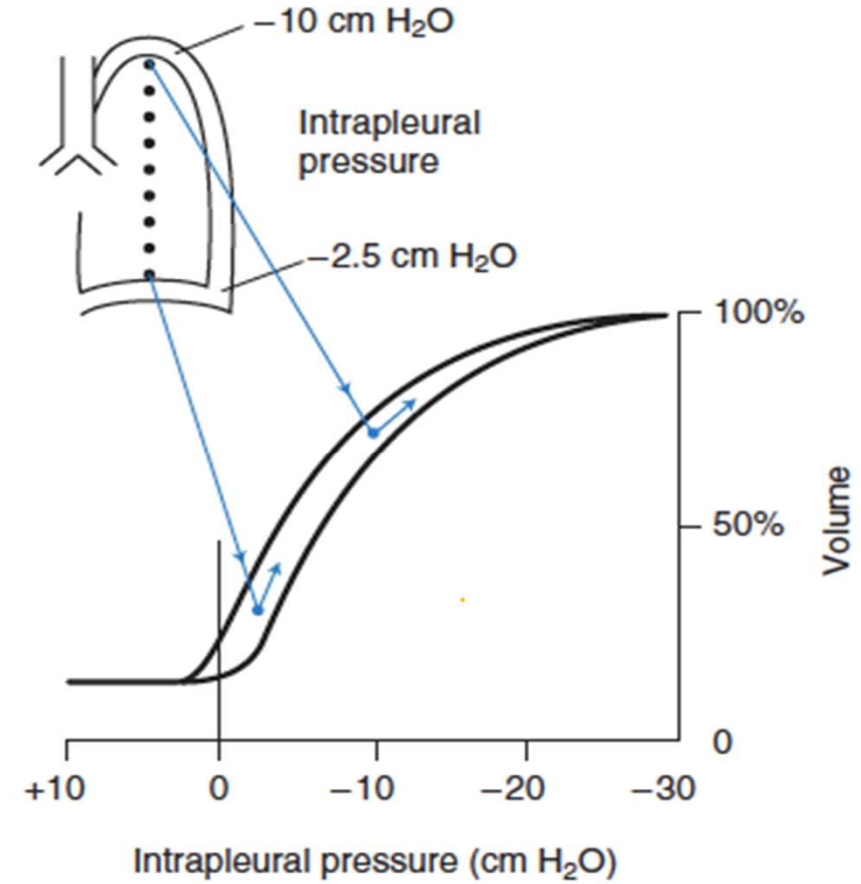
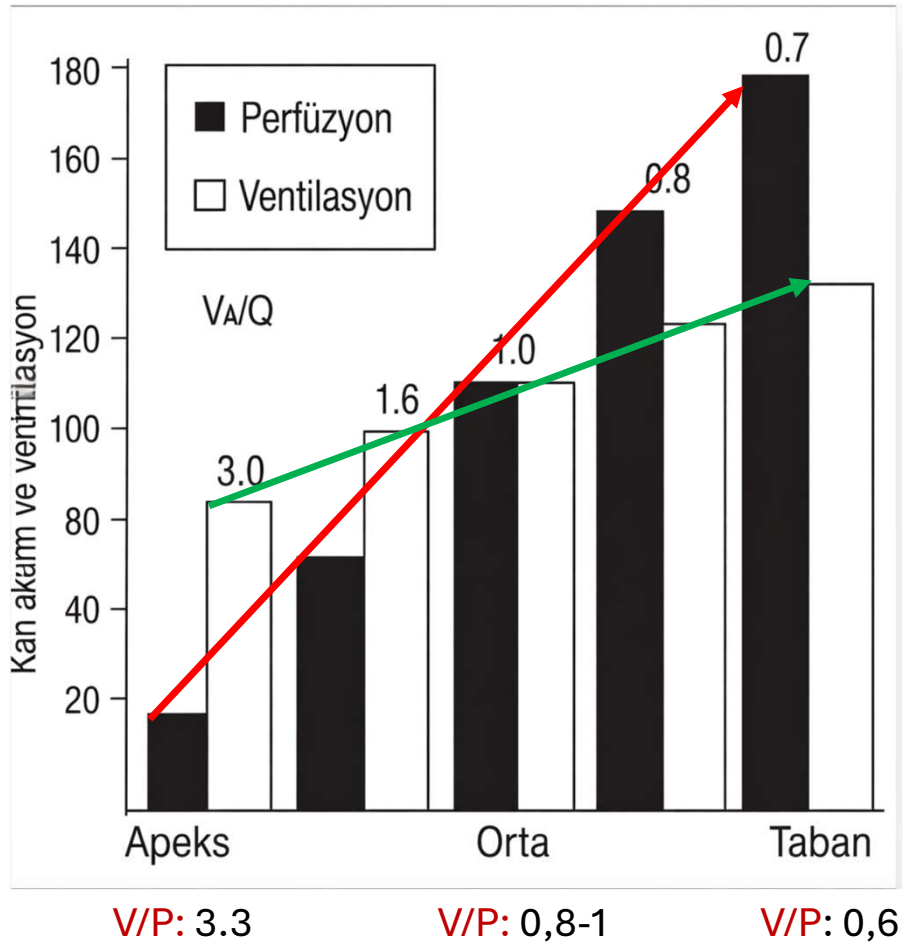


Ventilasyon



Perfüzyon

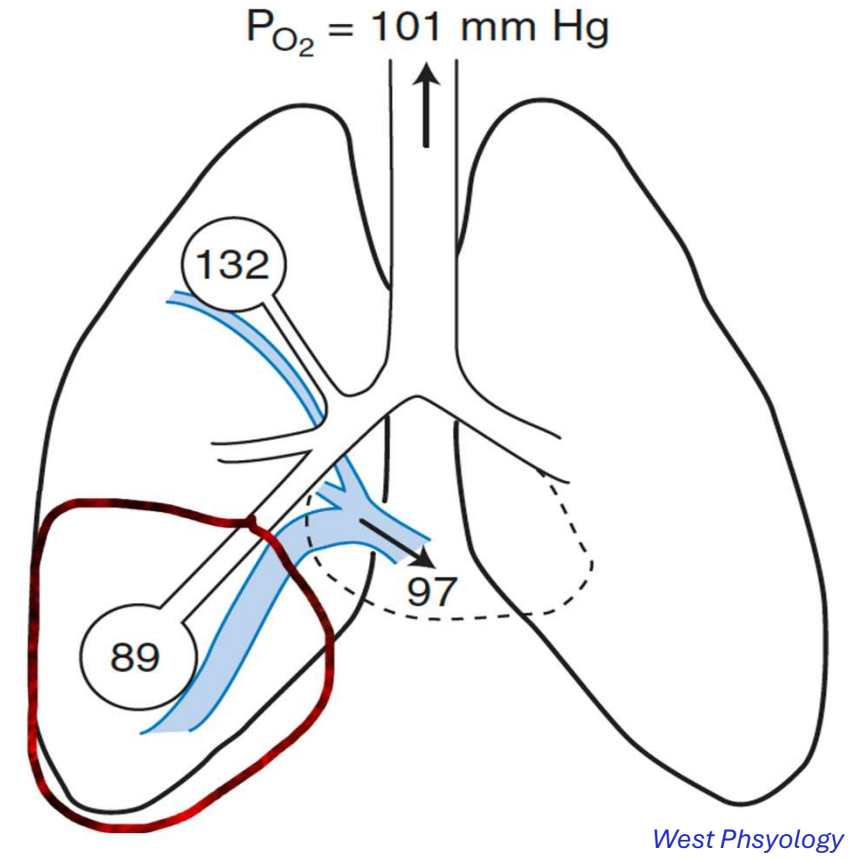
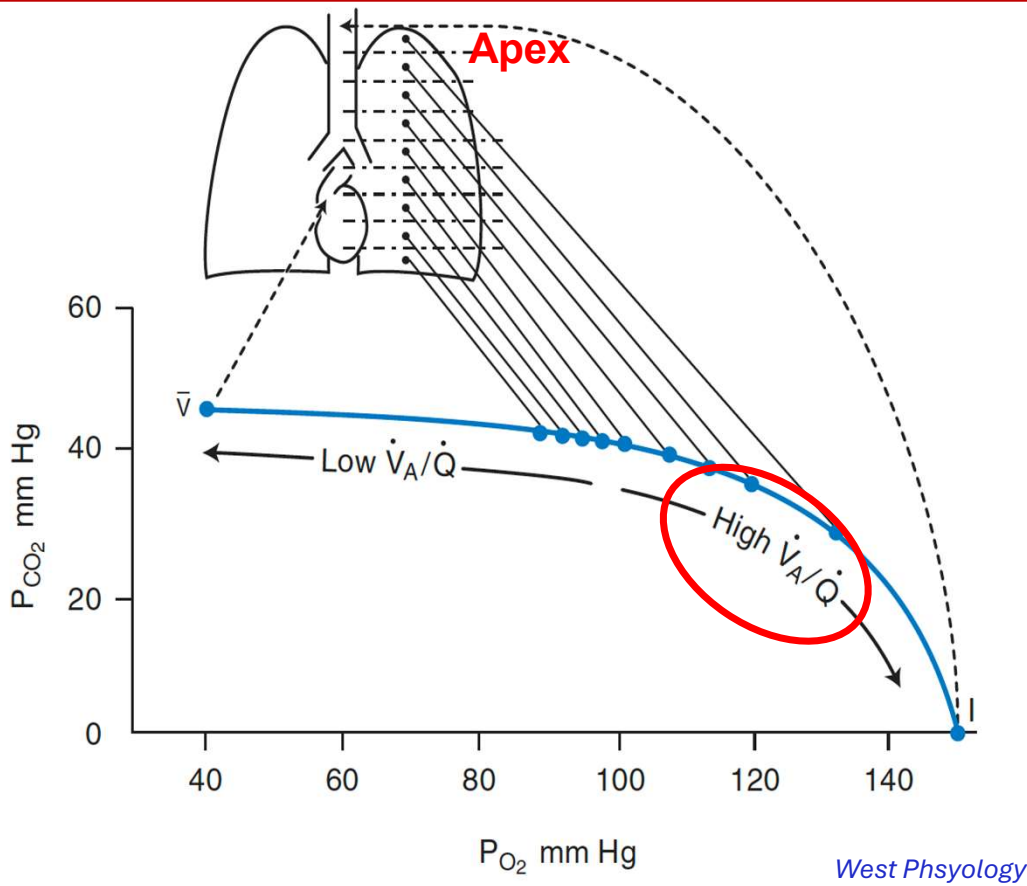
# Ventilasyonun Distribüsyonu



# V/P Dengesinin Gaz Değişimi Üzerine Etkisi

Apekte yüksek V/P oranı,  $PO_2 \uparrow$   $PCO_2 \downarrow$

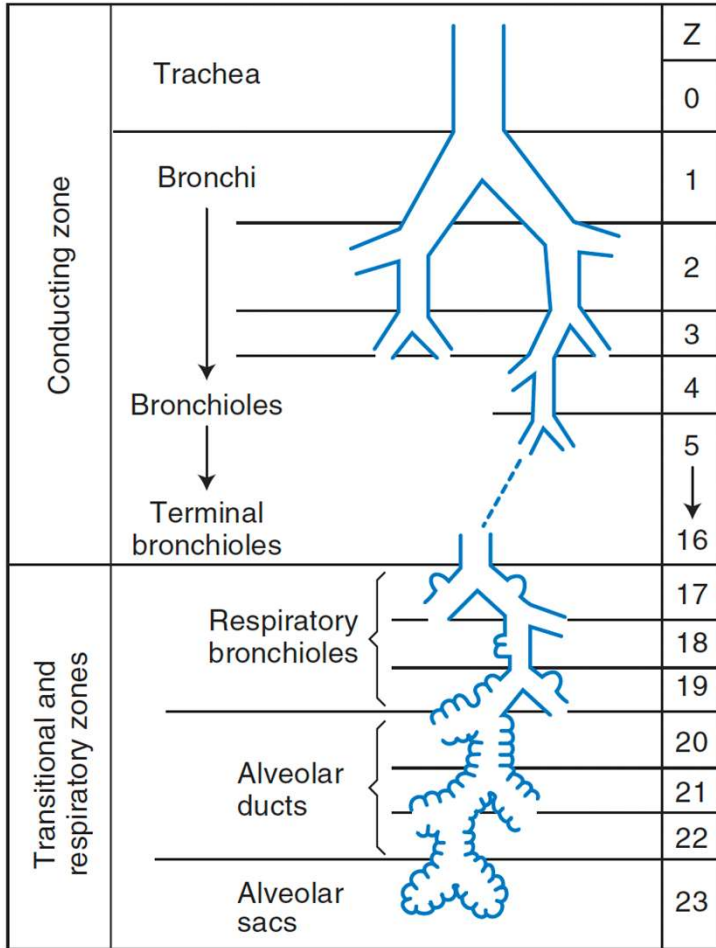
Alt zon pnömonisi daha hipoksemik hasta!



# ACUTE RESPIRATORY FAILURE

I breathe for my own necessity, for my survival.

Ayn Rand  
The Fountainhead  
1943



## 1. Solunum Pompası (İletici Zon)

### Hipoventilasyon, Hiperkarbi

KOAH  
SSS Hast.  
Spinal Kord Hast.  
NM Hast.  
Göğüs Kafesi Deformiteleri

## 2. Gaz Değişim Ünitesi (Parankim)

### Hipoksemi

Vasküler Hastalıklar  
ARDS  
Pulmoner Ödem  
Fibrozis  
KOAH

# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

➤ **Ventilasyon perfüzyon dengesizliği**

KOAH, pulmoner emboli,...

➤ **Şant**

ARDS, atelektazi, intrakardiak şant,...

➤ **Hipoventilasyon**

Sedatifler, Beyin sapı inme/tm, NM Hast., ileri KOAH..

➤ **Difüzyon bozukluğu**

İnterstisyel akciğer hastalıkları

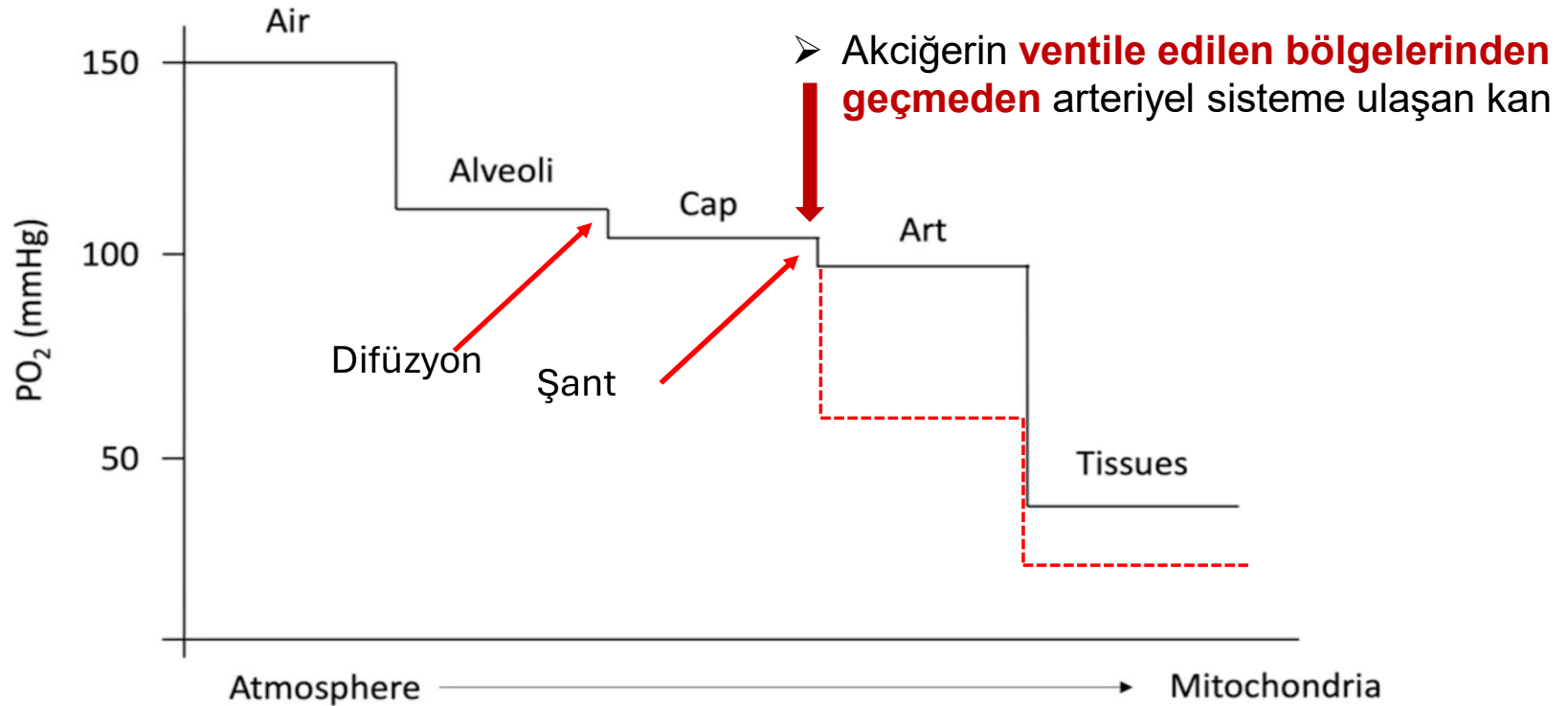
**Table 5.1** The Four Causes of Hypoxemia with Their Alveolar–Arterial Difference and the Response of the Arterial  $P_{O_2}$  When 100% Oxygen Is Administered

|                                  | A-a Difference | Response to $O_2$      |
|----------------------------------|----------------|------------------------|
| Hypoventilation                  | None           | Good                   |
| Diffusion limitation             | Increased      | Good                   |
| Shunt                            | Increased      | Small but often useful |
| $\dot{V}_A / \dot{Q}$ inequality | Increased      | Good                   |

# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

## Şant

\*Ventilasyonu olmayan ancak perfüze edilen akciğer ünitesidir ( $V/Q = 0$ )



Normal şant oranı  
(%3–5)



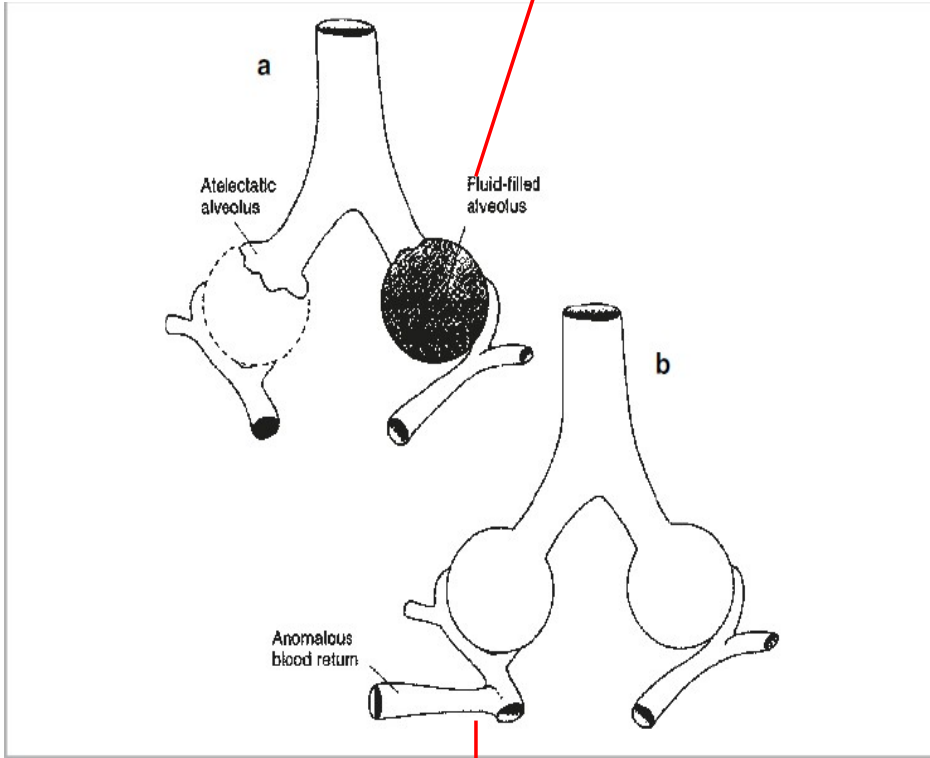
Bronşiyal venöz kanın bir kısmı pulmoner kapillerlerin distalinden drene olur  
Thebesian venler (miyokard) sol ventriküle drene olur

# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

## Şant

### Fizyolojik şant

Kollabe olmuş ve sıvı ile dolu alveoller, *intrapulmoner şant*



1. **Fizyolojik Şant** (Ac Konsolidasyonu/ ARDS, Ödem..)

2. **Anatomik Şant** (Konjenital kalp hastalıkları / AV pulmoner fistül, patent duktus arteriyozus, ventriküler septal defekt...)

Hipoksemi oksijen desteği ile düzelmez !

### Anatomik Şant

Karışık venöz kanın anormal geri dönüşü, *intrakardiyak şant*

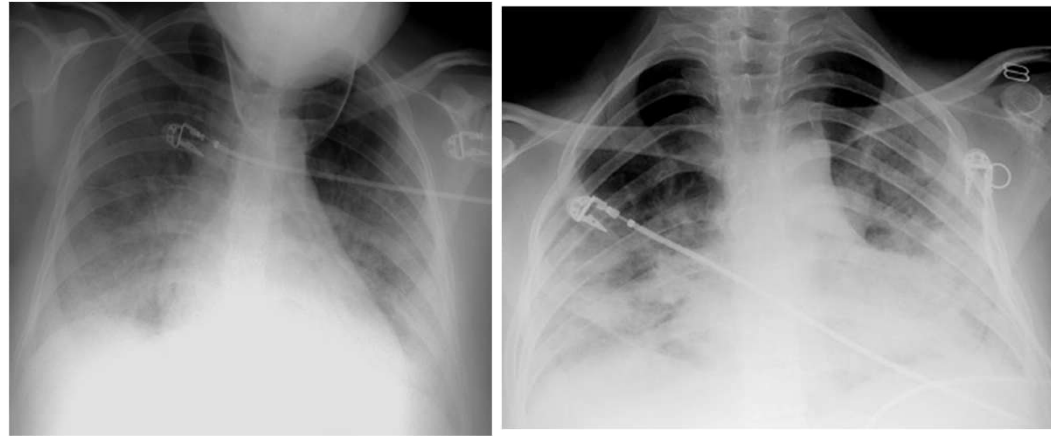
# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

## Şant

### Intrapulmoner Şant / COVID ARDS

26y, 34W, C/S  
Tocilizumab

27y,37W, C/S  
Tocilizumab



### Intrakardiyak Şant/ Platipne Ortodeoksi Sendromu



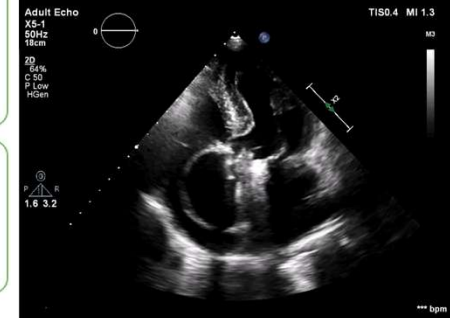
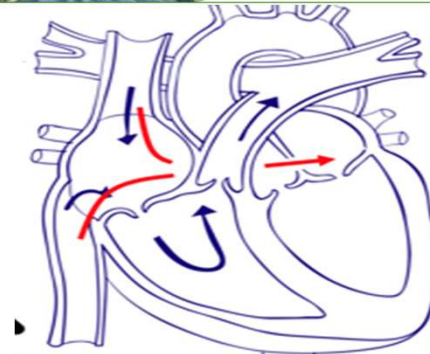
• 45 DERECE OTURUR  
POZİSYONDA, SpO2: 70



• SOL YANA YATAR  
POZİSYONDA, SpO2: 78



• SUPİN POZİSYONDA,  
SpO2: 89



# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

## Difüzyon Kısıtlanması

\* Gazın alveolden kapillere geçişi bozulmuştur

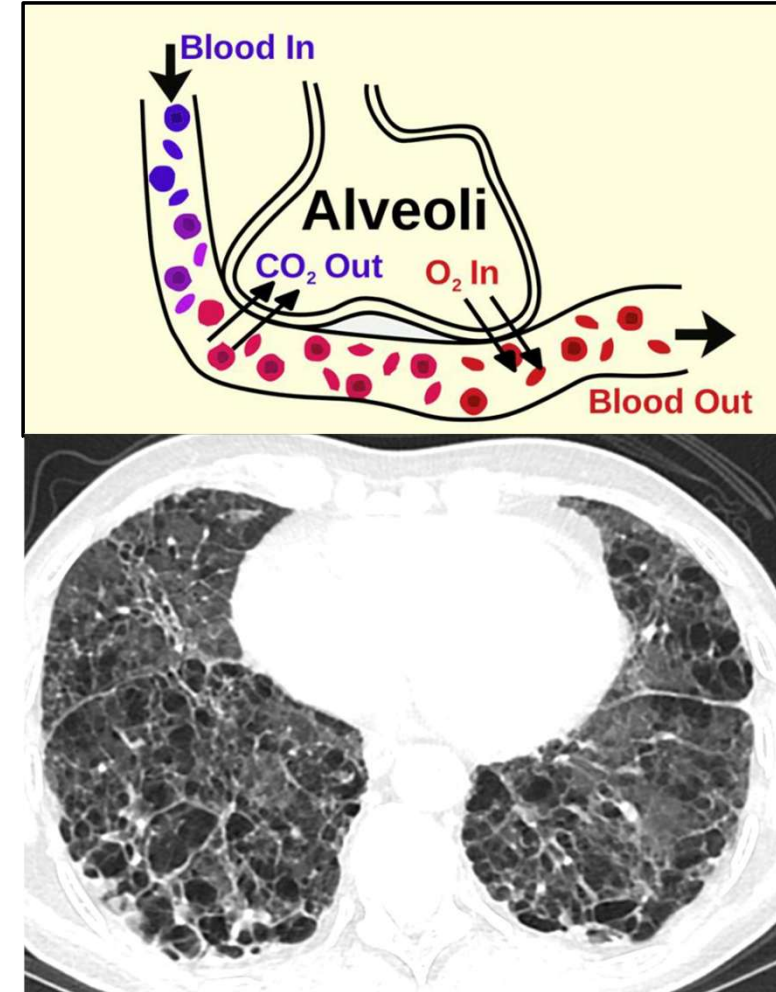
### Etiyoloji:

- Alveoler inflamasyon
- İnterstisyel inflamasyon
- Fibrozis
- Destrüksiyon: interstisyel akciğer hastalığı (ILD), amfizem

➤ **CO<sub>2</sub>'nin dokudaki difüzyonu**, O<sub>2</sub>'ye göre yaklaşık **20 kat daha hızlı**  
(Çok daha yüksek çözünürlüğü nedeniyle)

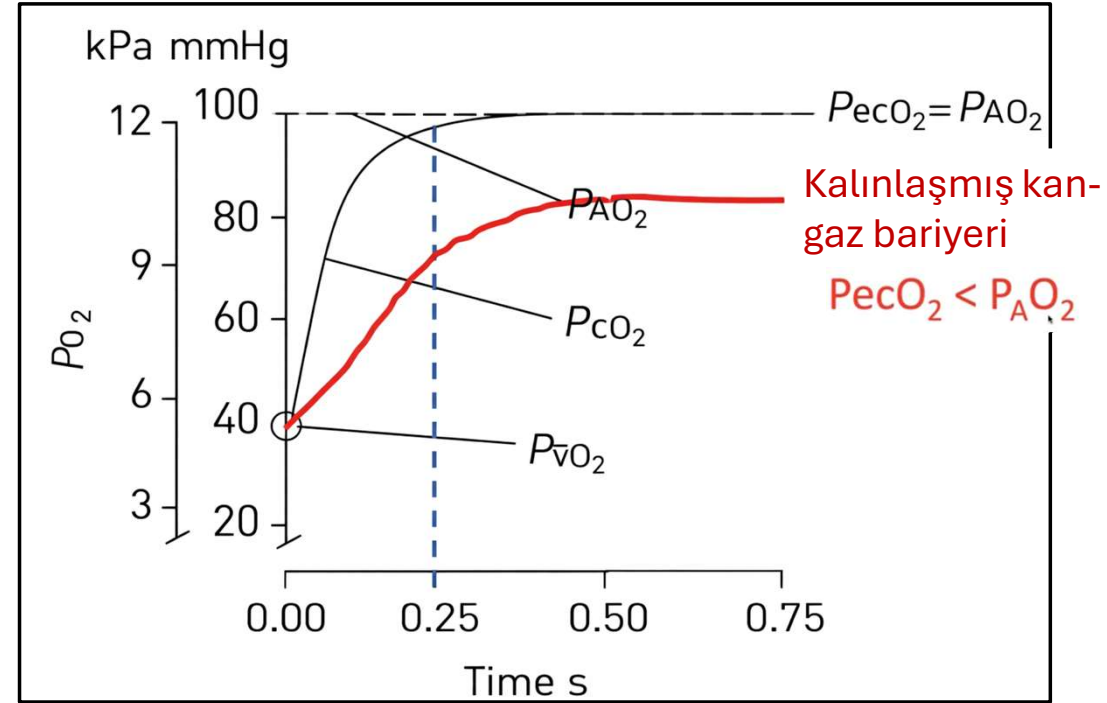
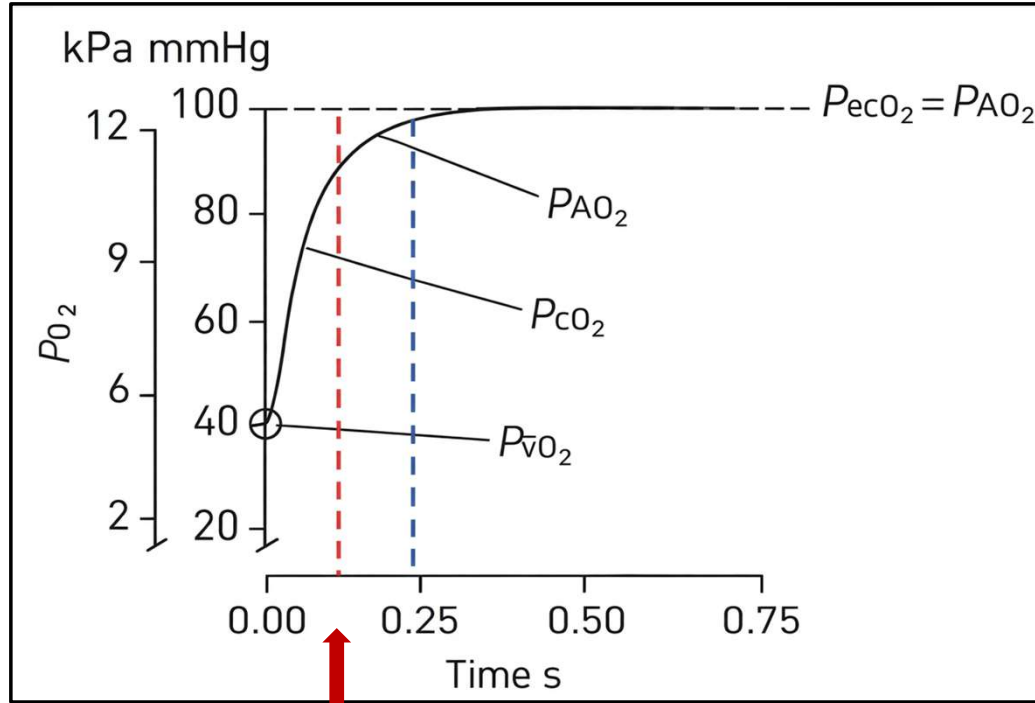
➤ Genellikle **V/Q uyumsuzluğu** ile birlikte bulunur

➤ Egzersiz sırasında (yüksek kardiyak debi) daha belirgin hale gelir



# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

## Difüzyon Kısıtlanması



Egzersiz  
Taşikardi  
Yüksek CO

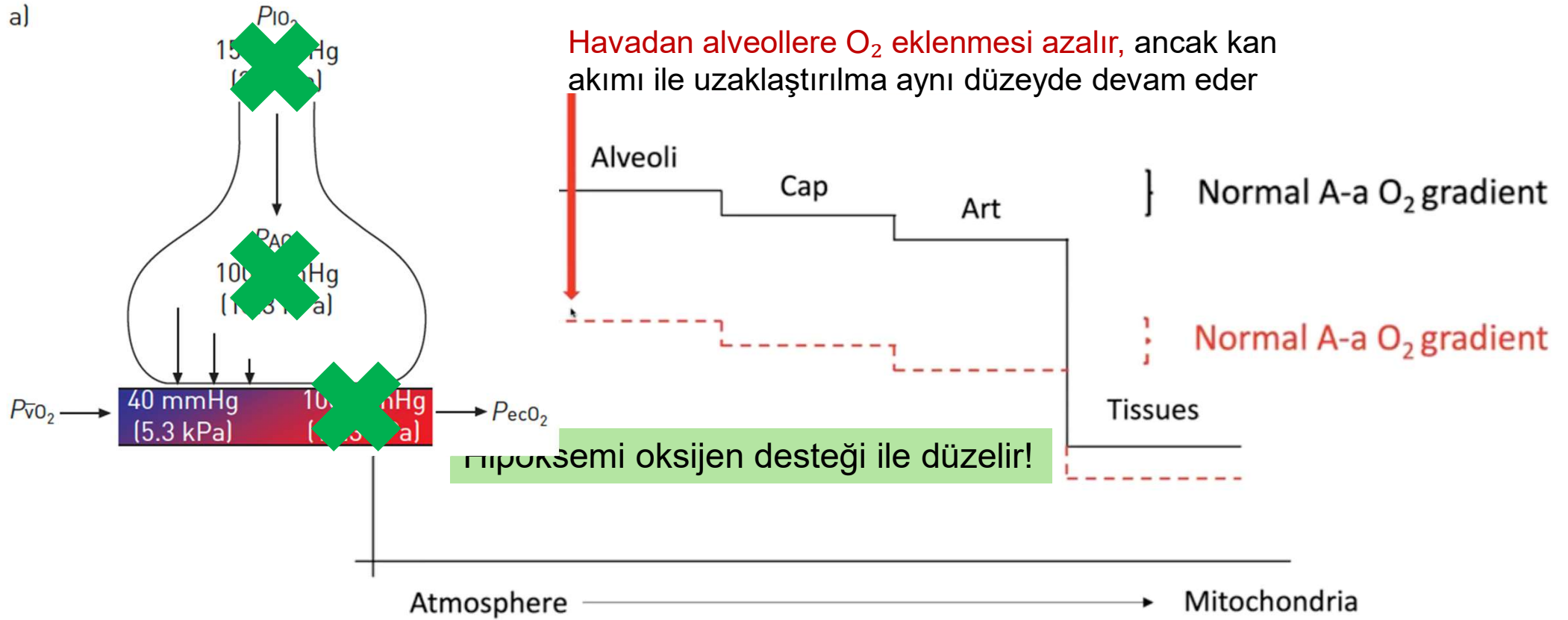
### Difüzyon kapasitesinin ölçümü

CO kullanılır, çünkü bu gazın alımı difüzyonla sınırlıdır  
Normal difüzyon kapasitesi yaklaşık  $25 \text{ ml} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$

# Hipoksemik Solunum Yetmezliği Mekanizmaları

## Hipoventilasyon: Oksijen Kaskadı

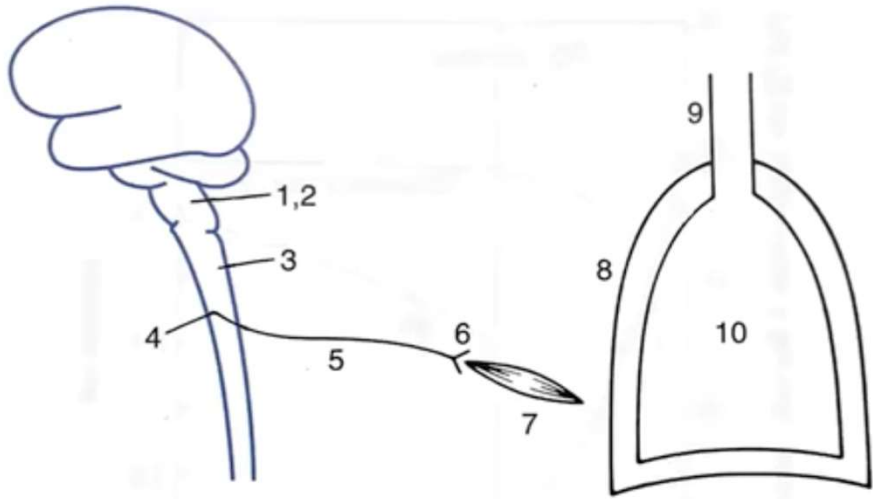
- \* **Alveoler ventilasyonun azalması**, metabolik CO<sub>2</sub> üretimini karşılayacak düzeyin altına düşmesi *Hiperkarbi*
- \* **Alveoler ventilasyonun azalması**, alveoler O<sub>2</sub> basıncında düşüş ile gelişen, A-a gradienti normal seyreden *Hipoksemi*



# Hiperkapnik Solunum Yetmezliği Nedenleri

## Hipoventilasyon

**Total ventilasyon volümü (VE)** = Akciğerlerin dakikada pompaladığı hava  
**VE= Tidal Volum (VT) x Solunum Sayısı**



1. Solunum merkezinin farmakolojik depresyonu
2. Beyin inflamasyonu (ensefalit, serebral kanama...)
3. Servikal spinal kord yaralanması
4. Ön boynuz hücrelerinde hasar (poliomiyelit)
5. Solunum kaslarının sinirleri (Guillain-Barré sendromu...)
6. Nöromüsküler kavşakta değişiklikler (Miyastenia Gravis, ilaçlar)
7. Solunum kası hastalıkları (Duchenne, diyafragmatik parezi...)
8. Göğüs kafesinde değişiklikler (travma...)
9. Üst solunum yolu obstrüksiyonu

# Hiperkapnik Solunum Yetmezliği Nedenleri

## Hipoventilasyon

- PaCO<sub>2</sub> değeri **ventilasyonun** en iyi göstergesi
- Solunum pompasının herhangi bir noktasında oluşan patoloji nedeniyle;

**1. Total ventilasyonda azalma**

**2. Ölü boşluk solunumunda artma**

**Alveoler ventilasyon denklemini (VA)**

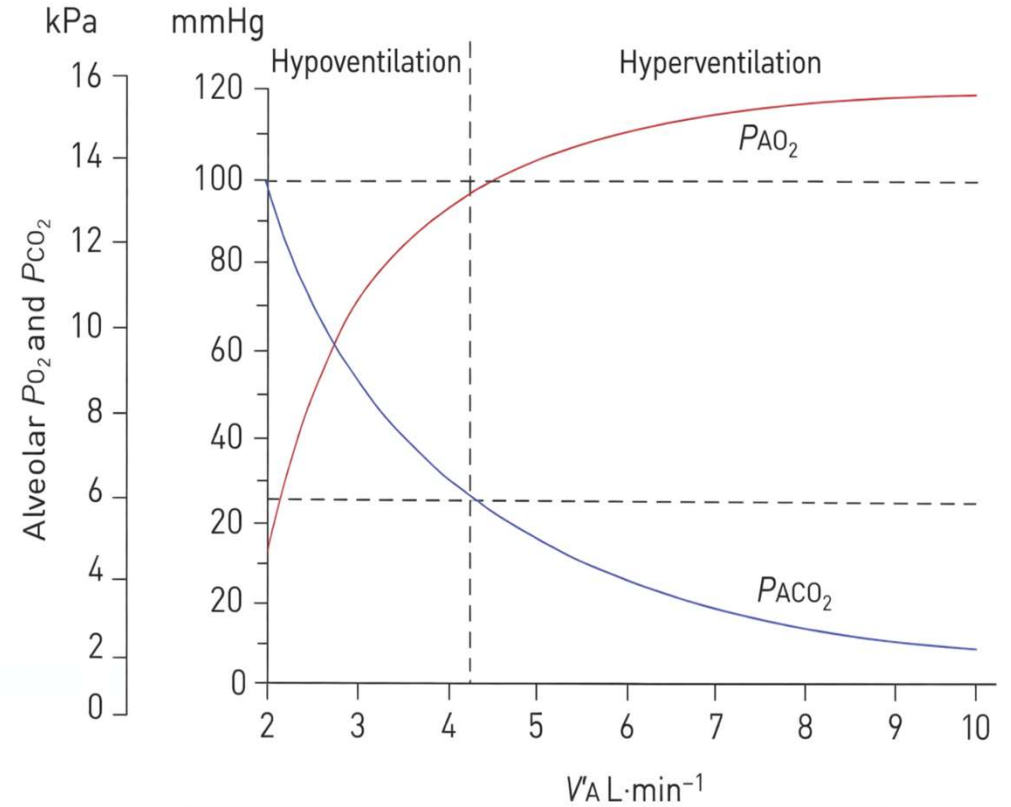
$$VA = (VCO_2 / PaCO_2) \times K$$

4.3 L/dk

200 mL/dk

40 mmHg

0.8

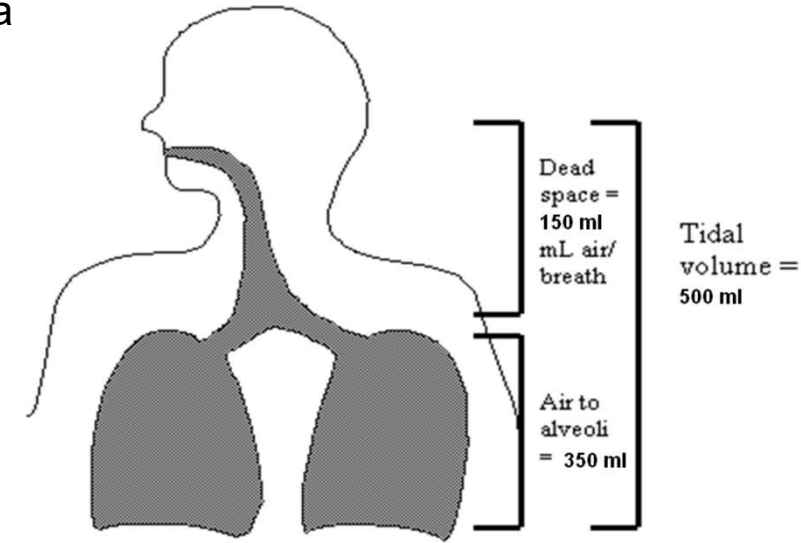


VA ile PaCO<sub>2</sub> arasında ters ilişki

# Hiperkapnik Solunum Yetmezliği Nedenleri

## Hipoventilasyon

- **Total ventilasyon volümü (VE)** = Akciğerlerin dakikada pompaladığı hava  
**VE = Tidal Volum (VT) x Solunum Sayısı**
- **Alveolar Ventilasyon Volümü (VA)** = Alveollere kadar ulaşıp gaz değişimi sağlayan hava miktarı
- **Ölü Boşluk Volümü (VD)** = Alveollere kadar ulaşamayan, gaz değişimine uğramayan (büyük hava yolları, bronşlar gibi) hava miktarı



Hiperkapninin en önemli sebebi **alveolar hipoventilasyondur** (**VE** ↓, **VD** ↑)

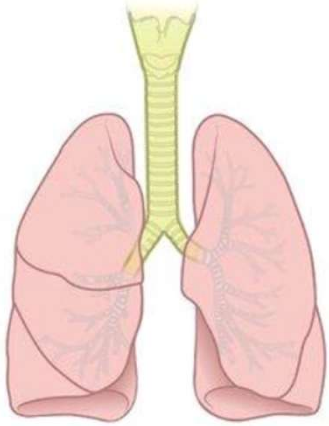
$$VA = VE - VD$$

# Hiperkapnik Solunum Yetmezliği Nedenleri

## Ölü Boşluk Ventilasyonu

### Anatomik ölü boşluk

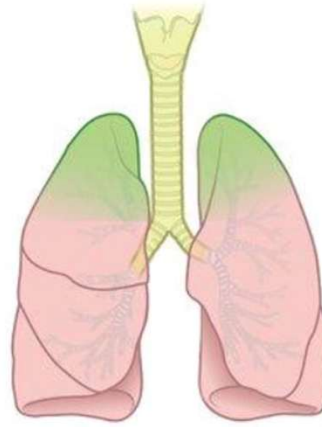
İletici hava yollarının hacmi (~ 150 mL)



+

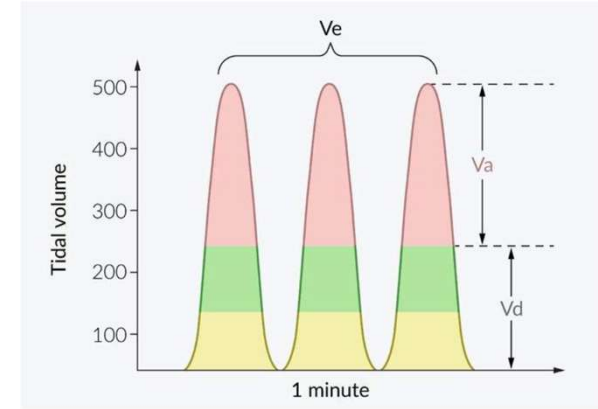
### Alveoler ölü boşluk

Ventilasyon var, perfüzyonu olmayan alveoller



=

**Fizyolojik ölü boşluk (VD)**  
CO<sub>2</sub> eliminasyonuna katılmayan  
total gaz hacmi (V/P düşük)

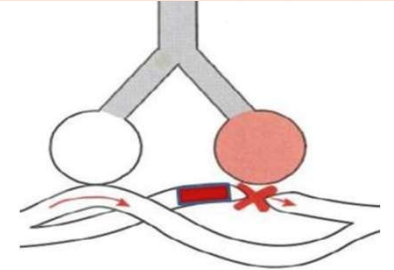


### Ölü Boşluk Oranı = Boşa Giden Ventilasyon (Wasted Ventilation)

➤ Ventilasyon var, ancak **perfüzyon yok** ( $V/Q \rightarrow \infty$ )

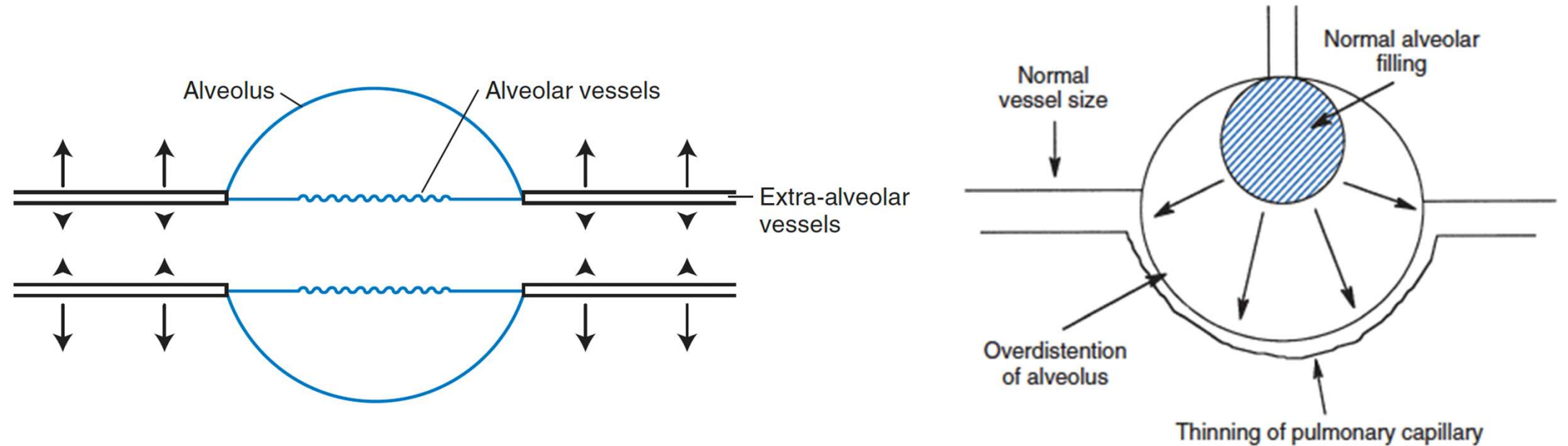
$$\frac{VD}{VT} = \frac{PaCO_2 - PeCO_2}{PaCO_2} \quad (\text{Normal} < \%33)$$

### Örn: Pulmoner Emboli



# Hiperkapnik Solunum Yetmezliği Nedenleri

## Ölü Boşluk - PEEP !!

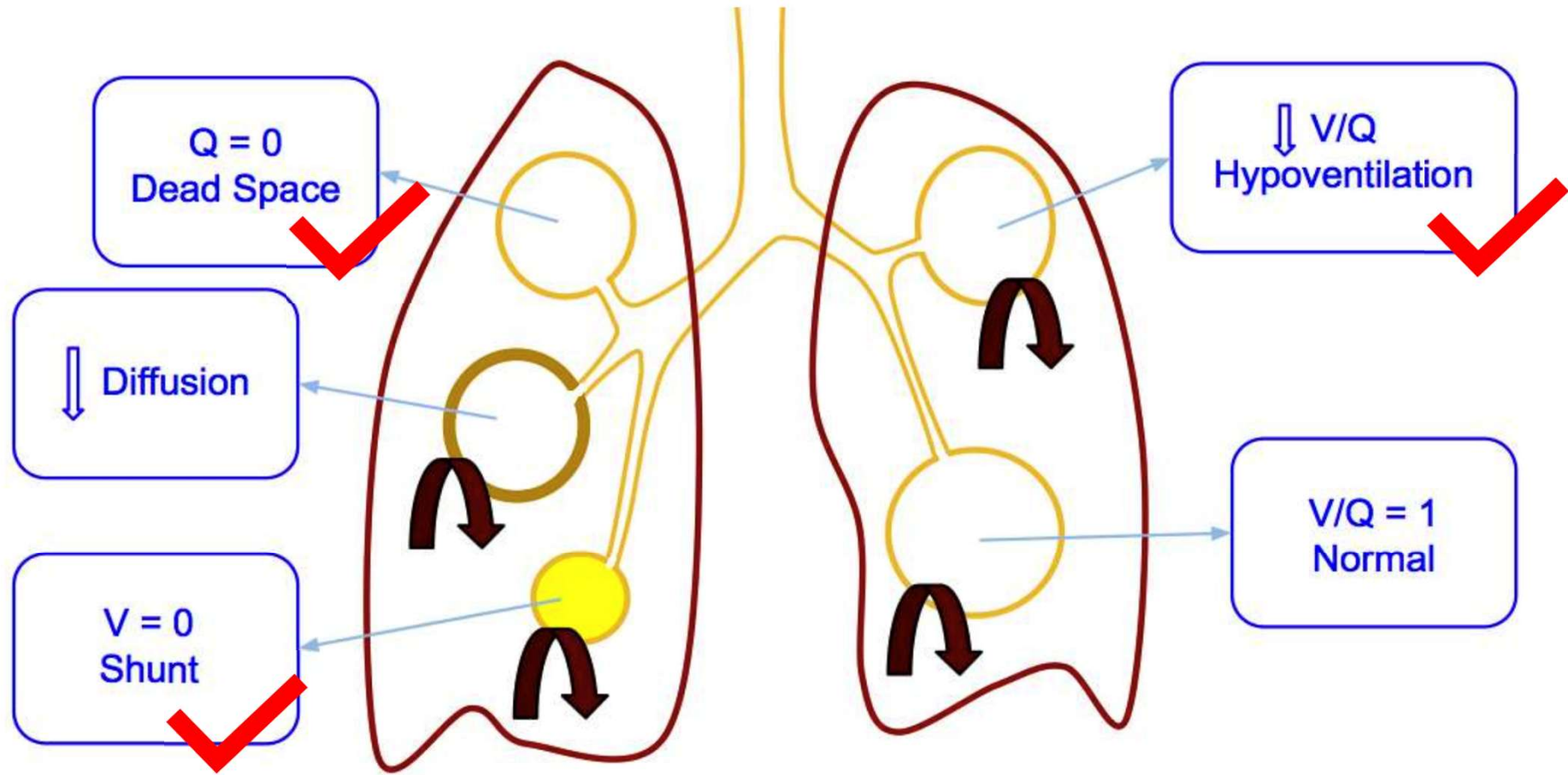


### Alveolar and Extra-alveolar Vessels

- Alveolar vessels are exposed to alveolar pressure and are compressed if this increases.
- Extra-alveolar vessels are exposed to a pressure less than alveolar and are pulled open by the radial traction of the surrounding parenchyma.

# Gaz Değişimi Bozuklukları

## Özet



# Oksijenasyonun Değerlendirilmesi

## 1. Arteriyel ve periferik oksijen saturasyonu (SaO<sub>2</sub> ve SpO<sub>2</sub>)

Doymuş hemoglobinin yüzdesi

- **SaO<sub>2</sub>** = Arteriyel kanda direkt ölçüm
- **SpO<sub>2</sub>** = Kapiller yatakta noninvaziv tahmin
  - **SaO<sub>2</sub> < %90 olduğunda doğruluk azalır**

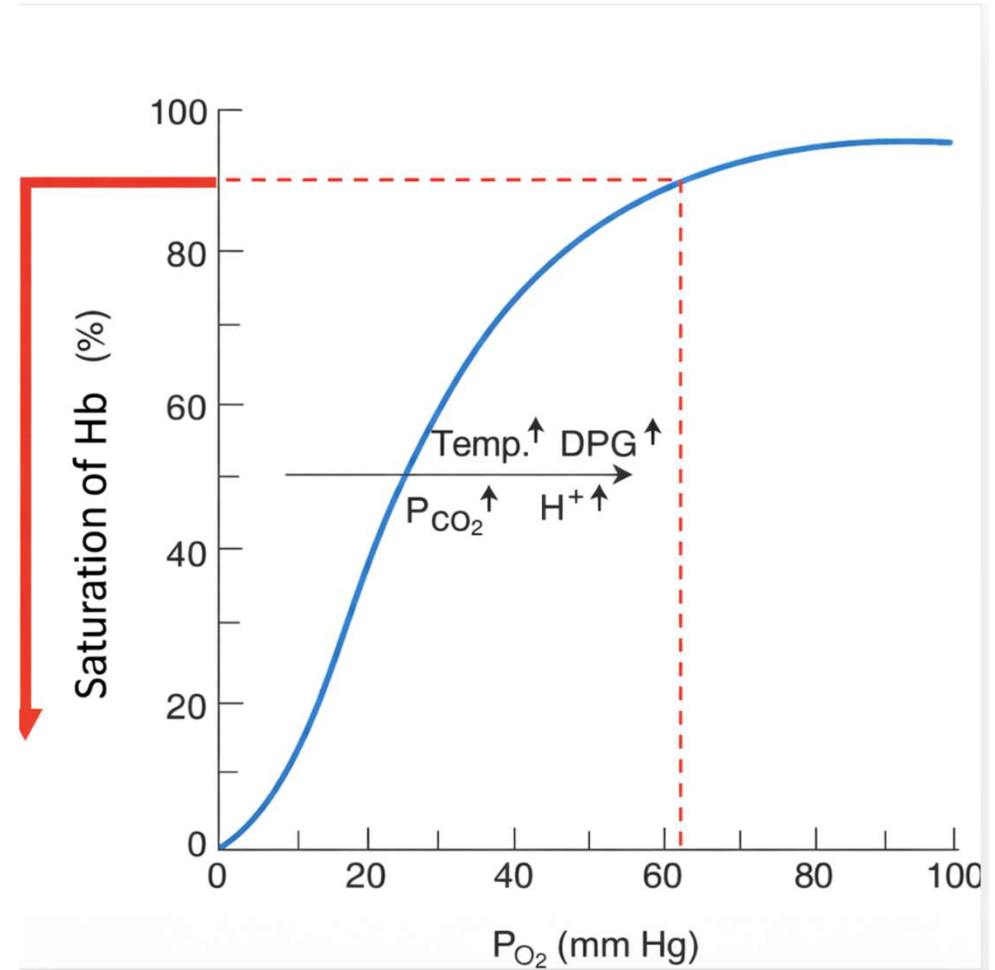
## 2. Arteriyel oksijen basıncı (PaO<sub>2</sub>)

**Yetersiz dalga formu** : Hipoperfüzyon, hipotermi, cilt pigmentasyonu, malpozisyon, artefaktlar

➤ **SpO<sub>2</sub>'nin yanlış düşük, normal veya yüksek olabileceğinden şüphelenildiğinde ölçülmeli**

**Yanlış düşük ölçüm**: Yetersiz dalga formu, metHb,

**Hipoksiemi** = **PaO<sub>2</sub> < 80 mmHg**



# Oksijenasyonun Değerlendirilmesi

## 3. Alveolar–arterial oksijen gradienti (A–a gradient) (PAO<sub>2</sub>-PaO<sub>2</sub>)

- O<sub>2</sub> **alveoler** konsantrasyonu (A) ile **arteriyel** (a) kanda çözünmüş oksijen konsantrasyonu arasındaki fark
- **Hipoventilasyonda normal**, hipokseminin diğer nedenlerinde artmıştır

PAO<sub>2</sub>-PaO<sub>2</sub>



$$PAO_2 = [FiO_2 \times (P_{Atm} - P_{H_2O})] - (PaCO_2 / 0.8)$$

(Alveoler gaz denklemi)

$$PAO_2 = 0,21 \times (760 - 46) - (PaCO_2 / 0,8)$$

$$PAO_2 - PaO_2 = 150 - PaCO_2 / 0.8 - PaO_2$$

**NORMAL:** Oda havası <5-10 mmHg, %100 O<sub>2</sub> alırken < 350 olmalı = Gaz değişimi normal

**YÜKSEK:** Gaz değişimi bozulmuş

# Hipoksemik Bir Hastada CO<sub>2</sub>

**PaCO<sub>2</sub> ↑**

**EVET**

**PAO<sub>2</sub>-PaO<sub>2</sub>**

**NORMAL**

**HİPOVENTİLASYON**

-SSS Hast  
-NM Hast.

**YÜKSEK**

**V/P DENGESİZLİĞİ**

Obst. Hast.  
Rest Hast.  
PTE

**EVET**

**HAYIR**

**PAO<sub>2</sub>-PaO<sub>2</sub>**

**YÜKSEK**

**Tablo O<sub>2</sub> ile düzeliyor mu?**

**HAYIR**

**ŞANT**

İntraalveoler doluş-  
Pnömoni, ARDS, P. Ödem

**NORMAL**

İns edilen havada  
oksijen az  
Hem PAO<sub>2</sub> hem  
PaO<sub>2</sub> azalır  
Yüksek Rakım

# Oksijenasyonun Değerlendirilmesi

## 4. PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> oranı

- ARDS kriterleri / şiddet değerlendirmesi
- Ventilatör yönetimi ile ilgili karar vermeye yardımcı

## 5. Miks ve santral venöz oksijen satürasyonu (SvO<sub>2</sub>, SvcO<sub>2</sub>)

- Dokuların O<sub>2</sub> ekstraksiyon derecesini yansıtır
- SvcO<sub>2</sub> = baş ve üst vücut, SvO<sub>2</sub> = tüm vücut (PAC)
- Yüksek metabolik durumlarda veya azalmış kardiyak debide düşer

## 6. Oksijenasyon indeksi (OI)

Daha çok yenidoğan ve pediatri de kullanılır

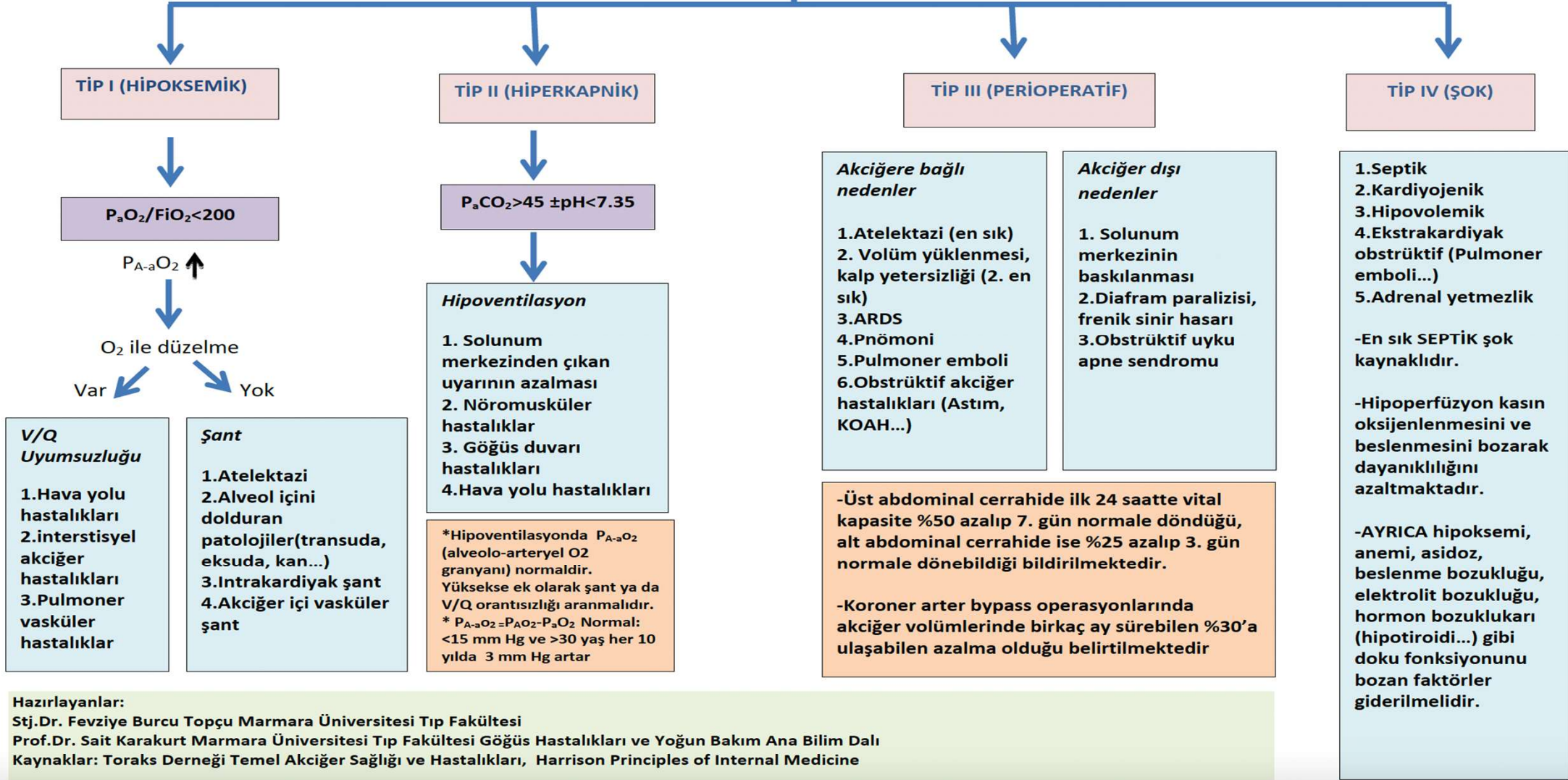
$$\text{OI} = (\text{MAP} \times \text{FiO}_2) / \text{PaO}_2$$

## 7. Arteriyel oksijen içeriği (CaO<sub>2</sub>)

$$\text{CaO}_2 = (1.34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2) + (0.0031 \times \text{PaO}_2)$$

$$\text{DO}_2 = \text{Cardiac Output} \times \text{CaO}_2 \times 10$$

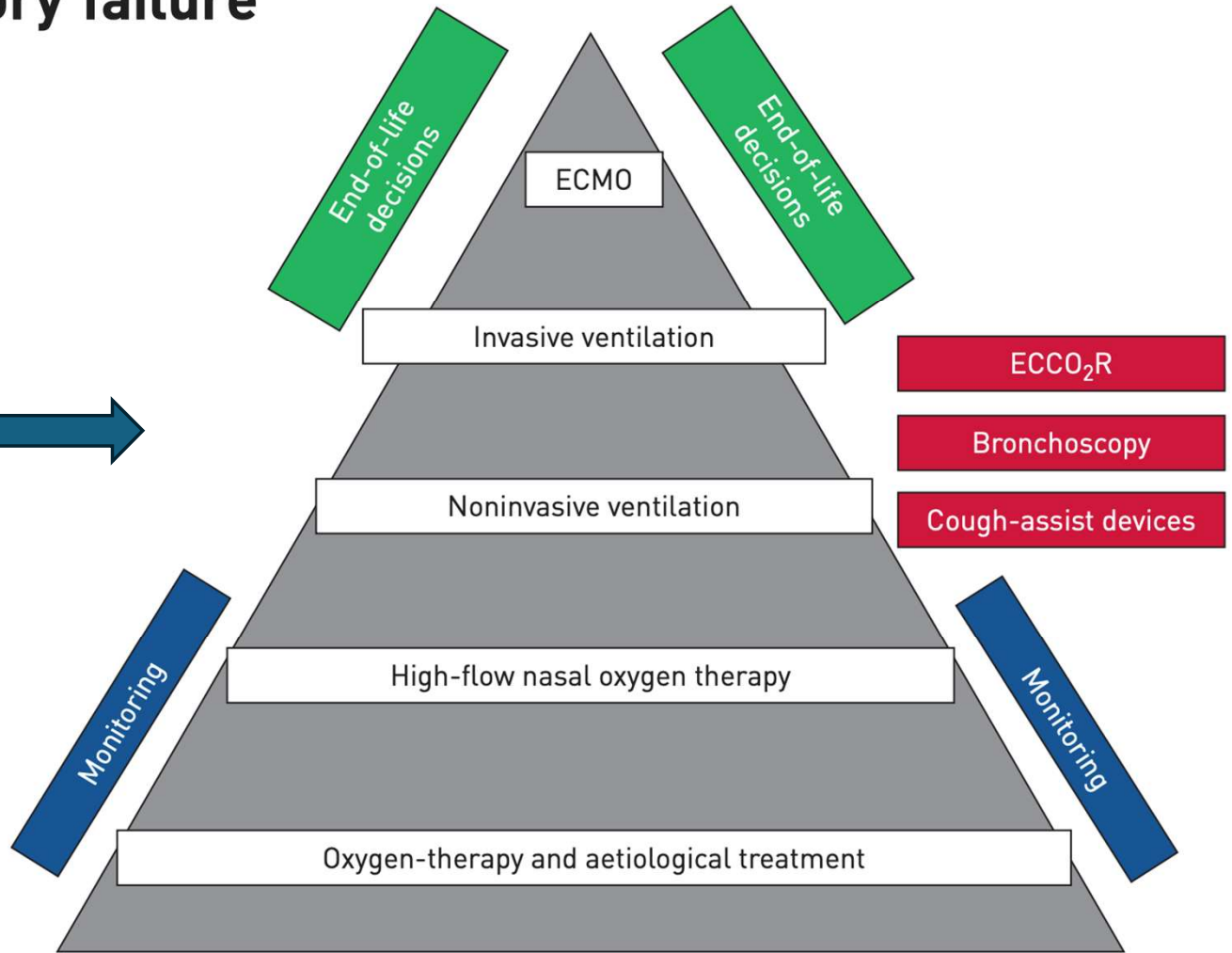
# SOLUNUM YETMEZLİĞİ



# Highlights in acute respiratory failure

Raffaele Scala<sup>1</sup> and Leo Heunks<sup>2</sup>

**Oksijen destek yöntemleri**



# IMV Endikasyon

# NIMV Endikasyon

ATS 2001 Guidelines

**Solunum işinde artma**

**Solunum yetersizliği**

**Solunum durması**

- ✓ *Solunum/ kardiyak arrest*
- ✓ *Hemodinamik instabilite (şok, MI, ciddi aritmi)*
- ✓ *Ciddi Üst GIS kanama*
- ✓ *Hava yolunun korunamaması*
- ✓ *Üst hava yolu obstrüksiyonu*
- ✓ *Solunum sekresyonlarının temizlenememesi*
- ✓ *Aspirasyon riski yüksek hasta*
- ✓ *Maskenin uygulanamıyor olması*

- ✓ **Güçlü Kanıt:** KOAH alevlenme  
Akut kardiyojenik pulmoner ödem  
İmmüsupresif hastalar  
KOAH weaning
- ✓ **Az Güçlü Kanıt:** Astım  
Kistik fibroz  
Postoperatif solunum yetersizliği  
DNI hastalar  
Ekstübasyon sonrası başarısızlık

Entübasyon kararı bir kan gazı sayısından ziyade, **gaz değişiminin bozulması + artmış solunum işi + hava yolu güvenliğinin kaybı + klinik** gidişat ile beraber değerlendirilmeli

# EVE GÖTÜRÜLECEKLER...

- Hipokseminin **4 temel nedeni**: Hipoventilasyon, Difüzyon kısıtlılığı, Şant, V/Q uyumsuzluğu
- Hiperkapninin en önemli nedeni ***hipoventilasyon, ölü boşluk ventilasyonu***
- Şant varsa, hastaya **%100 O<sub>2</sub> verilmesine rağmen** hipoksemi düzelmez
- **V/Q oranı**, herhangi bir akciğer ünitesinde **PaO<sub>2</sub>'yi, PaCO<sub>2</sub>'yi** belirler
  - Birçok V/Q uyumsuzluğu olan hastada **arteriyel PCO<sub>2</sub> normaldir**
  - Bunun nedeni **alveoler ventilasyonun artmasıdır**
  - Buna karşılık: **Arteriyel PO<sub>2</sub> her zaman düşüktür**
- **Alveolo-arteriyel PaO<sub>2</sub> farkı (A-a gradyanı)**
  - V/Q uyumsuzluğunu değerlendirmede faydalı
  - **Hipoventilasyonda normaldir**



## OKUMA ÖNERİLERİ...

- *WEST FİZYOLOJİ 11. Baskı*
- *Oxford Textbook of Respiratory Critical Care*
- *The ICU Book 5. Baskı*
- *J. Peterson et al., ERJ 2014*