

Fisiología pulmonar - Interacción con la ventilación mecánica

Dr. Tomás Regueira H.
Jefe CPC Clínica las Condes
tregueira@clc.cl



FISIOLOGÍA PULMONAR

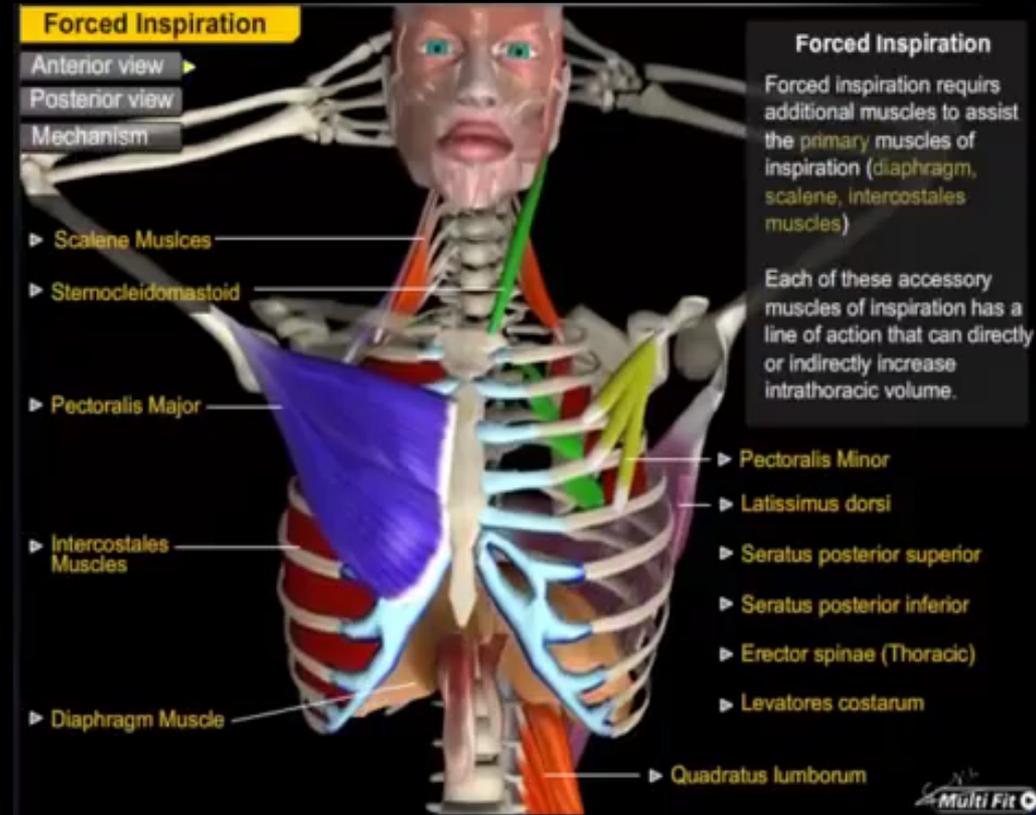
(Básica....)

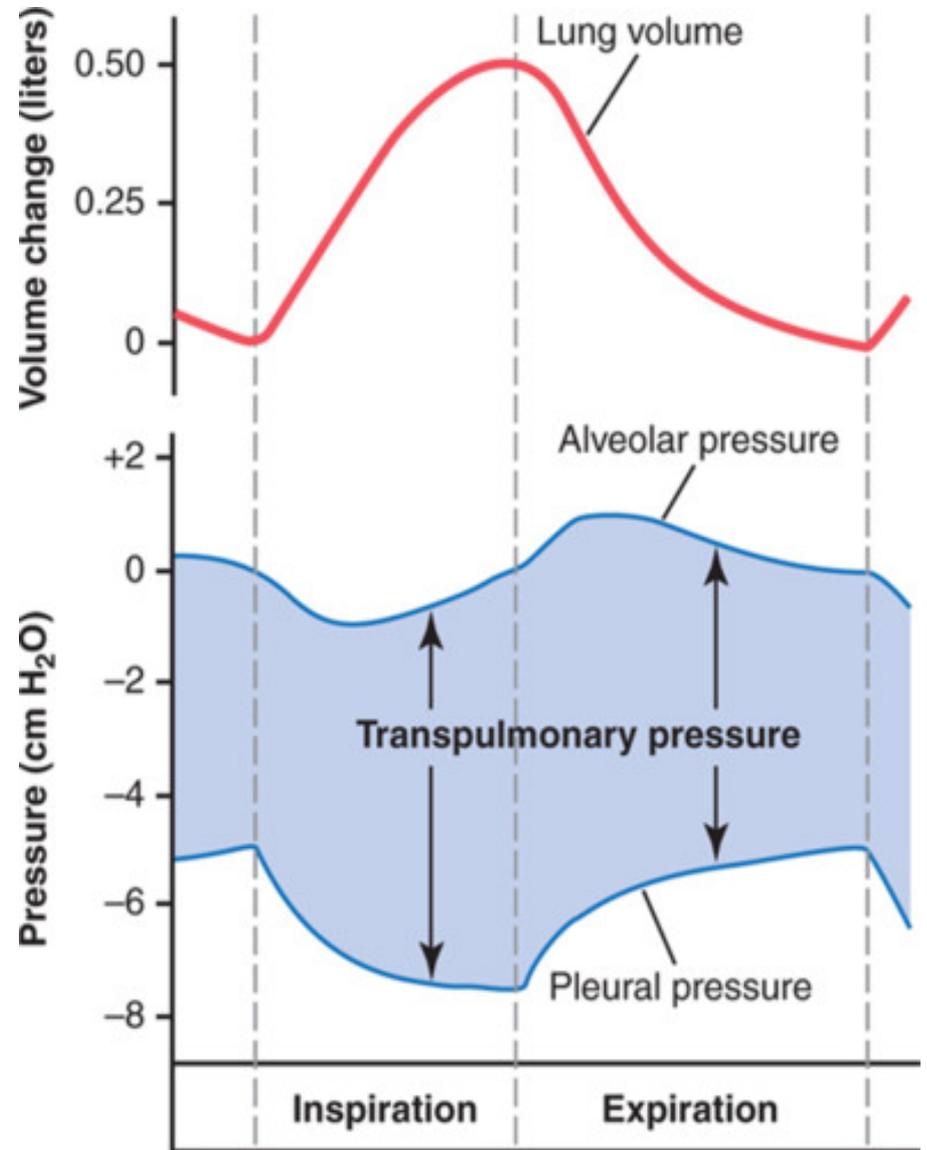
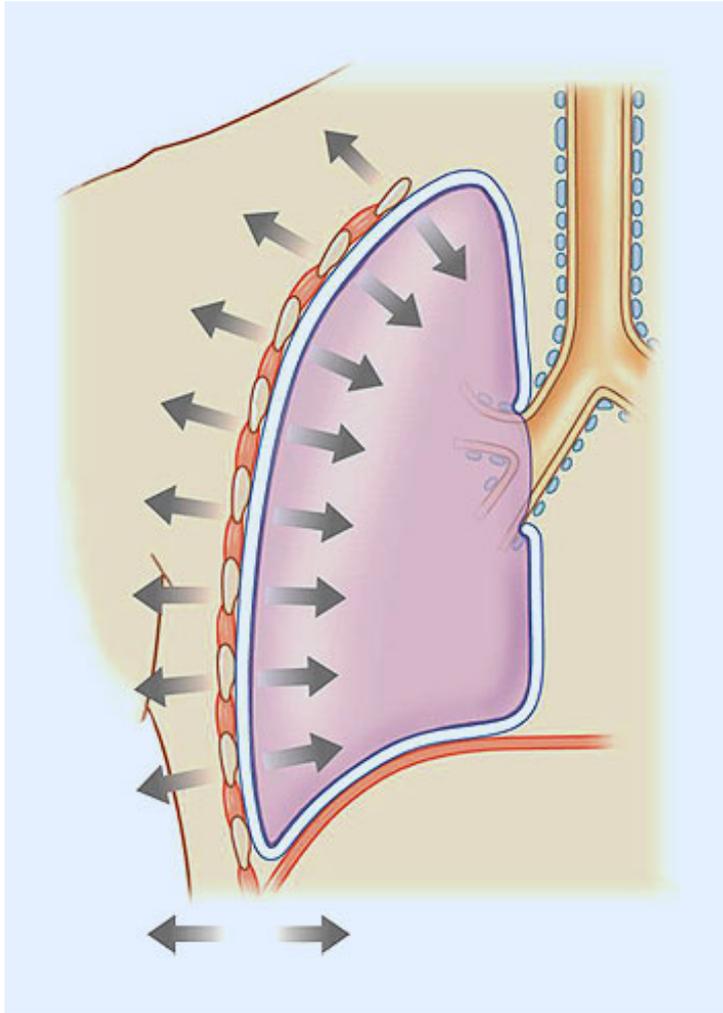


Fisiología 1 - ventilación

¿Cómo respiramos?

- Los gases de la atmósfera entran a los pulmones por **diferencia de presiones**.
- La inflación es un proceso activo 2rio al **“vacío”** generado por el **“crecimiento”** de la caja torácica
 - Descenso diafragma
 - Músculos intercostales
 - Otros grupos musculares

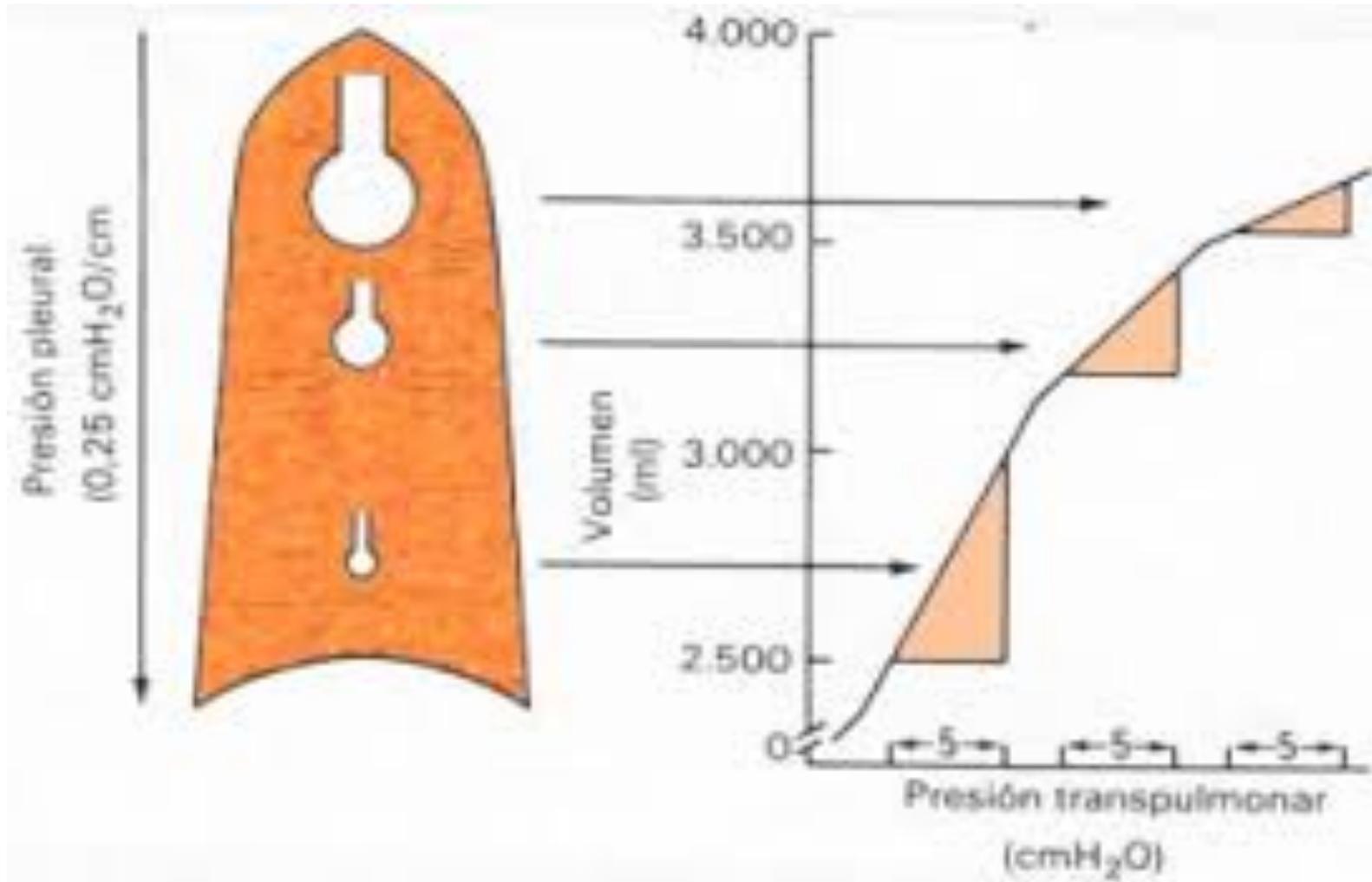




	REPOSO	INSPIRACIÓN
P alveolar =	0	-1 mmHg
P pleural =	-5	-8 mmHg

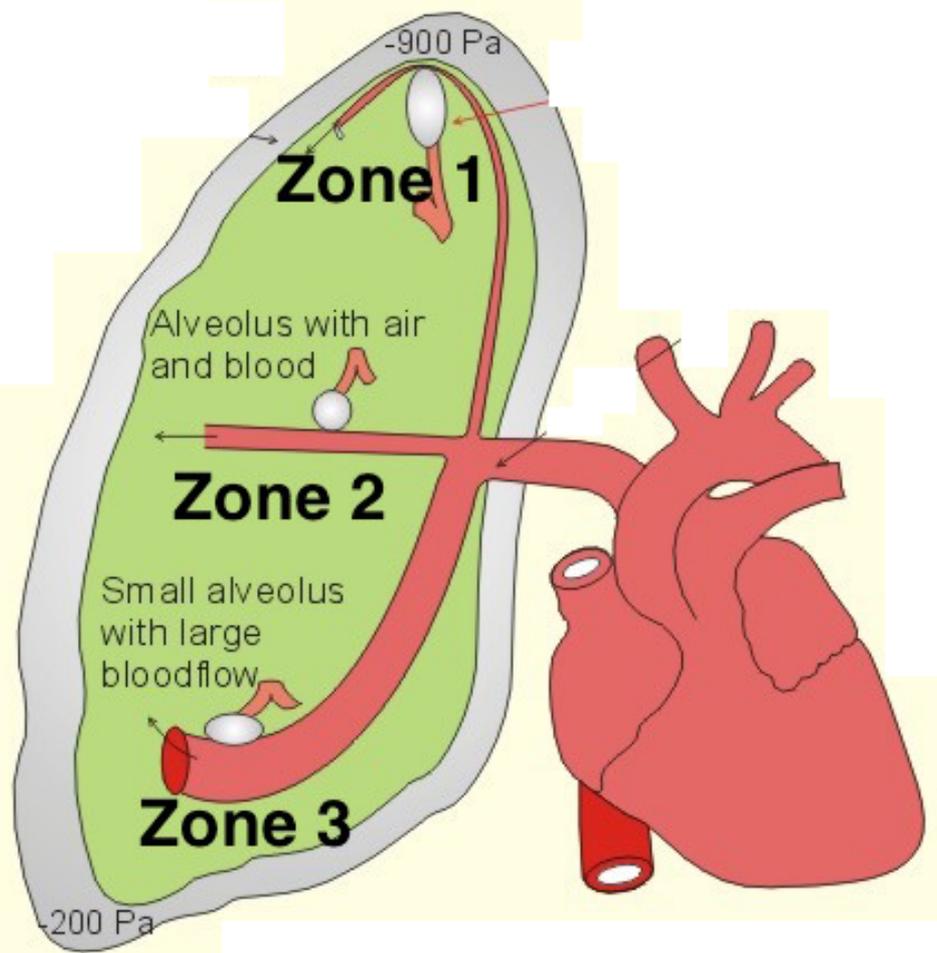
Hall: Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 12th Edition
 Copyright © 2011 by Saunders, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.

Ventilación



Gradient of relative ventilation

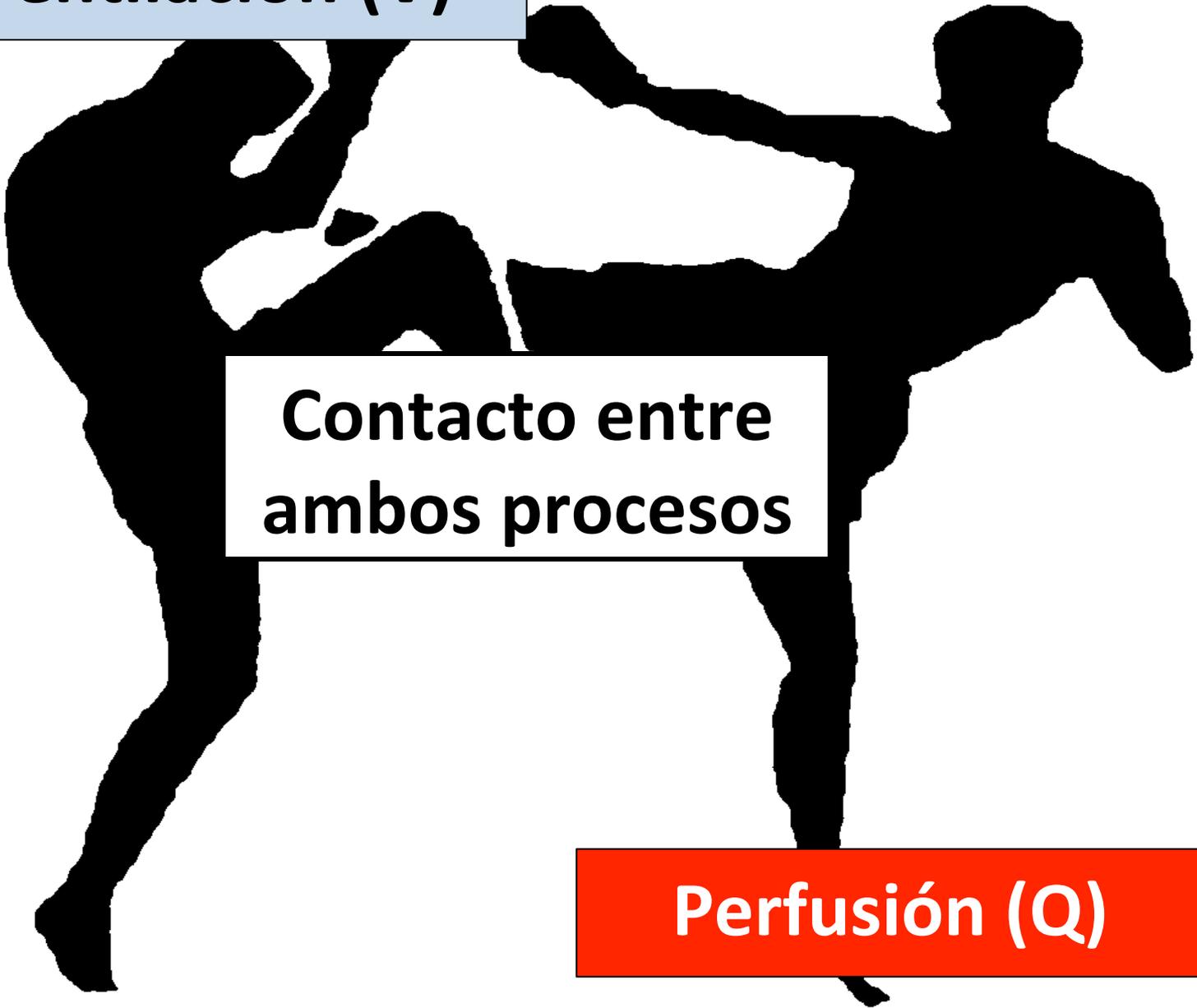
¿Cómo se distribuye el flujo?



- La presión sistólica de arteria pulmonar (PSAP) es baja (20-30 mmHg)
- La mayor parte del flujo va hacia las bases pulmonares

**ZONAS DE
WEST**

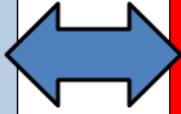
Ventilación (V)



**Contacto entre
ambos procesos**

Perfusión (Q)

Ventilación



Perfusión

Flujo Sanguíneo

Ventilación

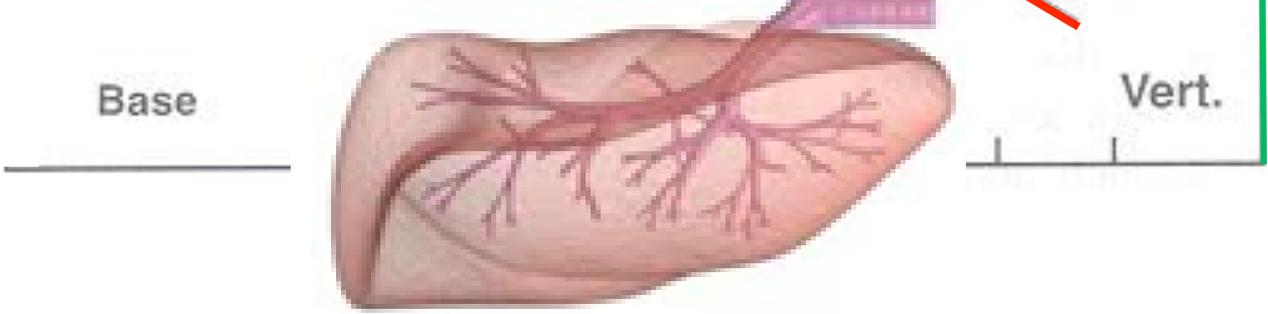
v/Q

-2

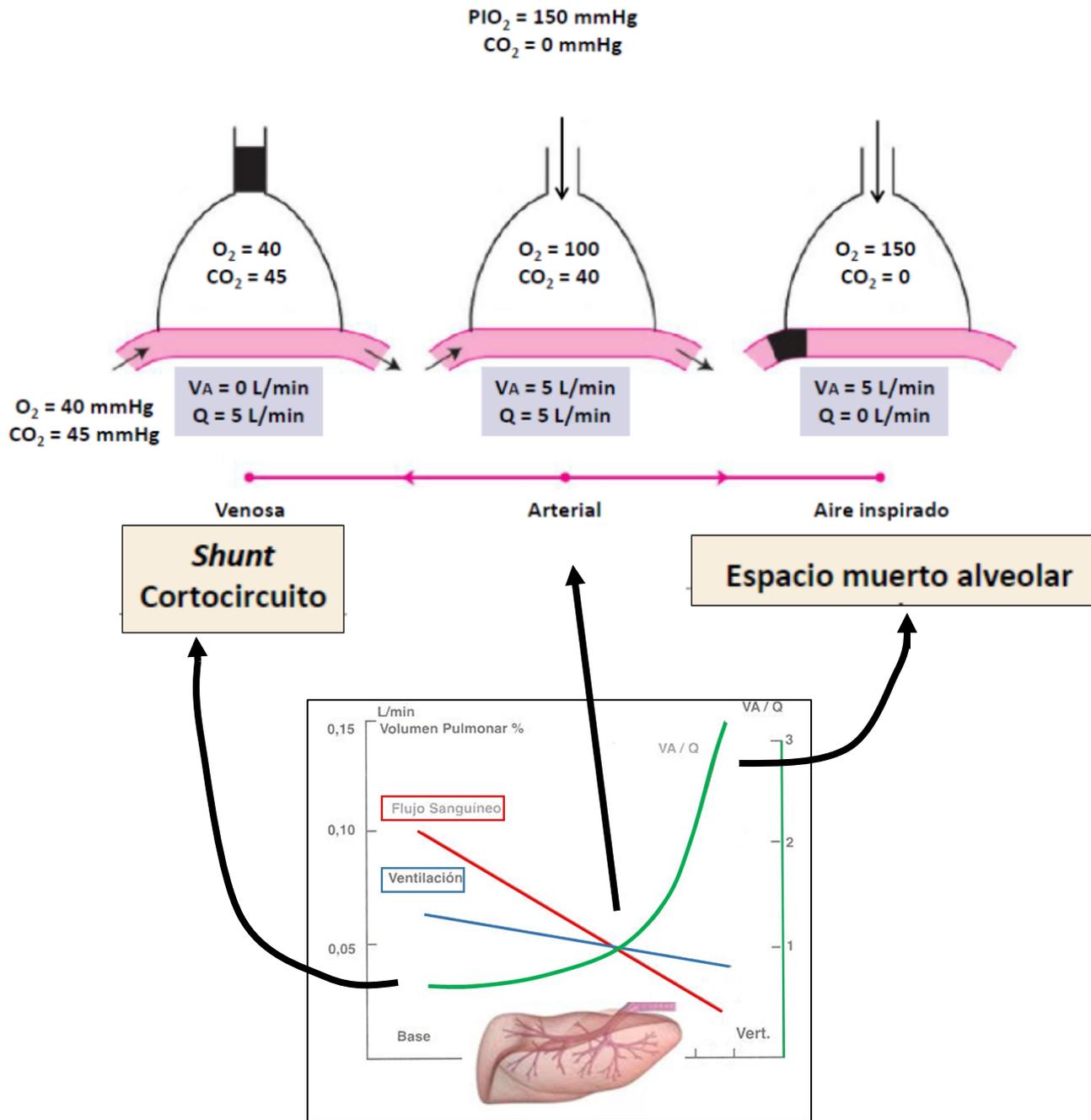
-1

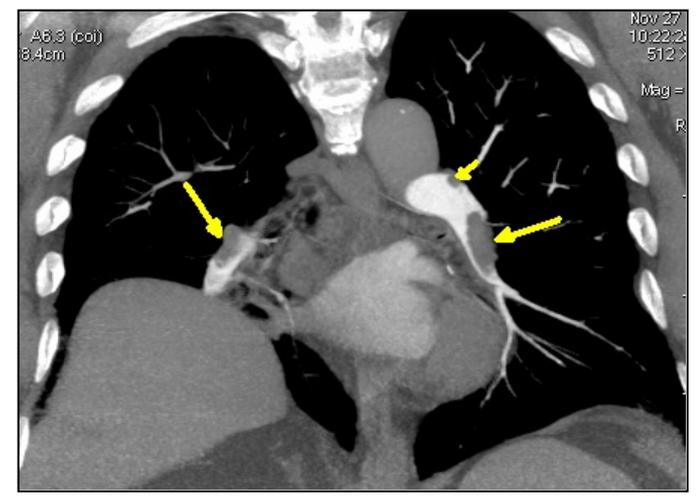
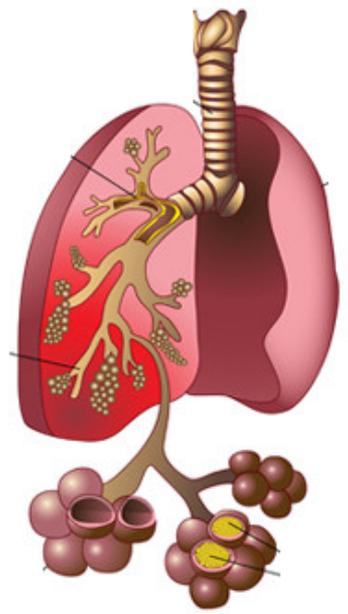
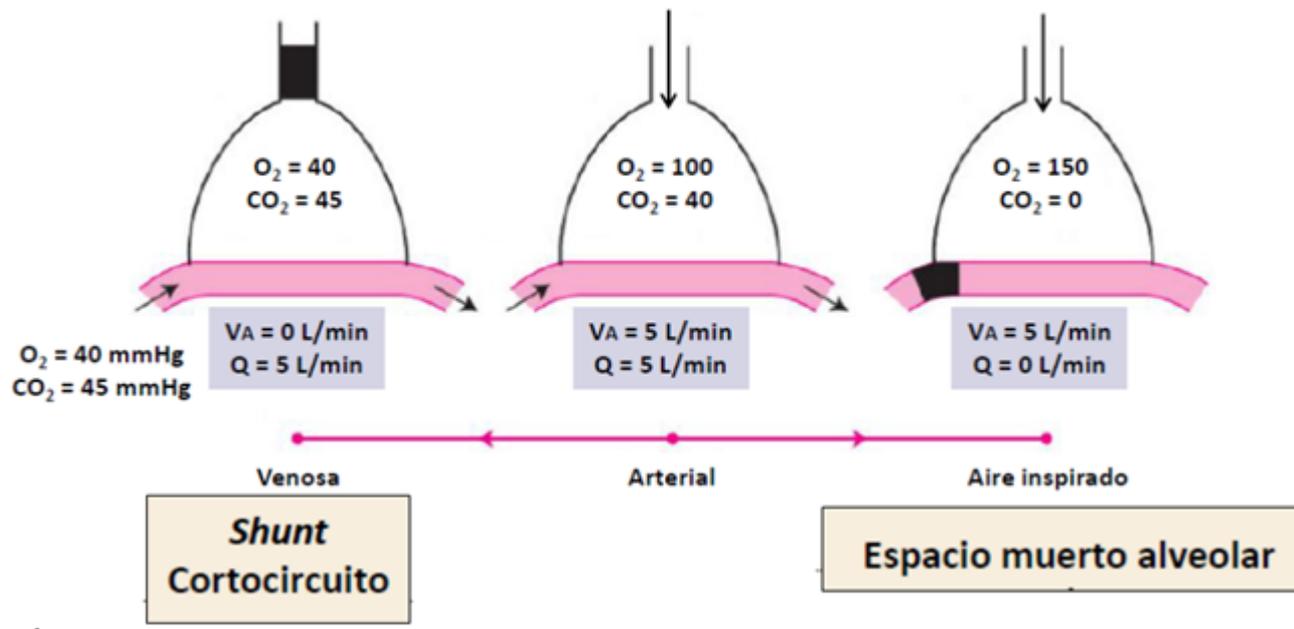
Base

Vert.



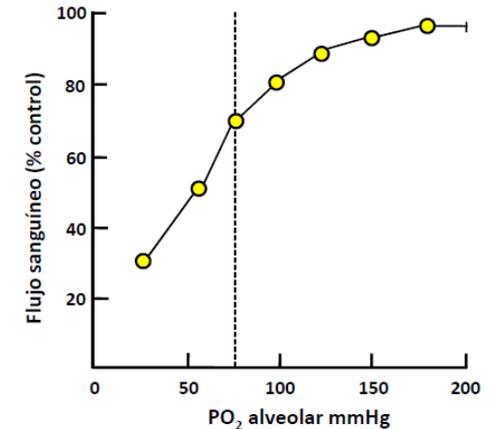
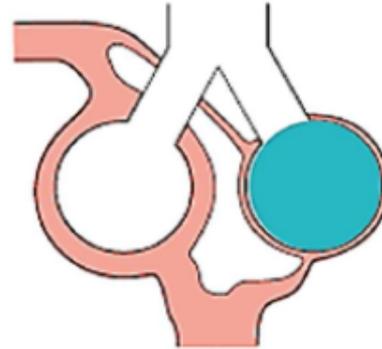
Trastornos V/Q



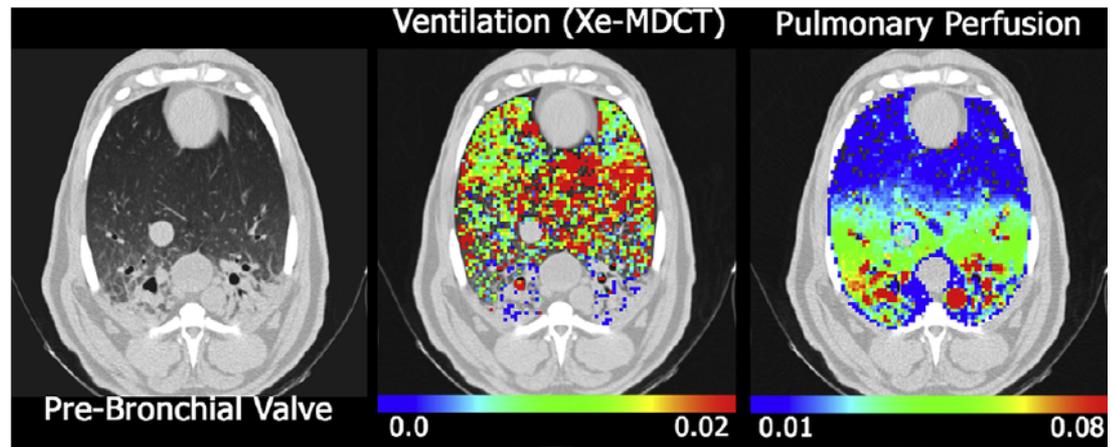


¿Por qué una neumonía lobar produce insuficiencia respiratoria?

Vasoconstricción
hipóxica



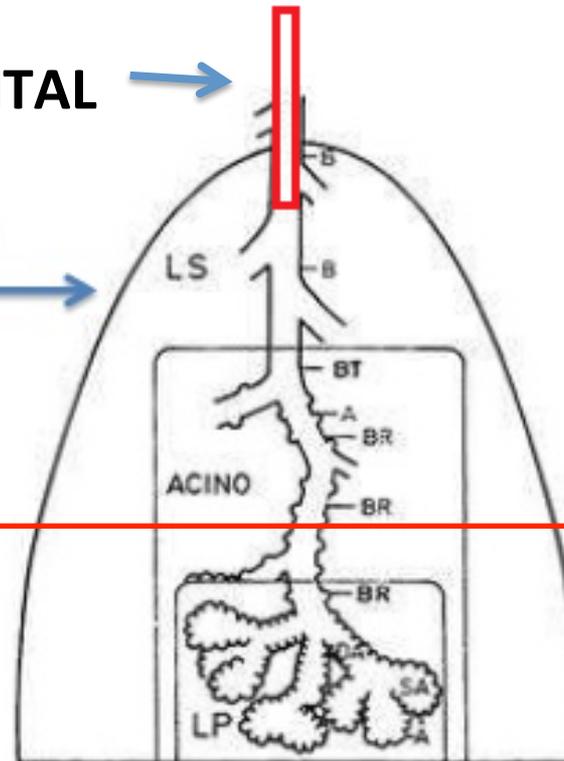
Normo – Hiper
perfusión de
zona en shunt



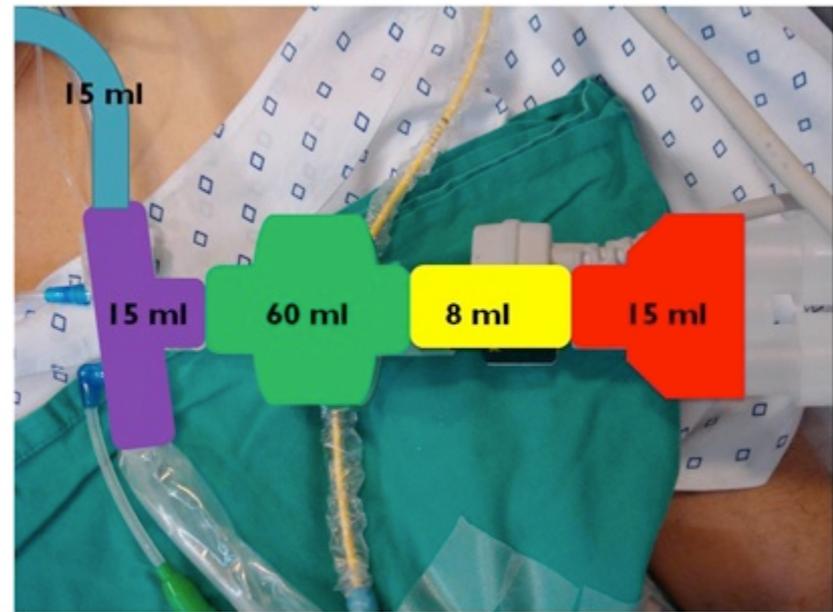
• **ESPACIO MUERTO INSTRUMENTAL** →

• **Vías respiratorias de conducción**
• **ESPACIO MUERTO ANATÓMICO** →

• **Región pulmonar con alvéolos**
• **ZONA RESPIRATORIA** →



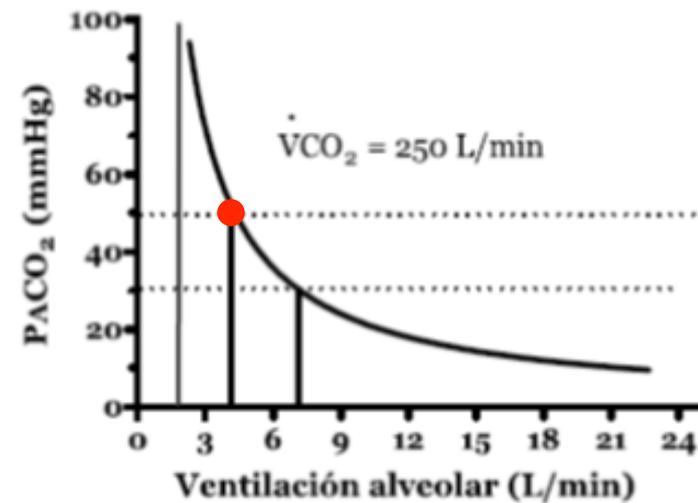
Espacio Muerto Instrumental



Hipoventilación

V_T	V_D	V_A	\dot{V}_A
500	150	350	7.0
450	150	300	6.0
400	150	250	5.0
350	150	200	4.0
300	150	150	3.0
250	150	100	2.0
200	150	50	1.0

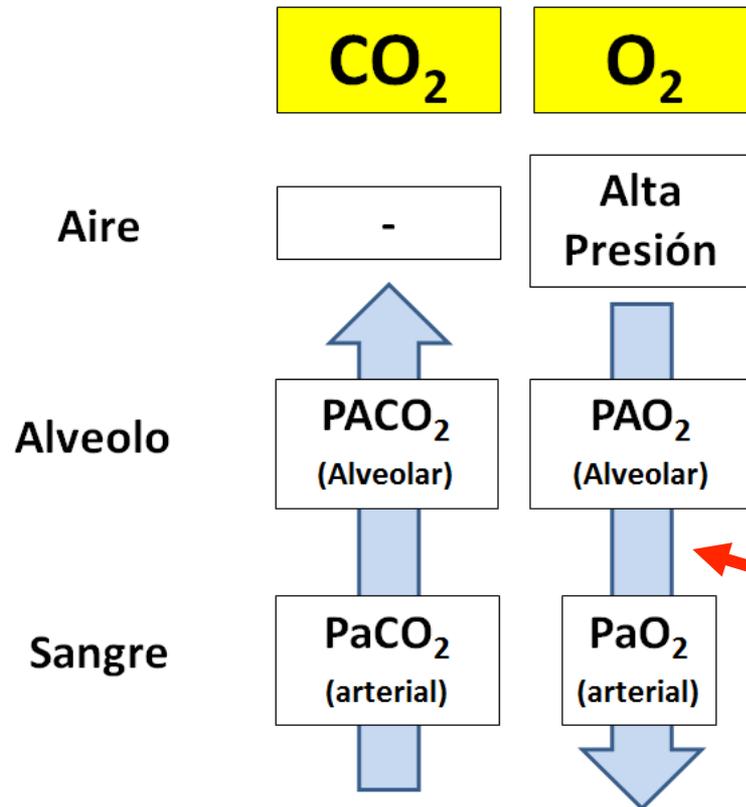
$f_r = 20$ r/min



SDRA severo, mujer 58 kg, $V_c = 350$ ml

Fisiología 4

Últimos conceptos



1 Cuando utilizemos capnografía, el valor de PACO₂ (medido) es siempre menor que la PaCO₂ (<5 mmHg).

2 El gradiente alveolo – arteria de oxígeno se altera (aumenta) en patologías que afectan la relación V/Q.
**También depende de la FiO₂, de la PvO₂ y de la afinidad de la Hb por el O₂.*

MECANISMOS DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA

Insuficiencia Respiratoria

- Incapacidad del aparato respiratorio para mantenerlos niveles de PaO_2 y PaCO_2 adecuados para las demandas metabólicas del organismo.
 - Sistema que tiene que adaptarse / compensar

- **I. Respiratoria Hipoxémica**

- $\text{PaO}_2 < 60$ mmHg

- **I. Respiratoria Hipercárbica**

- $\text{PaCO}_2 > 50$ mmHg

- **I. Respiratoria Mixta**

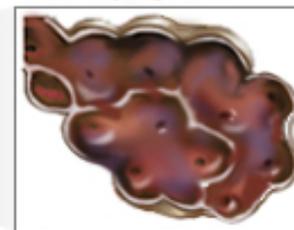
Mecanismos de I. Respiratoria

Hipoxémica

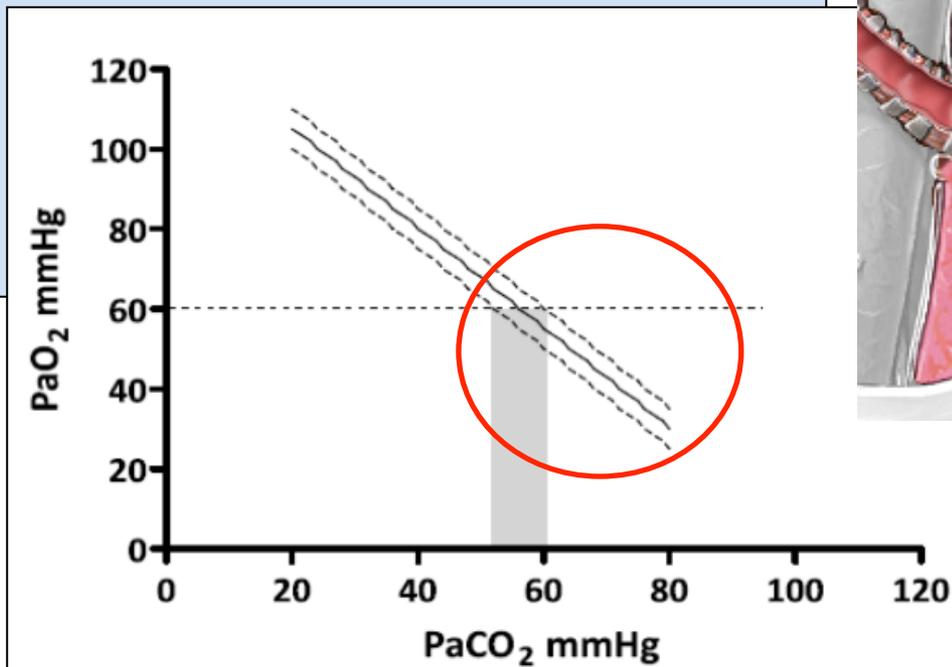
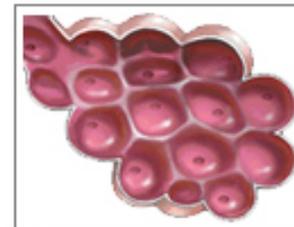
- Baja FiO₂
- 2ria Hipoventilación



Alveoli with emphysema



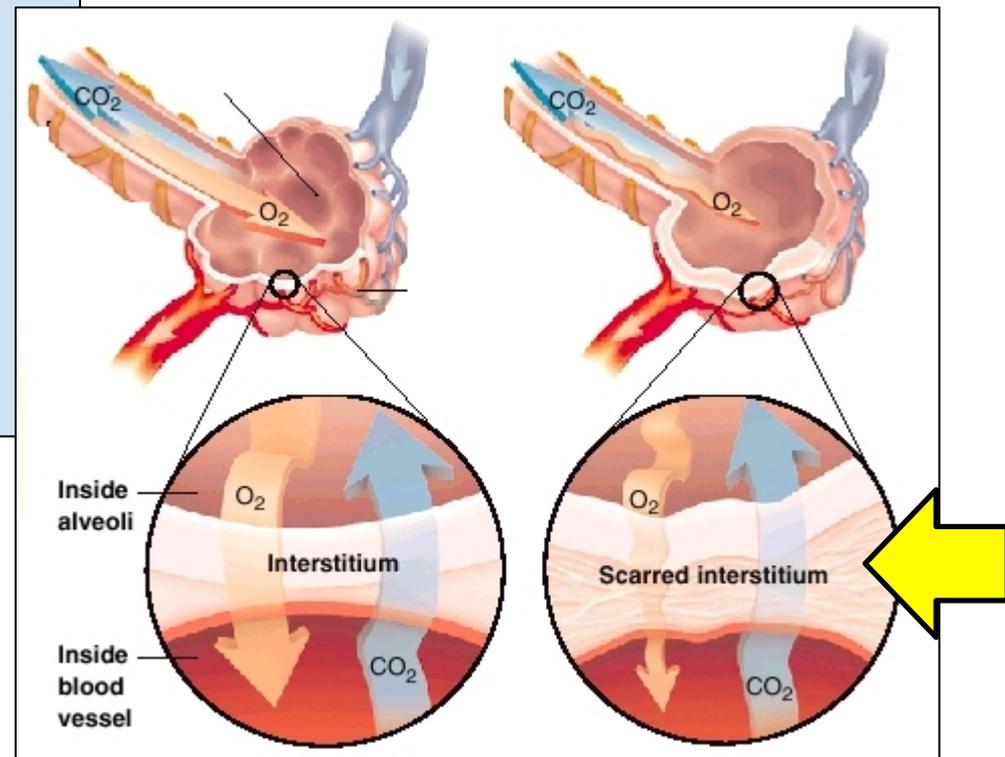
Microscopic view of normal alveoli



Mecanismos de I. Respiratoria

Hipoxémica

- Baja F_{iO_2}
- 2ria Hipoventilación
- Alteración de difusión



Mecanismos de I. Respiratoria

Hipoxémica

- Baja FiO₂
- 2ria Hipoventilación
- Alteración de difusión
- Shunt D → I

TRASTORNO V/Q

El trastorno V/Q es el mecanismo más frecuente de Insuficiencia respiratoria en la UCI

Finalmente la mayoría de los pacientes tienen trastornos mixtos que explican su hipoxemia.

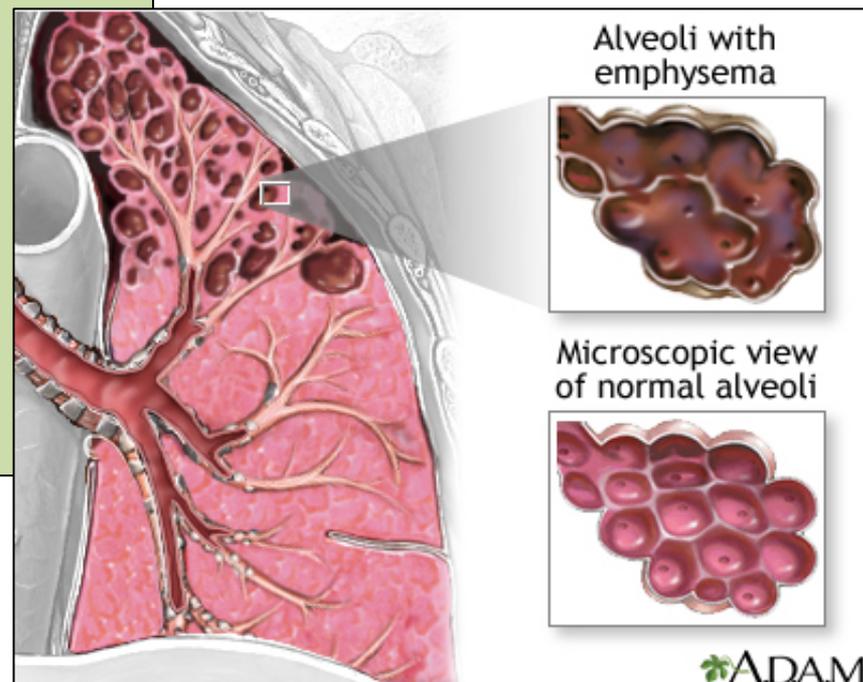
Ej.: Neumonía grave

- Shunt ($V/Q < 1$) por ocupación alveolar
- Espacio muerto ($V/Q > 1$) por obstrucción vascular inflamatoria
- Edema intersticial (Alt. Difusión)

Mecanismos de I. Respiratoria

Hipercárbica

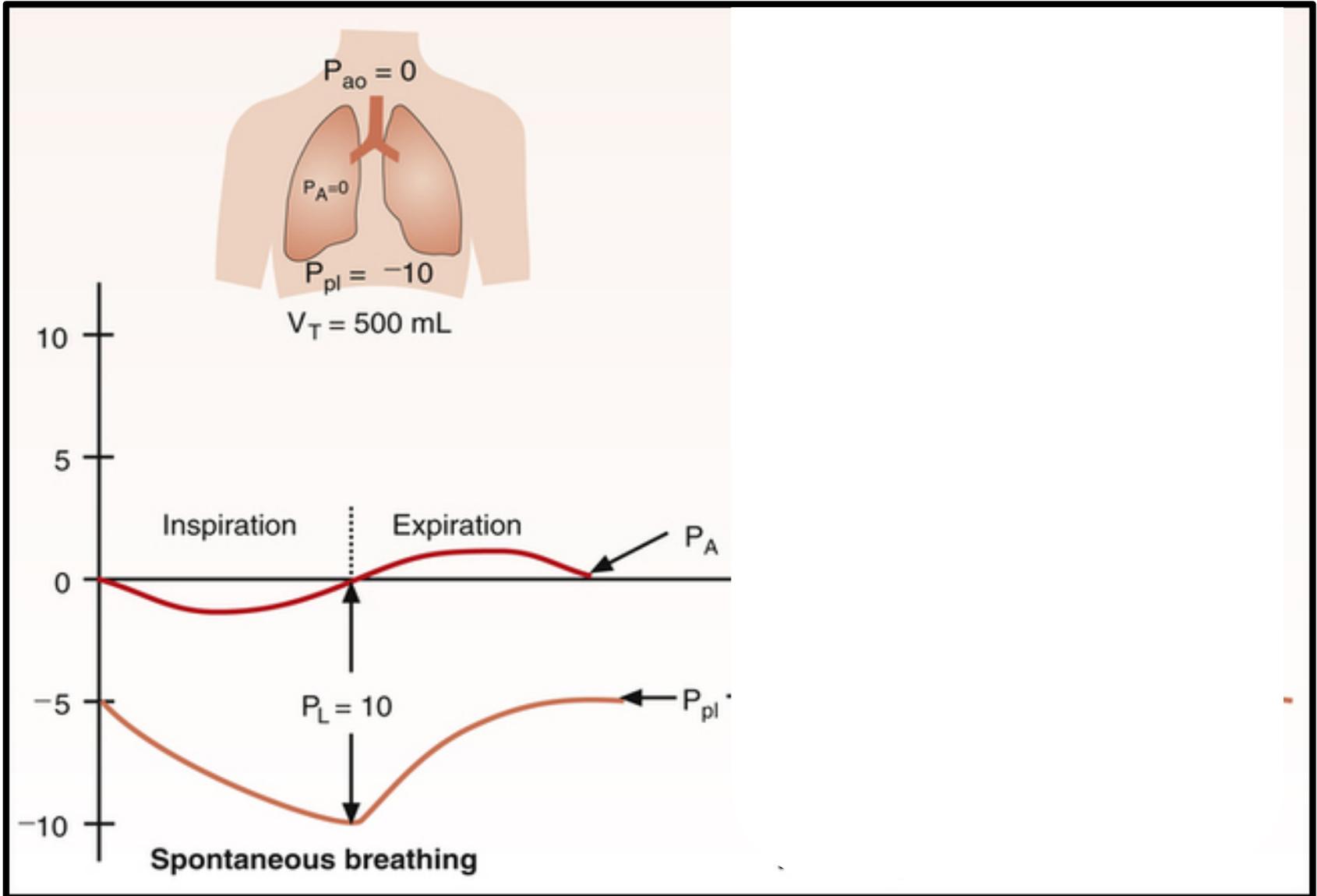
- Alteraciones del centro respiratorio
- Alteración neuromuscular
- Anormalidad de pared torácica o vía aérea
- Anormalidades de los pulmones
 - ↓ superficie de intercambio



FISIOLOGIA DE LA VM

es todo al revés... a presión (+)

Ventilación espontánea

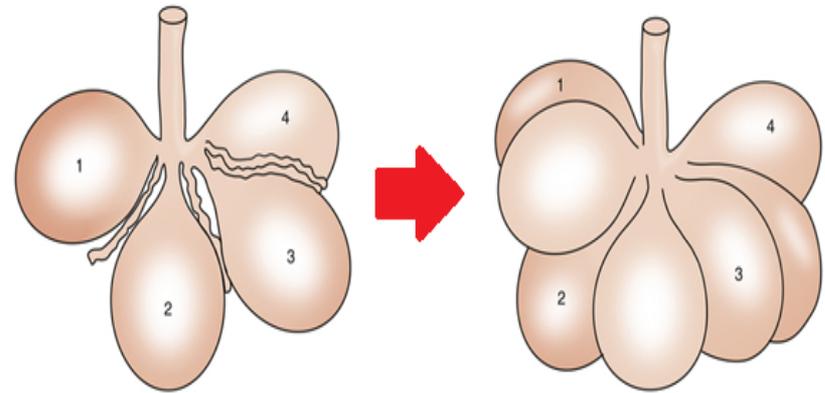


Objetivos de la VM

- **IRA Hipoxémica**

 **Reclutar alveolos**

- Disminuir el trabajo respiratorio
- Mejorar el intercambio (oxigenación)



Trabajo Respiratorio

Conceptos

**DEMANDA
RESPIRATORIA**



**Consumo de
Oxígeno**

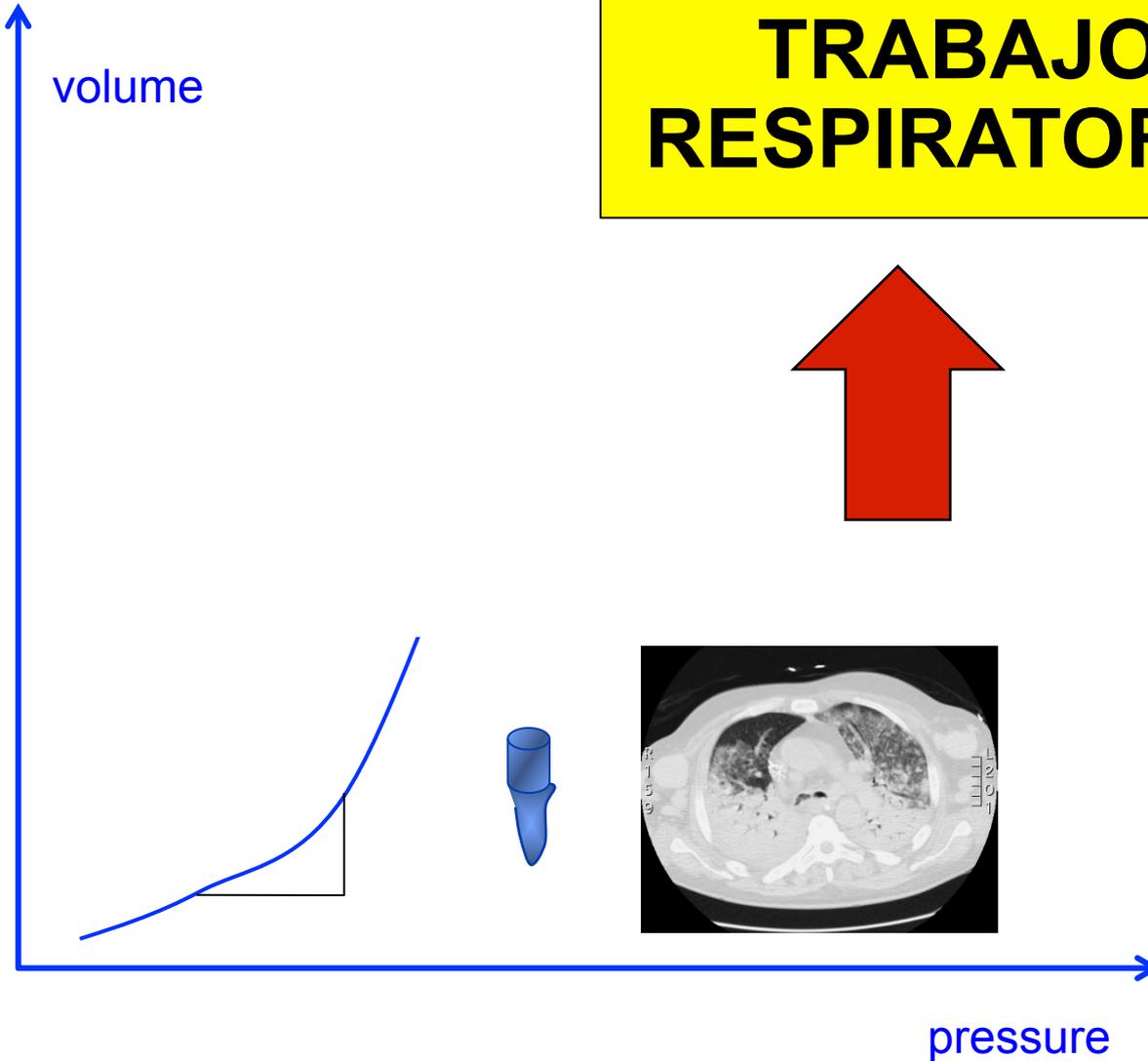
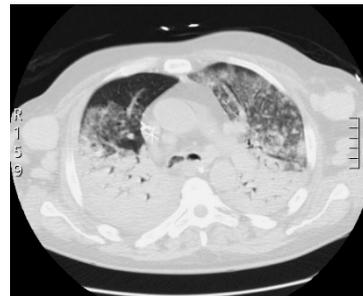
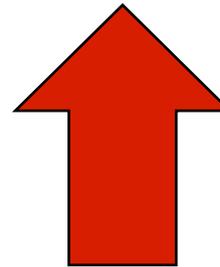
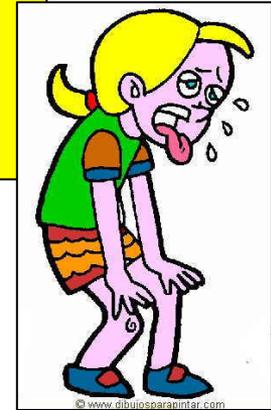
**Características del
sistema tóraco -
pulmonar**



**Producción de
CO2**

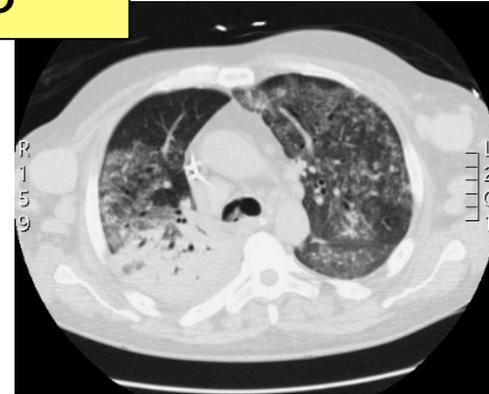
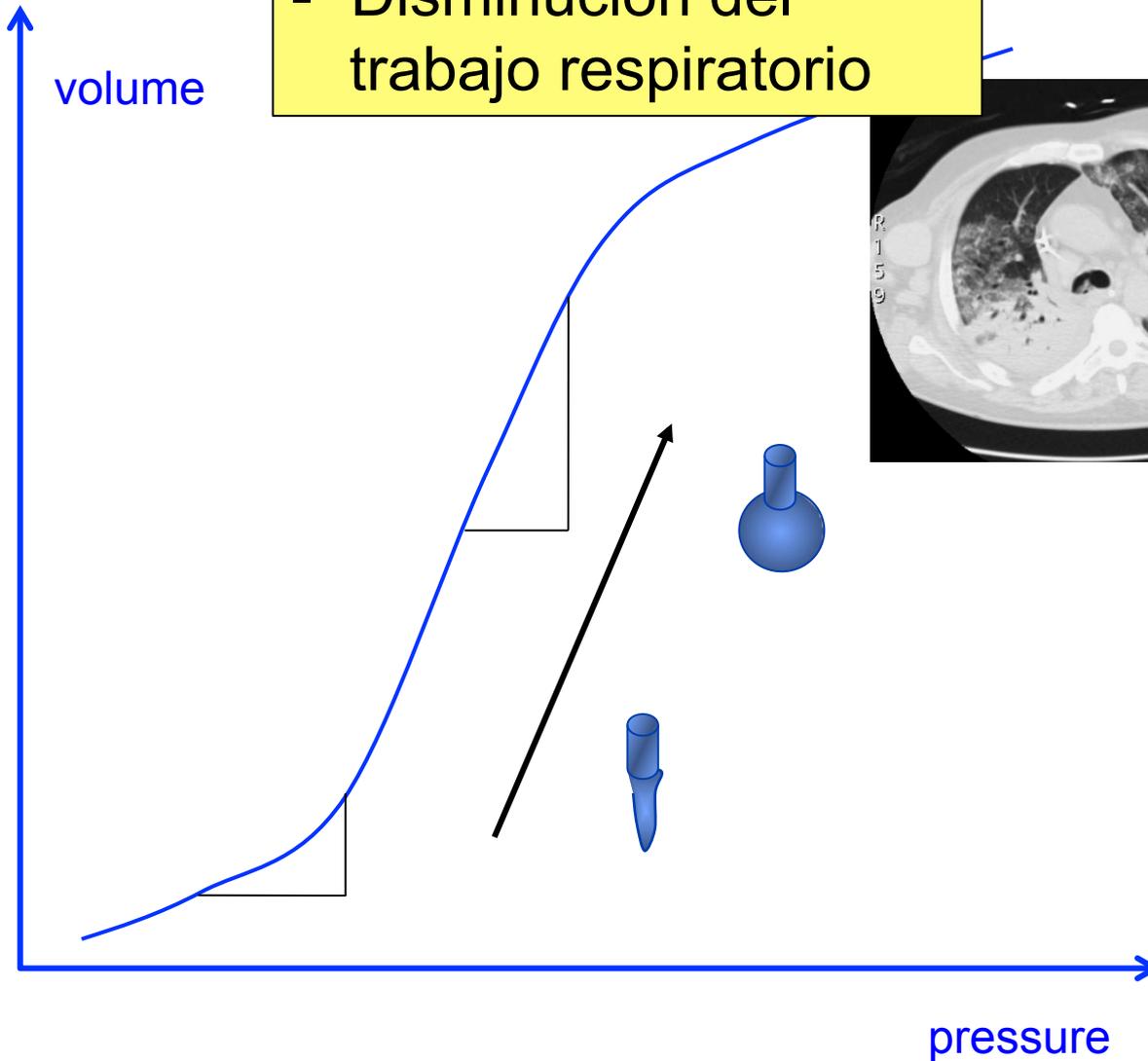


TRABAJO RESPIRATORIO



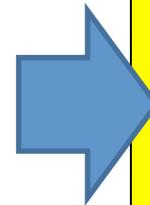
Zona de mayor distensibilidad

- Disminución del trabajo respiratorio



¿Qué le preguntamos al paciente?

- **...Oxigenación**
 - PaO₂/FiO₂, gradiente alveolo arterial
- **...Imágenes**
- **...Mecánica pulmonar**
 - Presiones de vía aérea, driving pressure
 - Distensibilidad



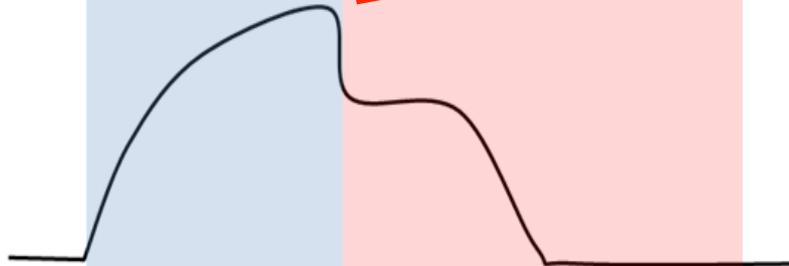
**CURVAS
BÁSICAS**

FASES

INSPIRATORIA

ESPIRATORIA

CURVA DE PRESIÓN

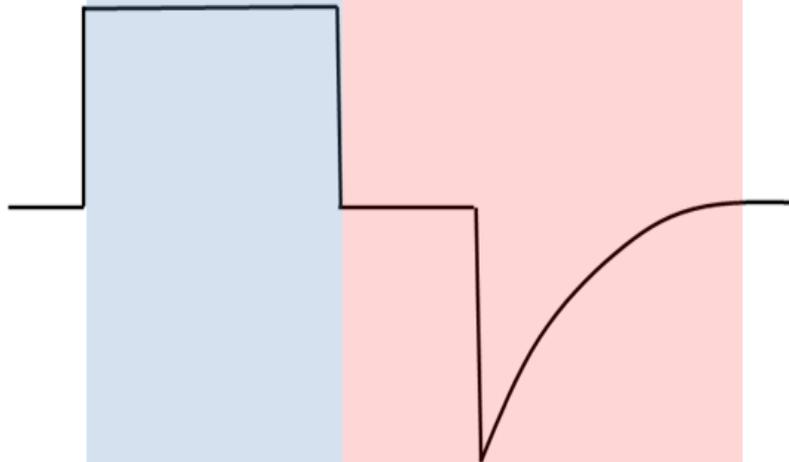


Presión Pico

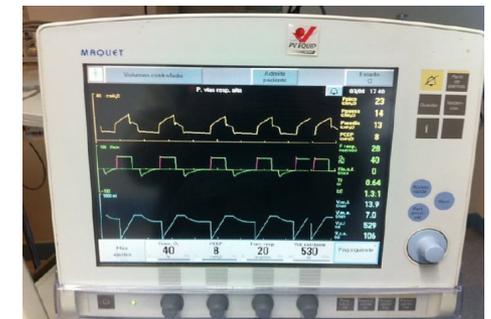
Depende de:

- Flujo
- Resistencia de la VA

CURVA DE FLUJO



PEEP

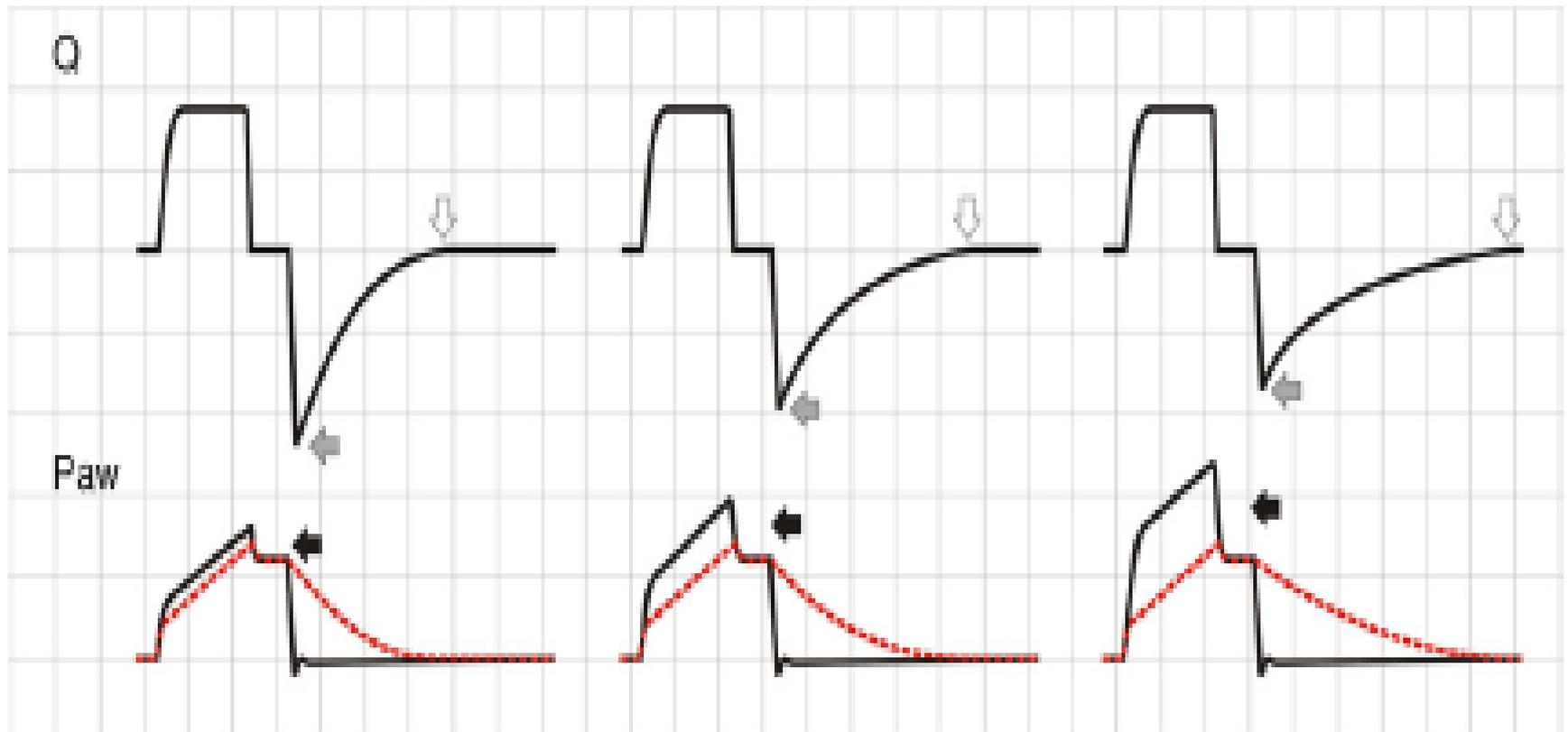


Aumento de Resistencia de VA

R Baja

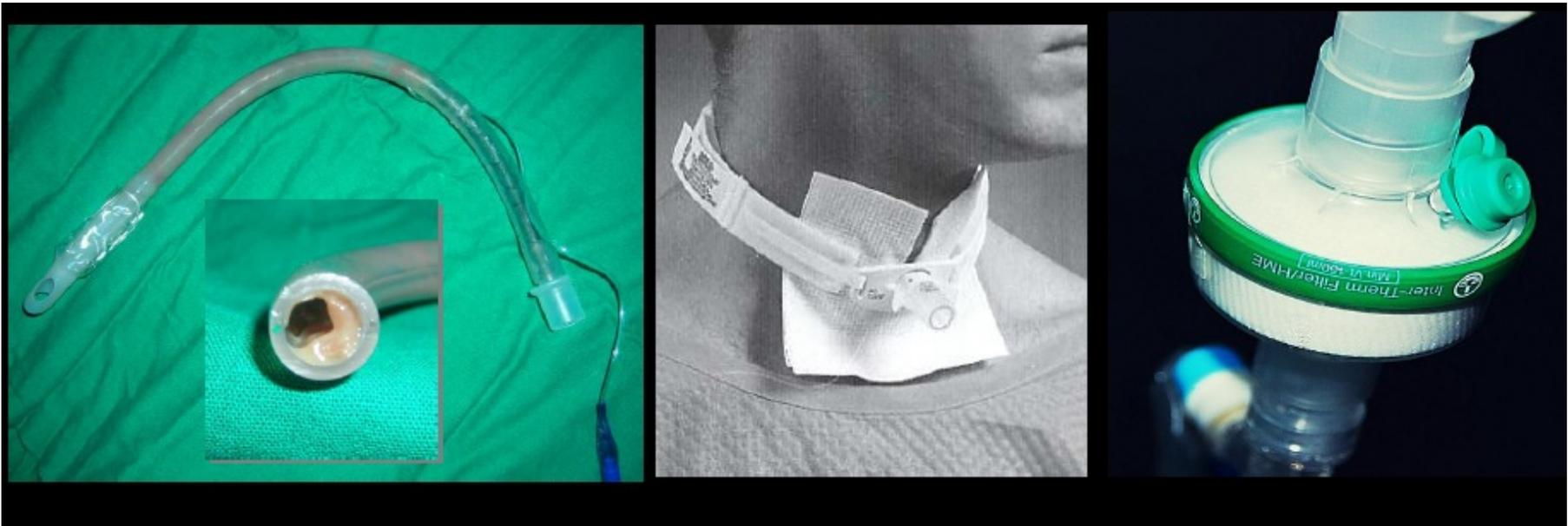
R Media

R Alta



Trabajo Respiratorio

Carga mecánica – resistiva – instrumental

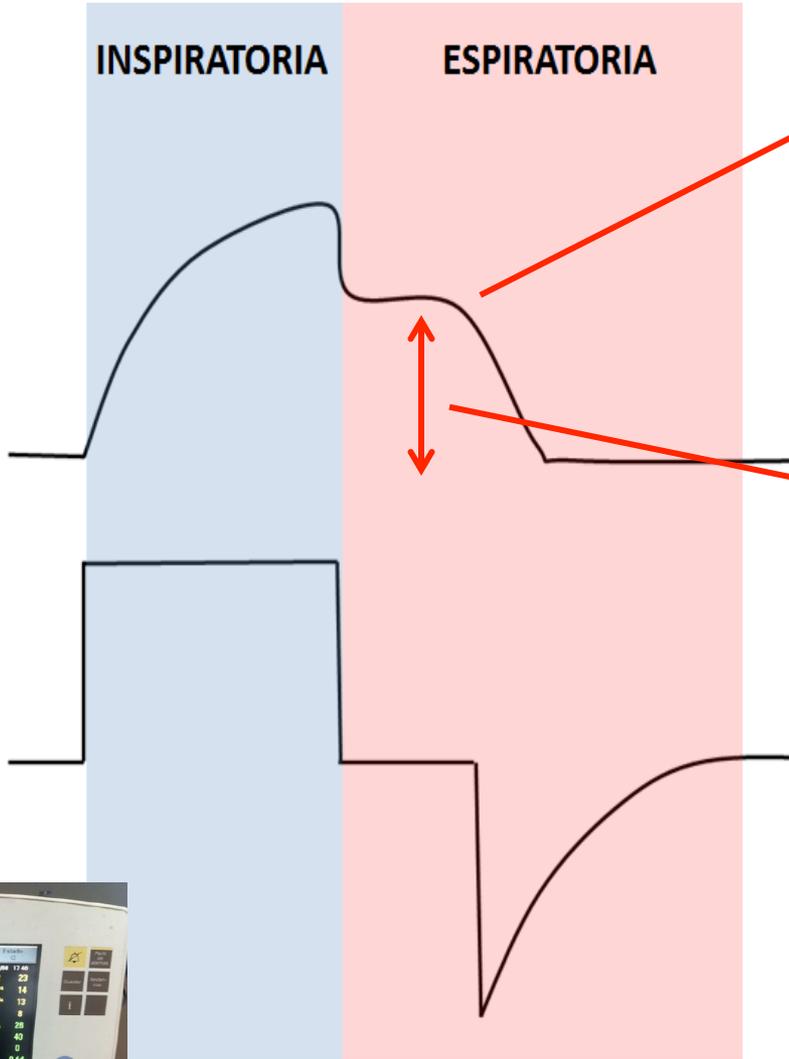


FASES

INSPIRATORIA

ESPIRATORIA

CURVA DE PRESIÓN



Presión Meseta

Depende de:

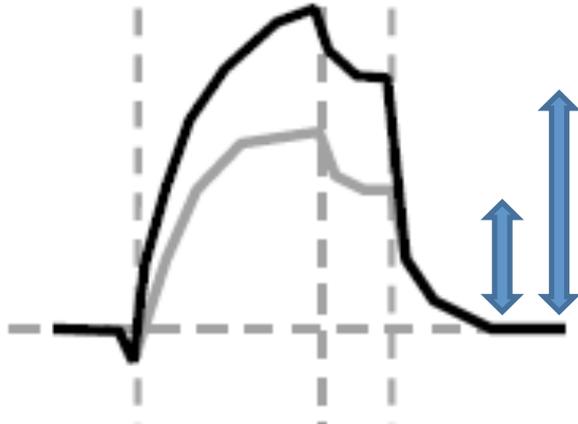
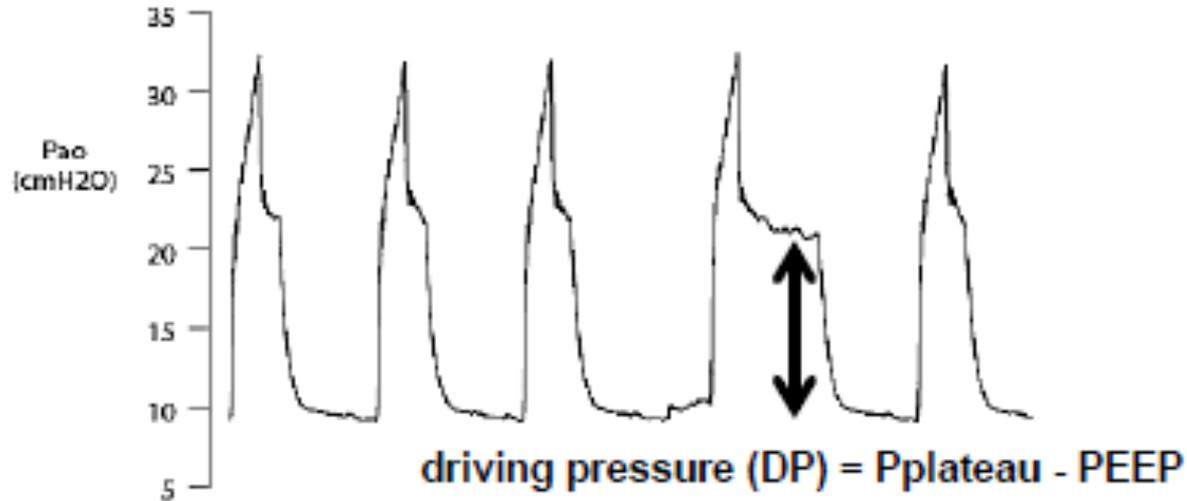
- Rigidez en el alveolo (compliance)
- Volumen corriente

Presión de distensión

(driving pressure)



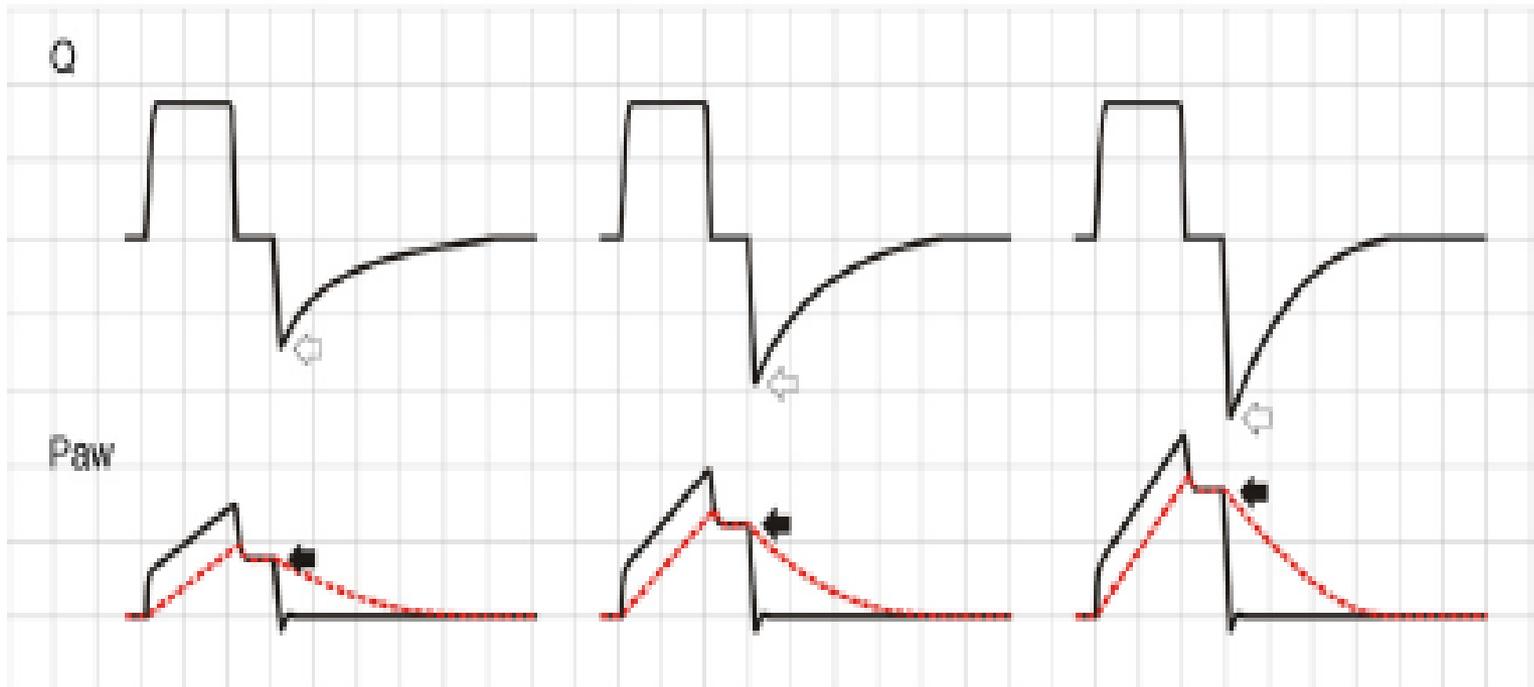
Presión de Distensión



La presión de distensión refleja el grado de “estiramiento” pulmonar (Presión transpulmonar)

Pérdida de Compliance

Volumen Tidal (V_t) = 400 cc



P. meseta	20 cmH2O	30 cmH2O	40 cmH2O
PEEP	10 cmH2O	10 cmH2O	10 cmH2O
P. Distensión (PD)	10	20	30
Compliance (V_T/PD)	40	20	13

INTERACCIÓN CON LA VMI

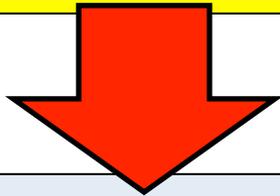
...Vili...

...Efectos de la presión positiva en el  ...

...Efectos de la presión positiva la precarga...

VILI

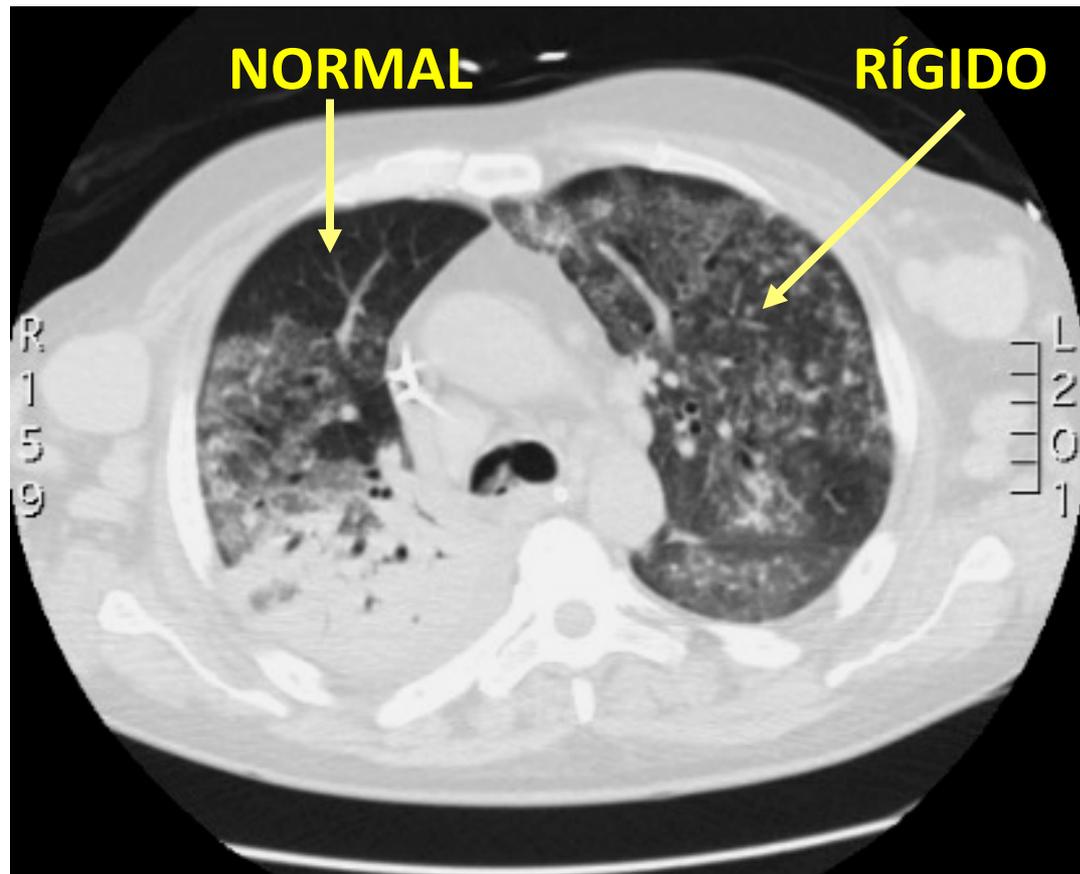
(Ventilator induced lung injury)



CONCEPTO

El pulmón en el SDRA más que rígido, es **pequeño**.

(Baby lung)



The New England Journal of Medicine

© Copyright, 2000, by the Massachusetts Medical Society

VOLUME 342

MAY 4, 2000

NUMBER 18

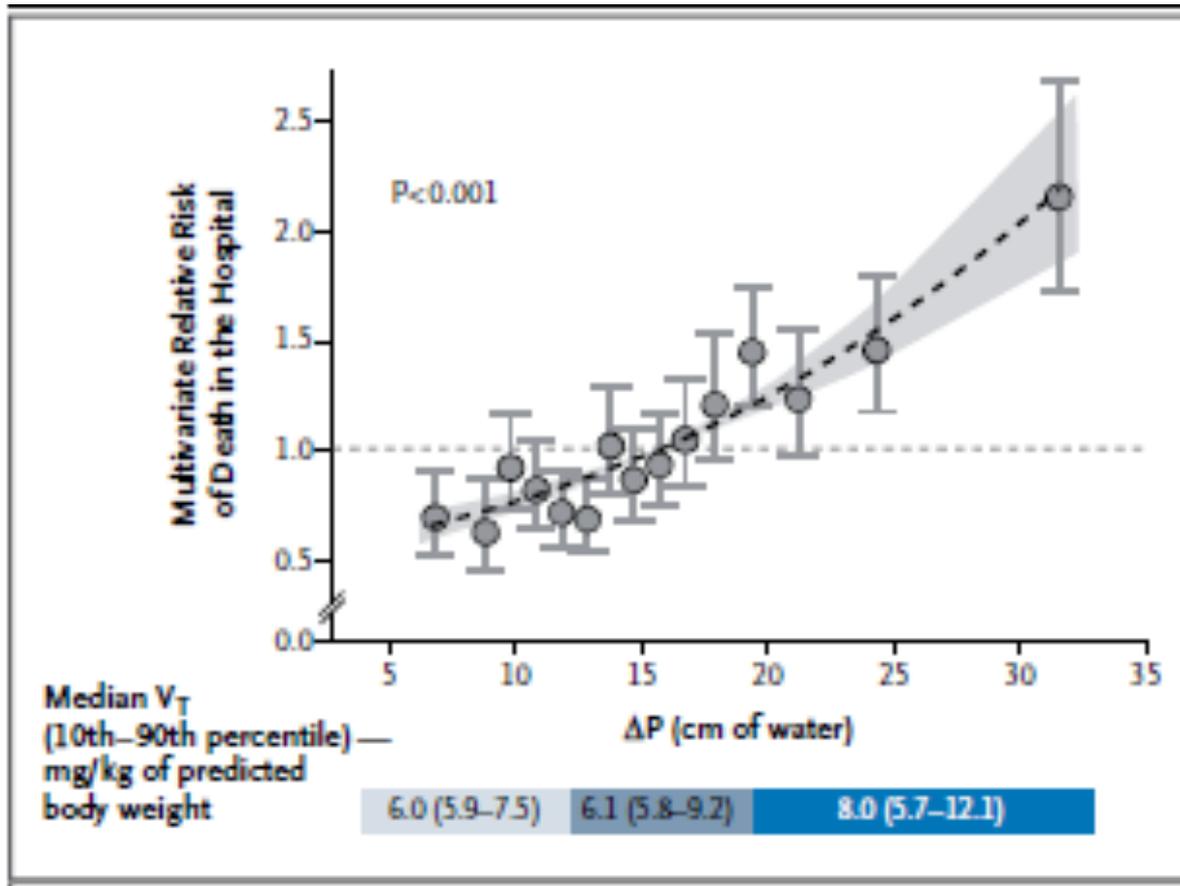


VENTILATION WITH LOWER TIDAL VOLUMES AS COMPARED WITH TRADITIONAL TIDAL VOLUMES FOR ACUTE LUNG INJURY AND THE ACUTE RESPIRATORY DISTRESS SYNDROME

THE ACUTE RESPIRATORY DISTRESS SYNDROME NETWORK*

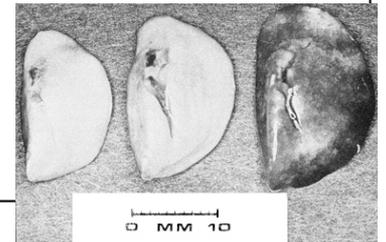
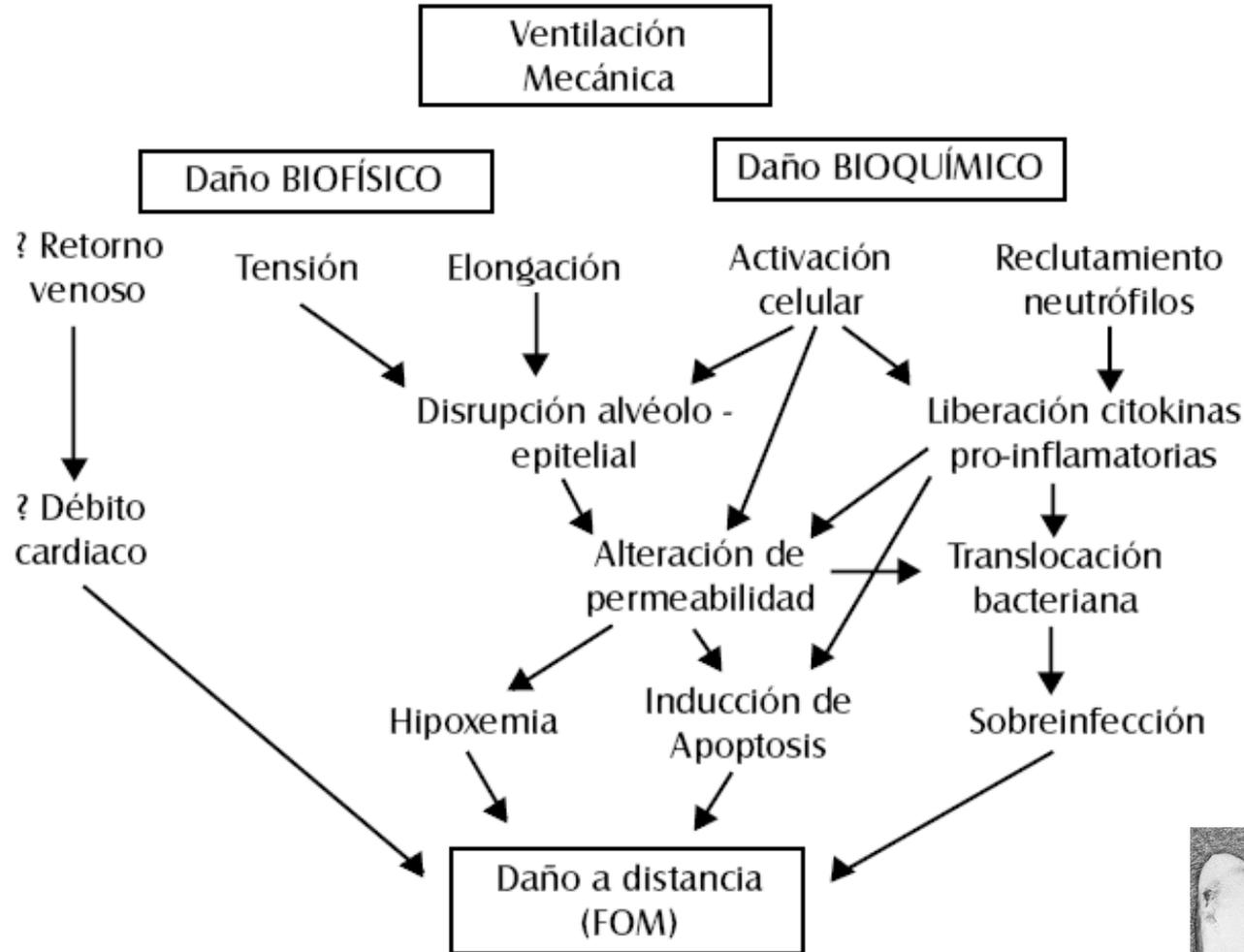
TABLE 4. MAIN OUTCOME VARIABLES.*

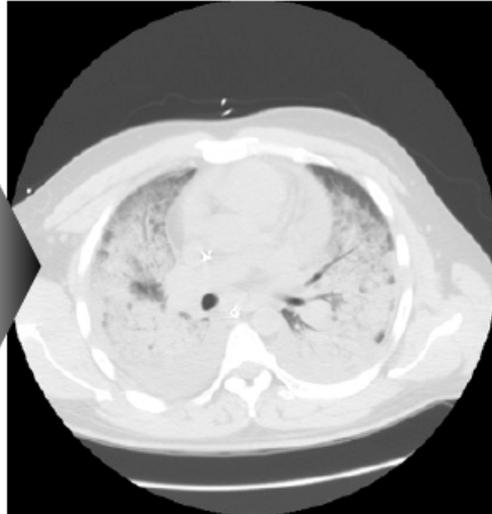
VARIABLE	GROUP RECEIVING LOWER TIDAL VOLUMES	GROUP RECEIVING TRADITIONAL TIDAL VOLUMES	P VALUE
Death before discharge home and breathing without assistance (%)	31.0	39.8	0.007
Breathing without assistance by day 28 (%)	65.7	55.0	<0.001



VM protectora:

- V_t 6 ml/kg , P plateau < 30 cmH₂O
- DP < 15 cmH₂O





Insulto Inicial

- Inflamación
- Aumento permeabilidad
- Pérdida de surfactante

Insultos tardíos

- **VM inadecuada**
- **Exceso de reanimación**
- Persistencia de FiO₂ 0.1
- Decúbito persistente
- Nuevas infecciones
- UPP

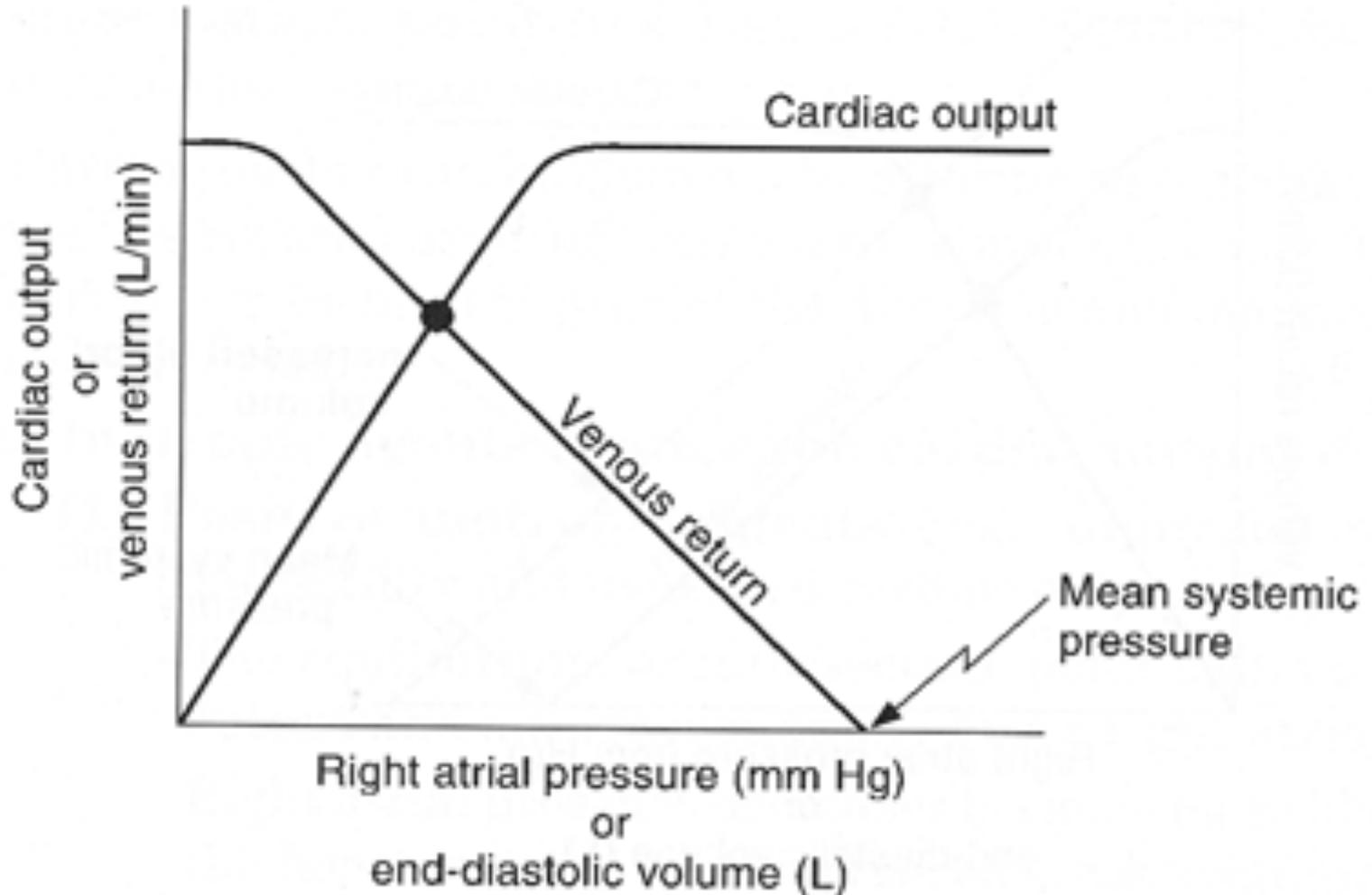
CONCEPTO

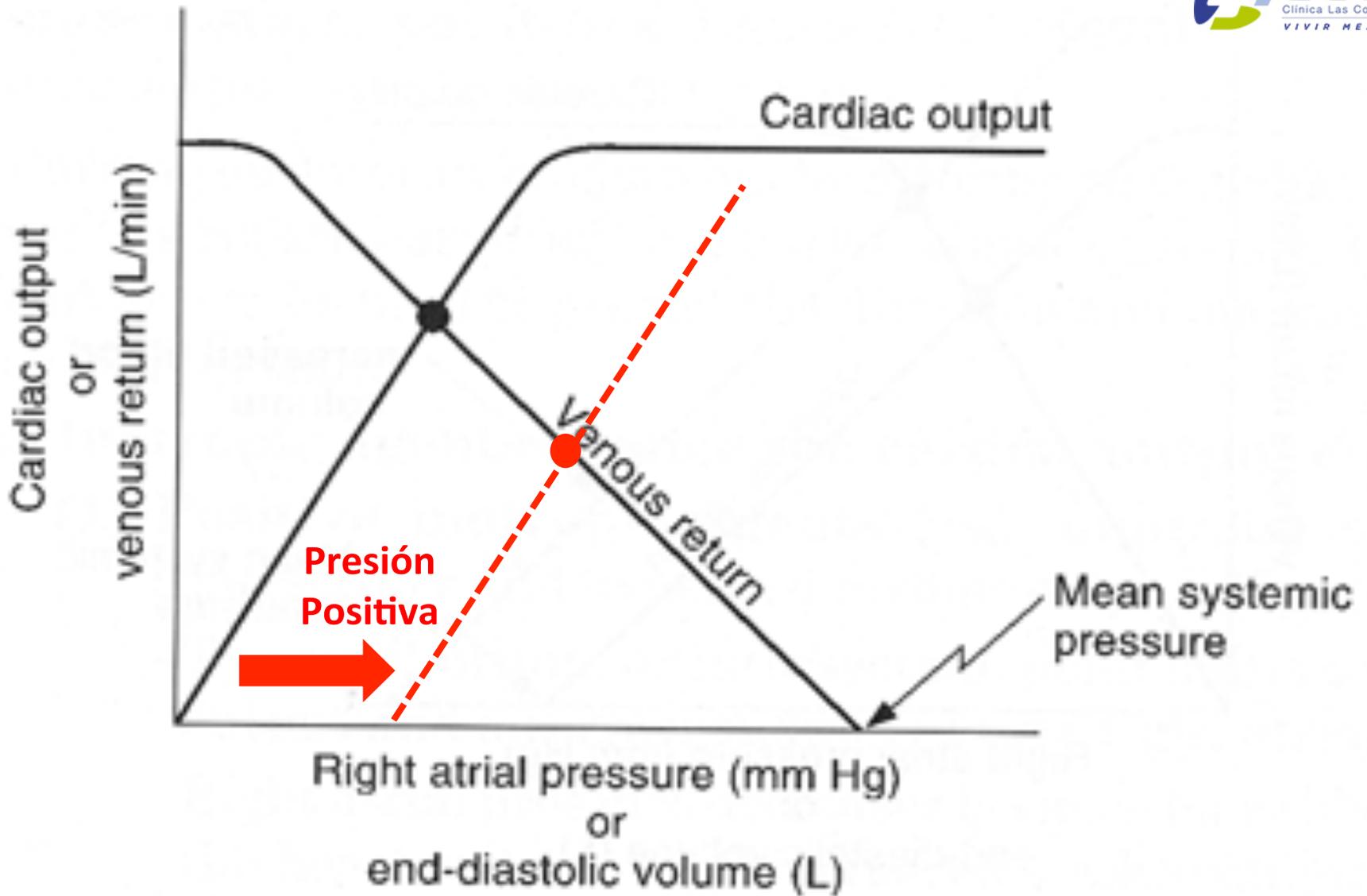
Nuestras terapias influyen en generar más daño.



**Efectos HDN de la VM
tiene utilidad clínica**

Efectos Hemodinámicos de la VM





Efectos HDN de la VM

↑ Presión pleural e intra-torácica

↓ Precarga de VD

↳ Depende de la volemia

↑ Post carga de VD

↓ Volumen eyección de VD

↓ Precarga de VI

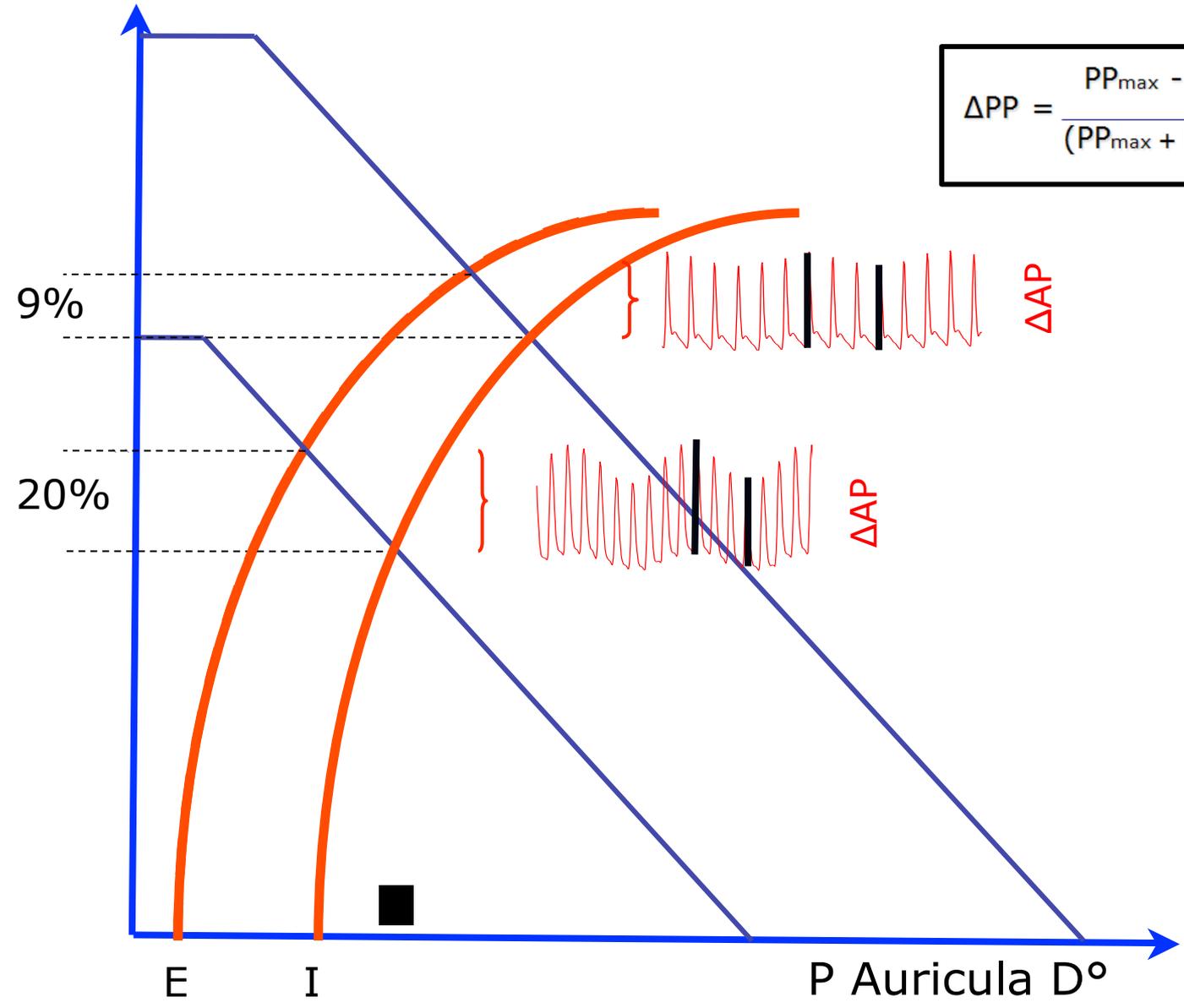
↓ Volumen eyección de VI

Máximo durante
Inspiración

1

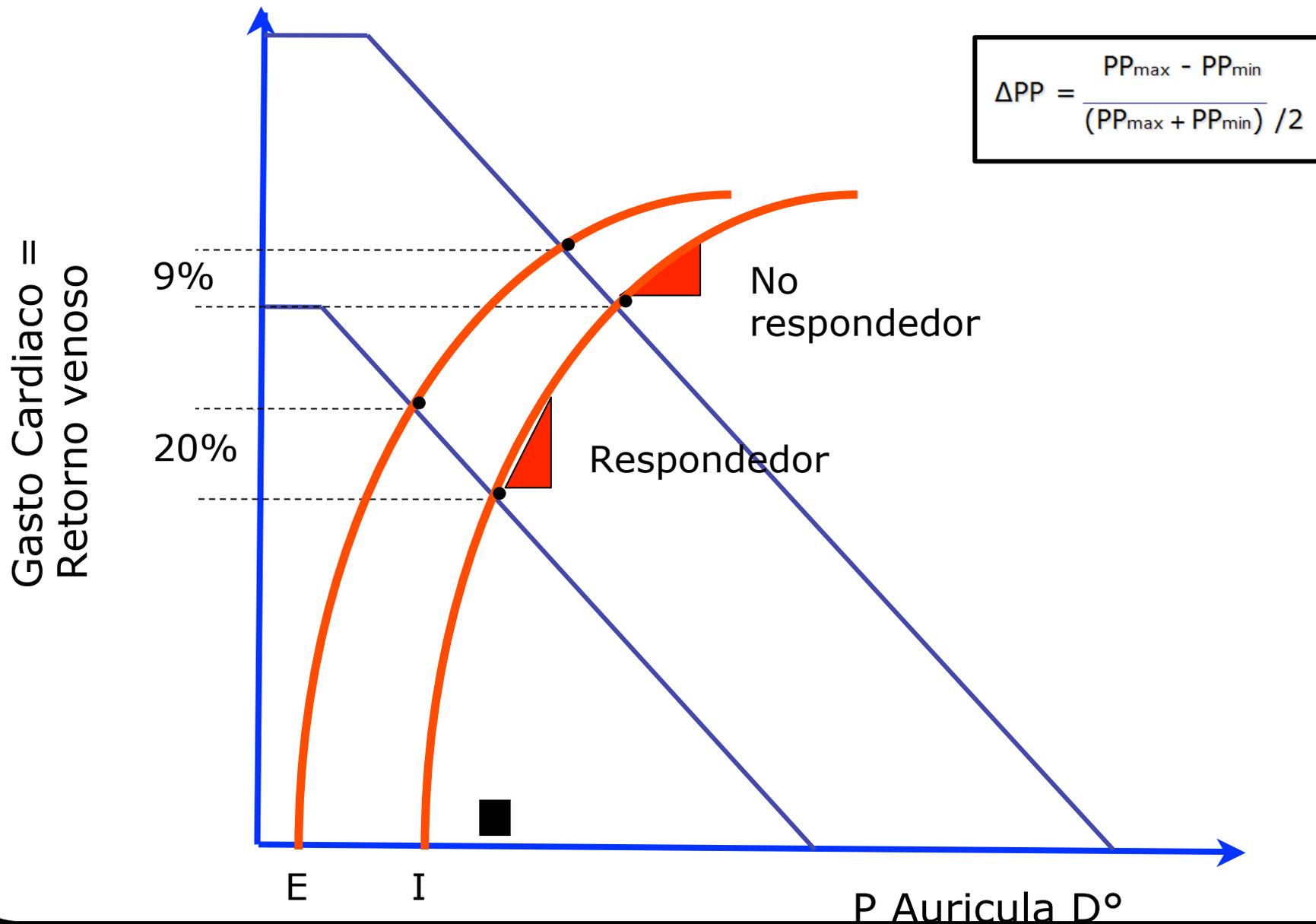
Predicción de respuesta a fluidos

Gasto Cardíaco =
Retorno venoso



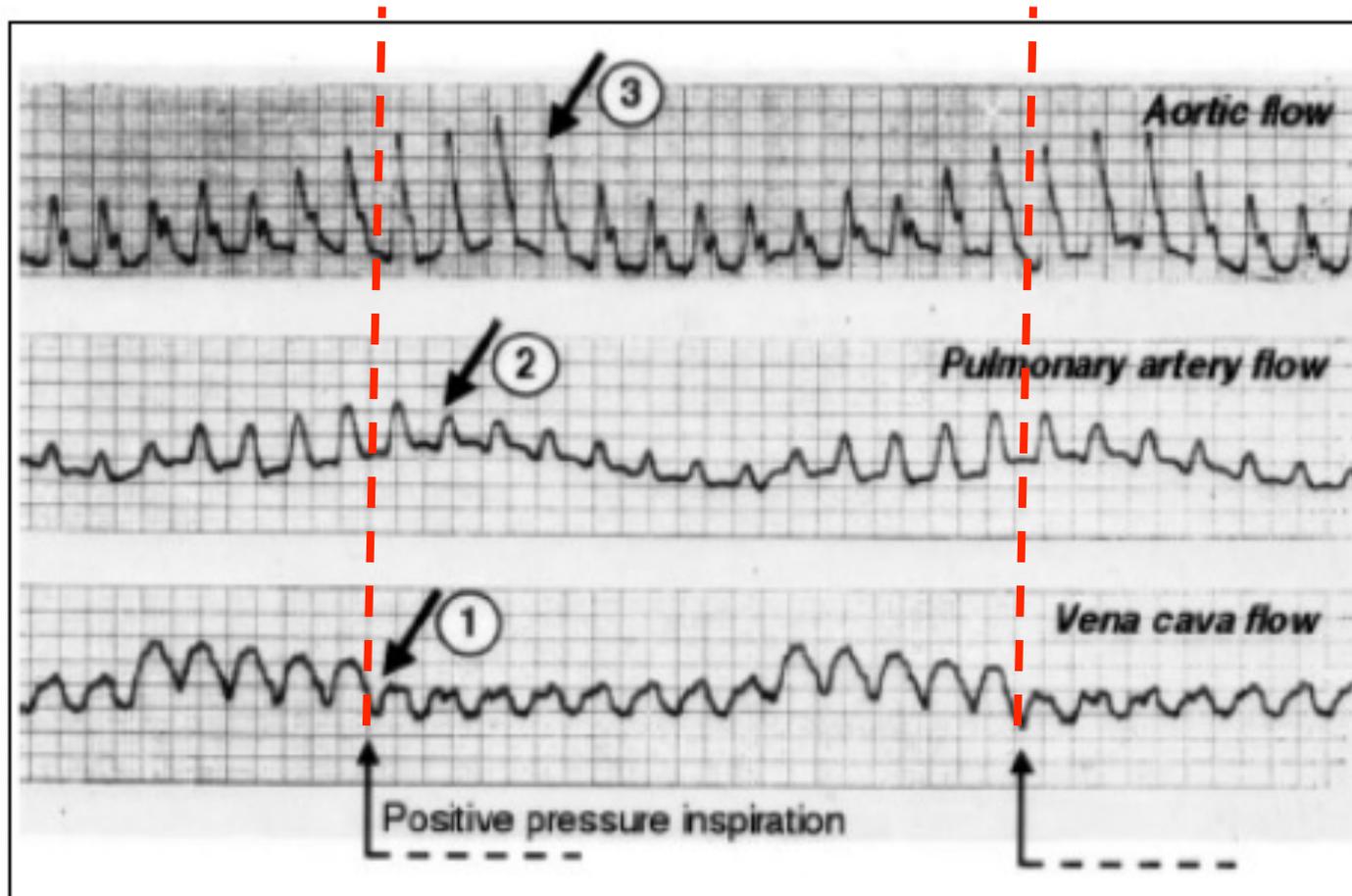
$$\Delta PP = \frac{PP_{\max} - PP_{\min}}{(PP_{\max} + PP_{\min}) / 2}$$

Predicción de respuesta a fluidos



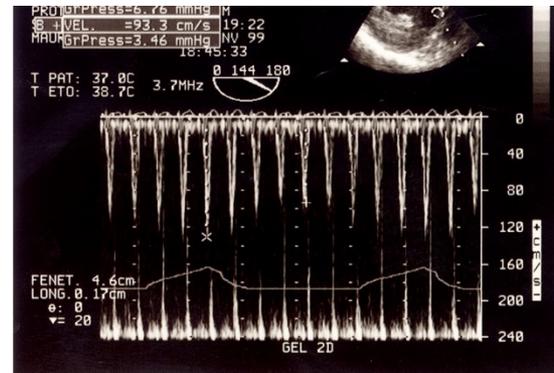
La VM induce cambios cíclicos en la eyección del VI

Dependen del retorno venoso

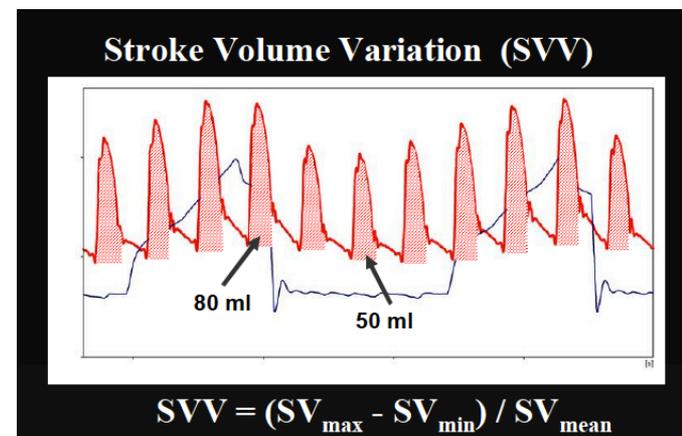


Predictores de respuesta a fluidos...

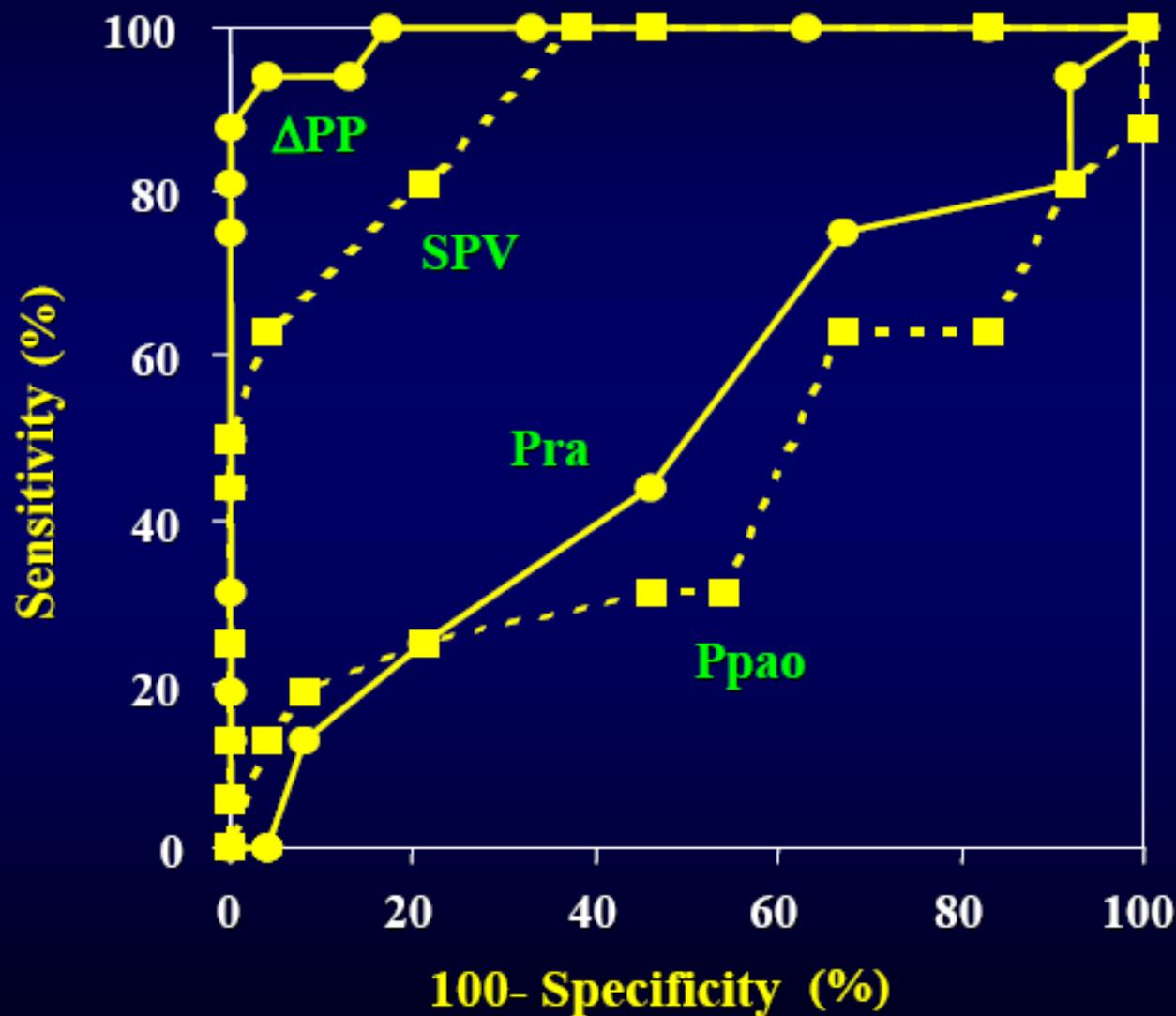
- Delta PP
- Delta de Presión sistólica
- Variación de flujo aórtico (doppler)



- Variación del volumen eyectivo (SVV) → Vigileo

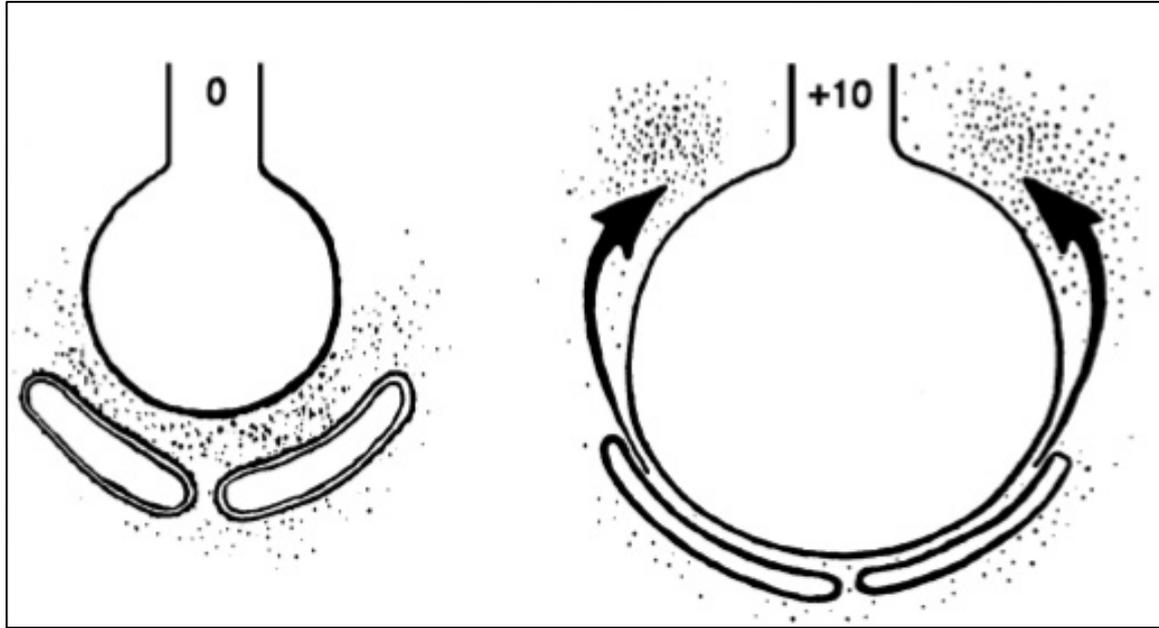


Receiver Operator Characteristic (ROC) Curve for >15% increase in cardiac output to a 500 ml volume challenge



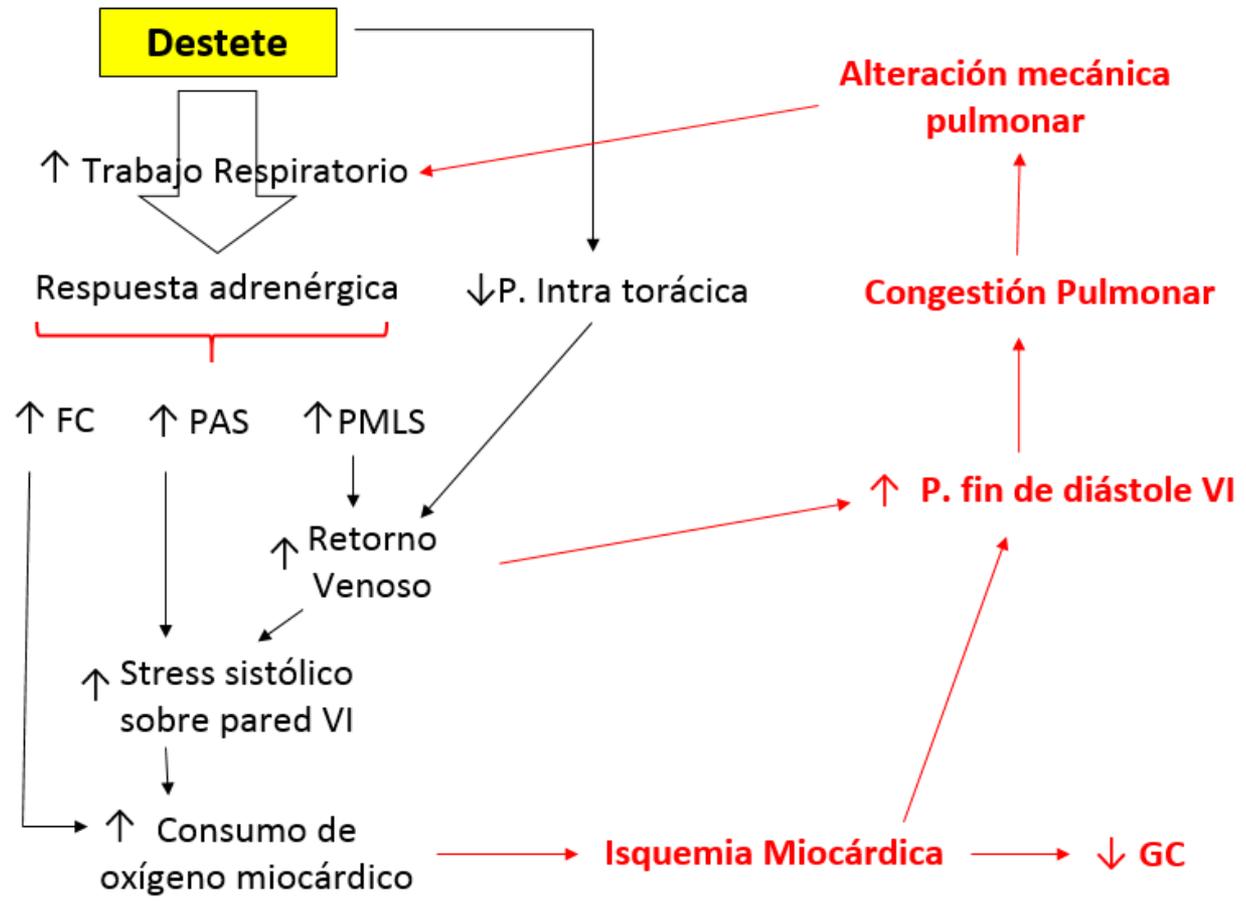
2

Insuficiencia cardiaca



- Descomprime al Ventrículo izquierdo al disminuir el retorno venoso intra-torácico.
- Facilita la eyección del Ventrículo izquierdo.

Weaning



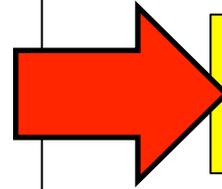
FALLA DE WEANING

Conclusiones

- El equipo de salud que se enfrenta al paciente con Insuficiencia respiratoria debe dominar los conceptos de:
 - Fisiología de la ventilación y perfusión pulmonar y como ambas funciones interactúan en la normalidad.
 - Conocer los mecanismos de Hipoxemia y de hipoventilación.
 - Saber evaluar el trabajo respiratorio y sus componentes.
 - Conocer los mecanismos de acción de la VM y como utilizar la monitorización de la misma.

.... Gracias!

Interacción de la VM y la fisiología pulmonar II



ESPACIO MUERTO

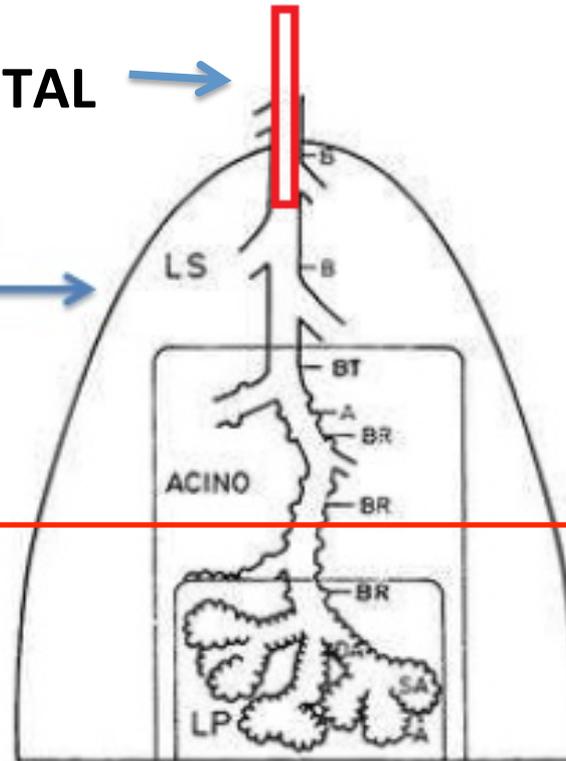
•ESPACIO MUERTO INSTRUMENTAL



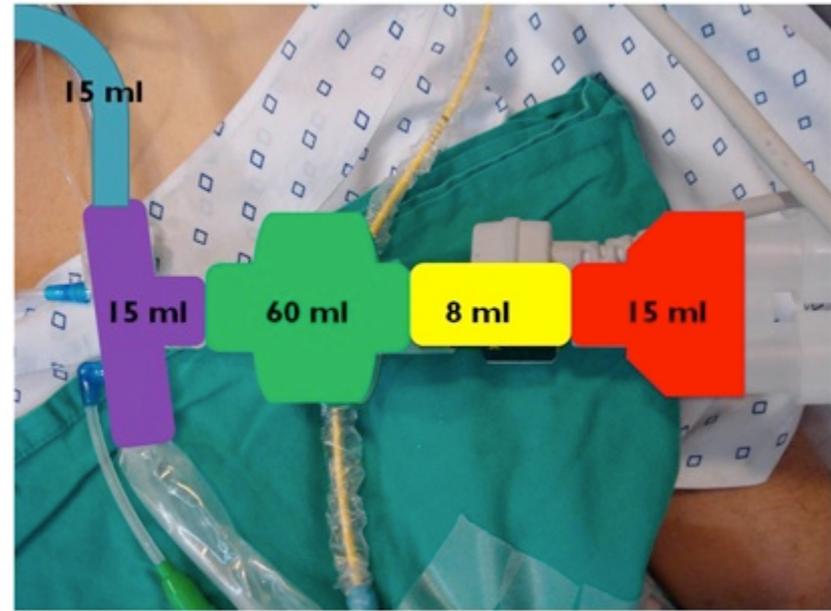
•Vías respiratorias de conducción
ESPACIO MUERTO ANATÓMICO



•Región pulmonar con alvéolos
ZONA RESPIRATORIA



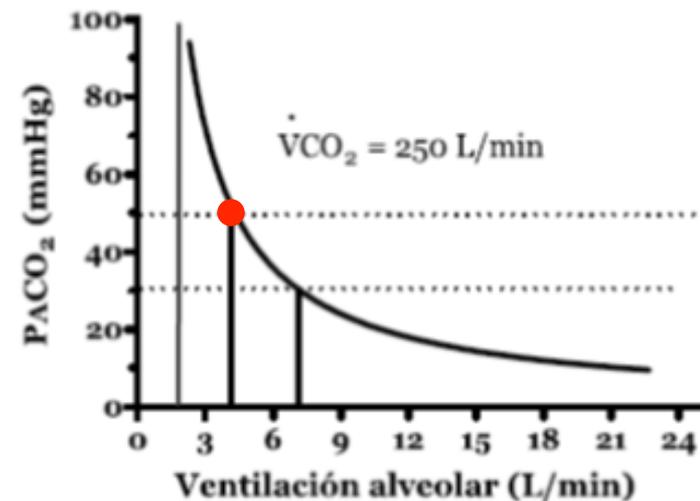
Espacio Muerto Anatómico



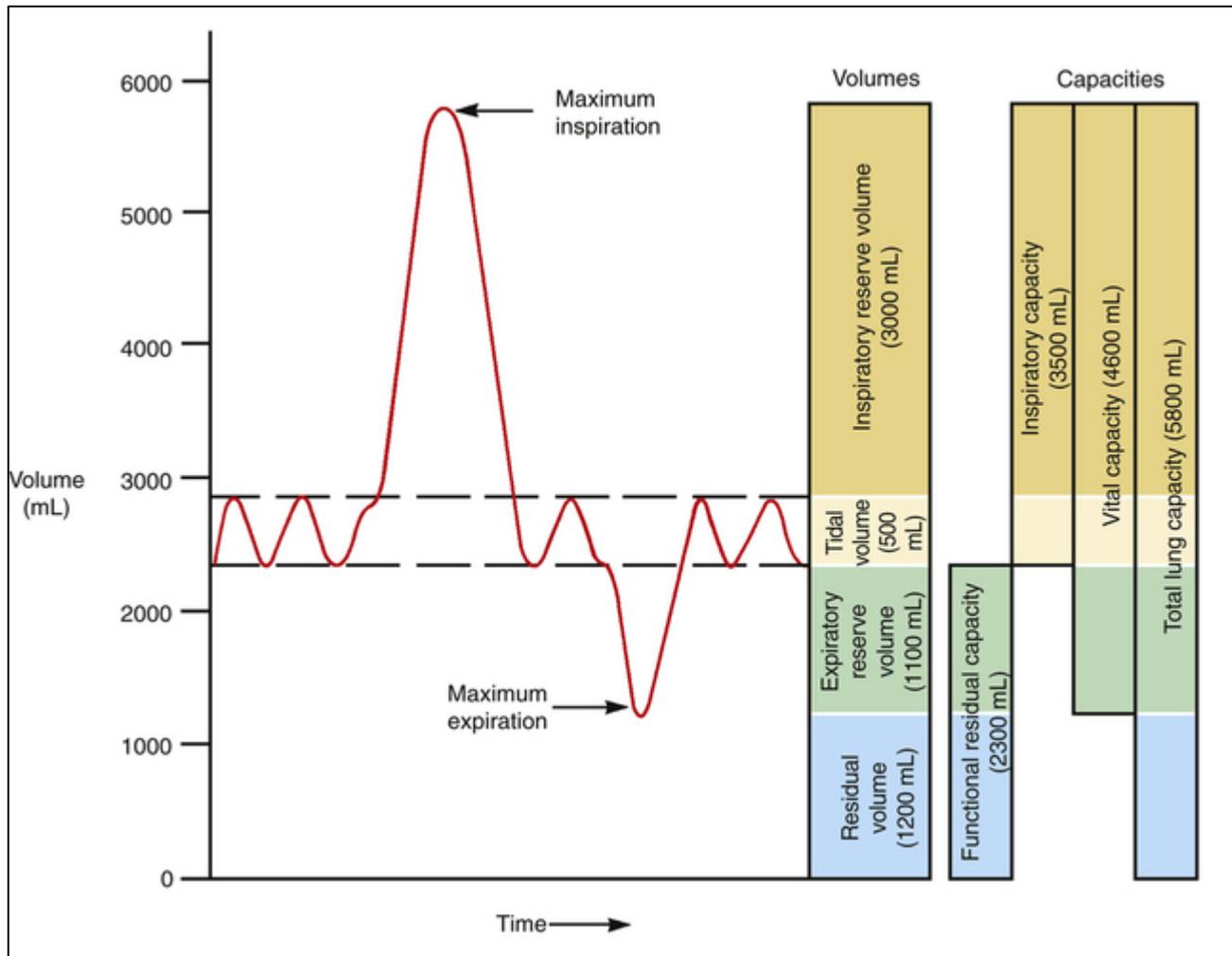
Hipoventilación

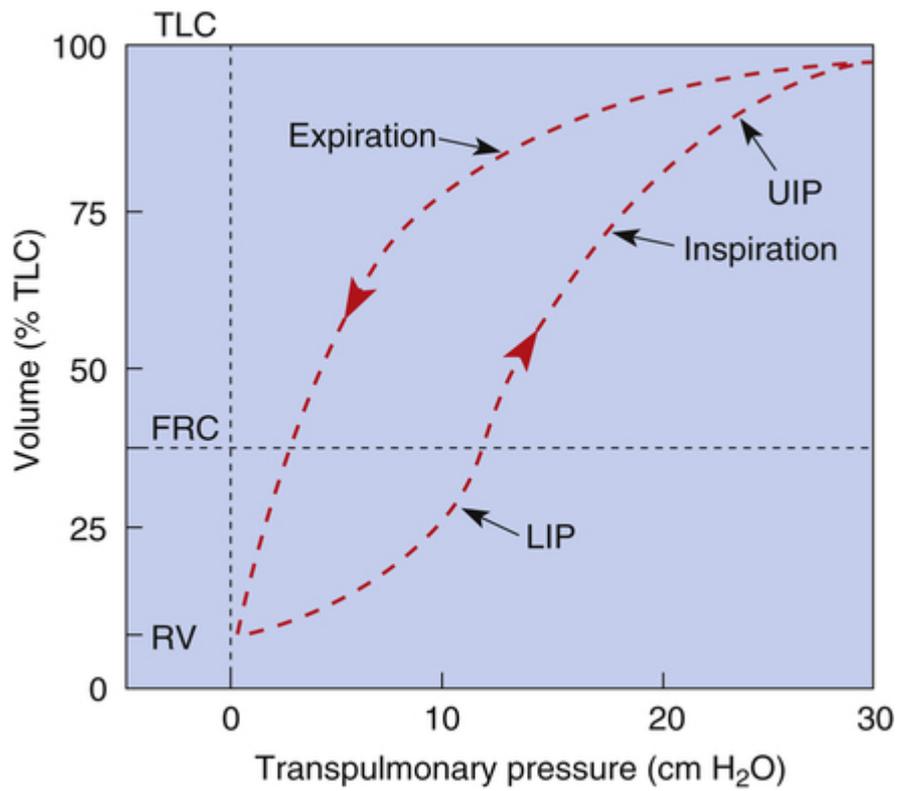
V_T	V_D	V_A	\dot{V}_A
500	150	350	7.0
450	150	300	6.0
400	150	250	5.0
350	150	200	4.0
300	150	150	3.0
250	150	100	2.0
200	150	50	1.0

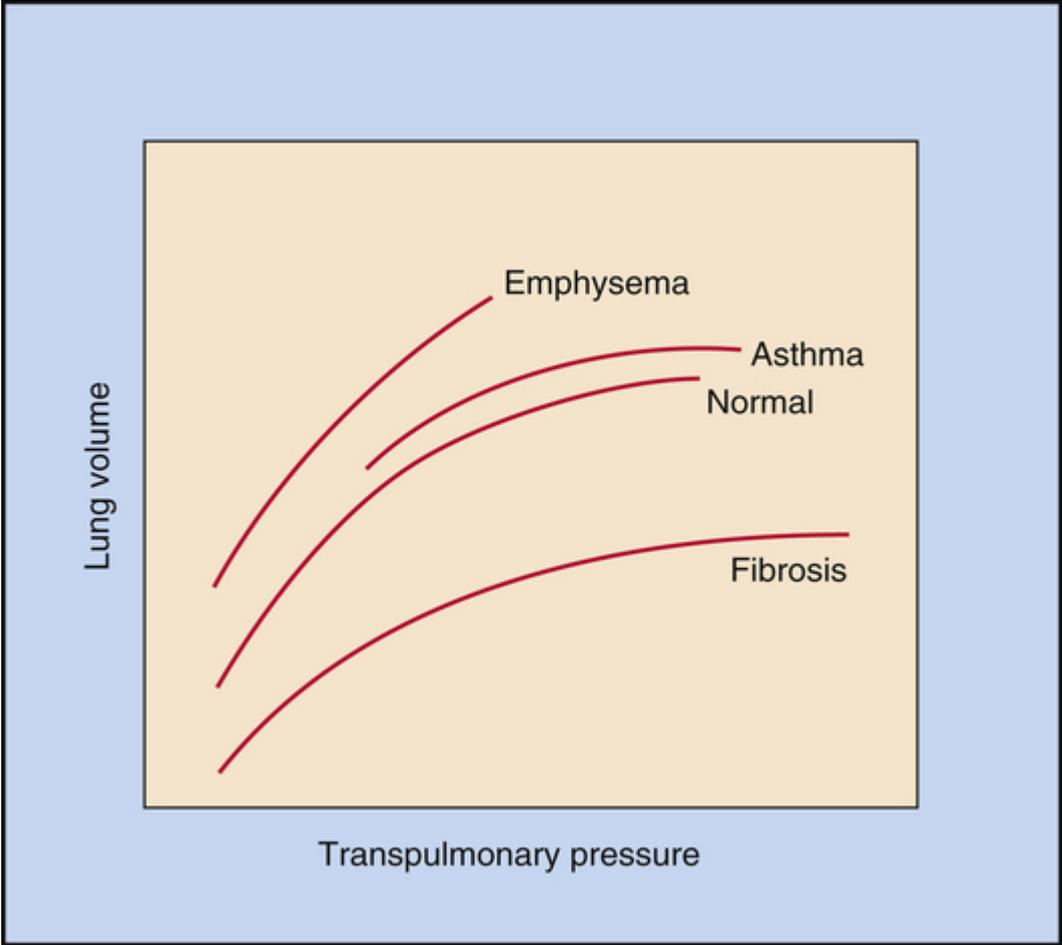
$f_r = 20$ r/min

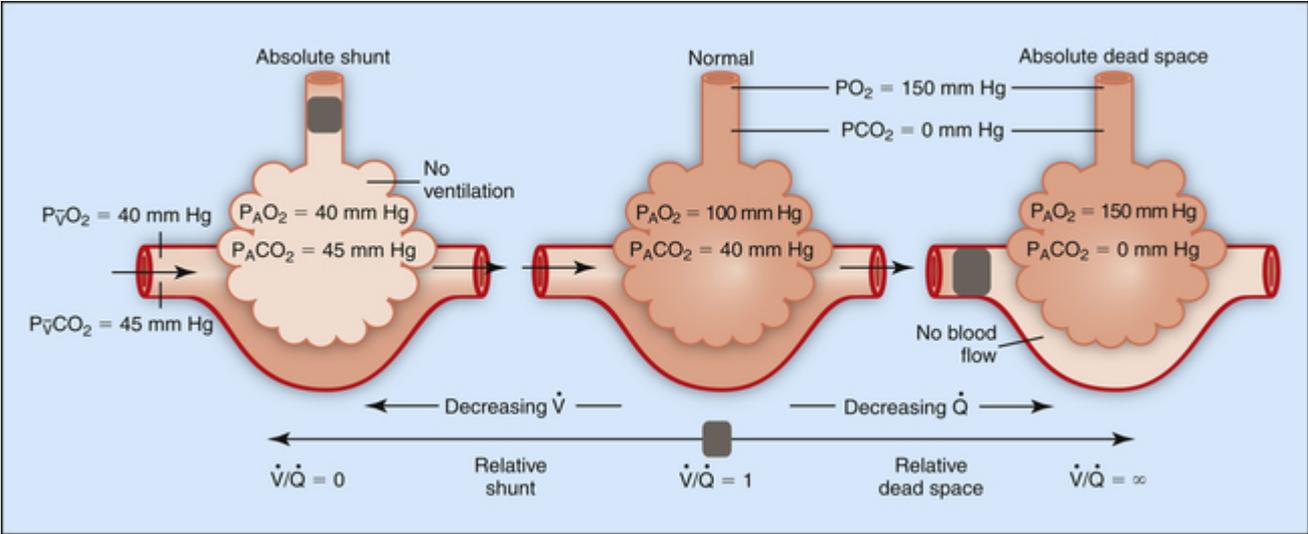


SDRA severo, mujer 58 kg, $V_c = 350$ ml

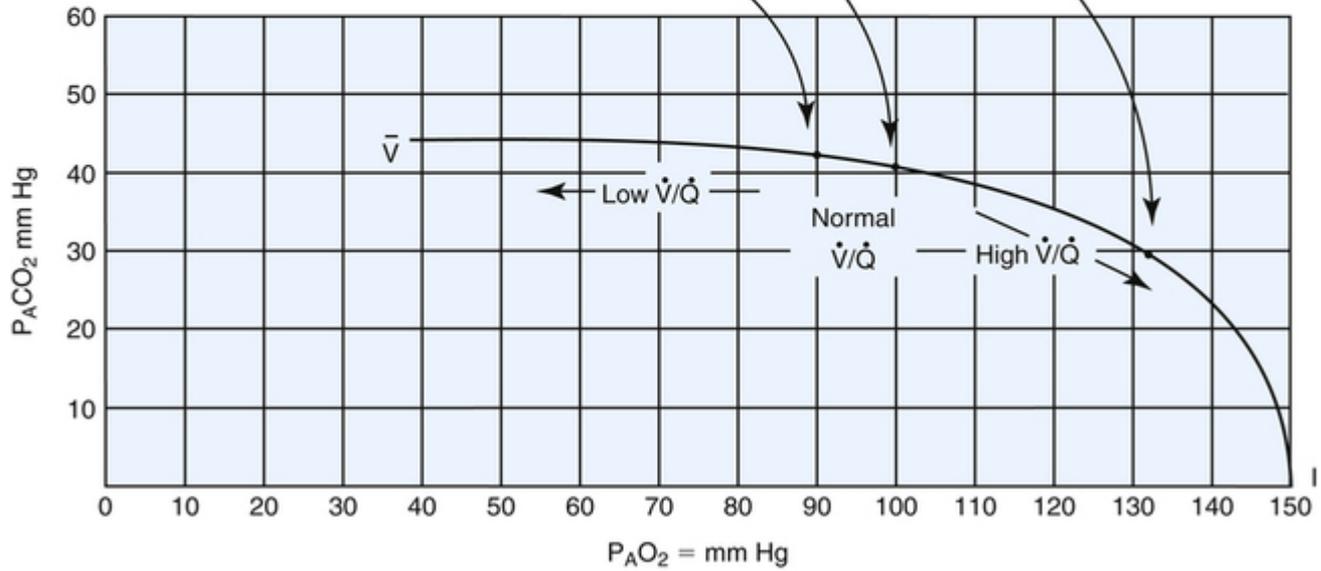




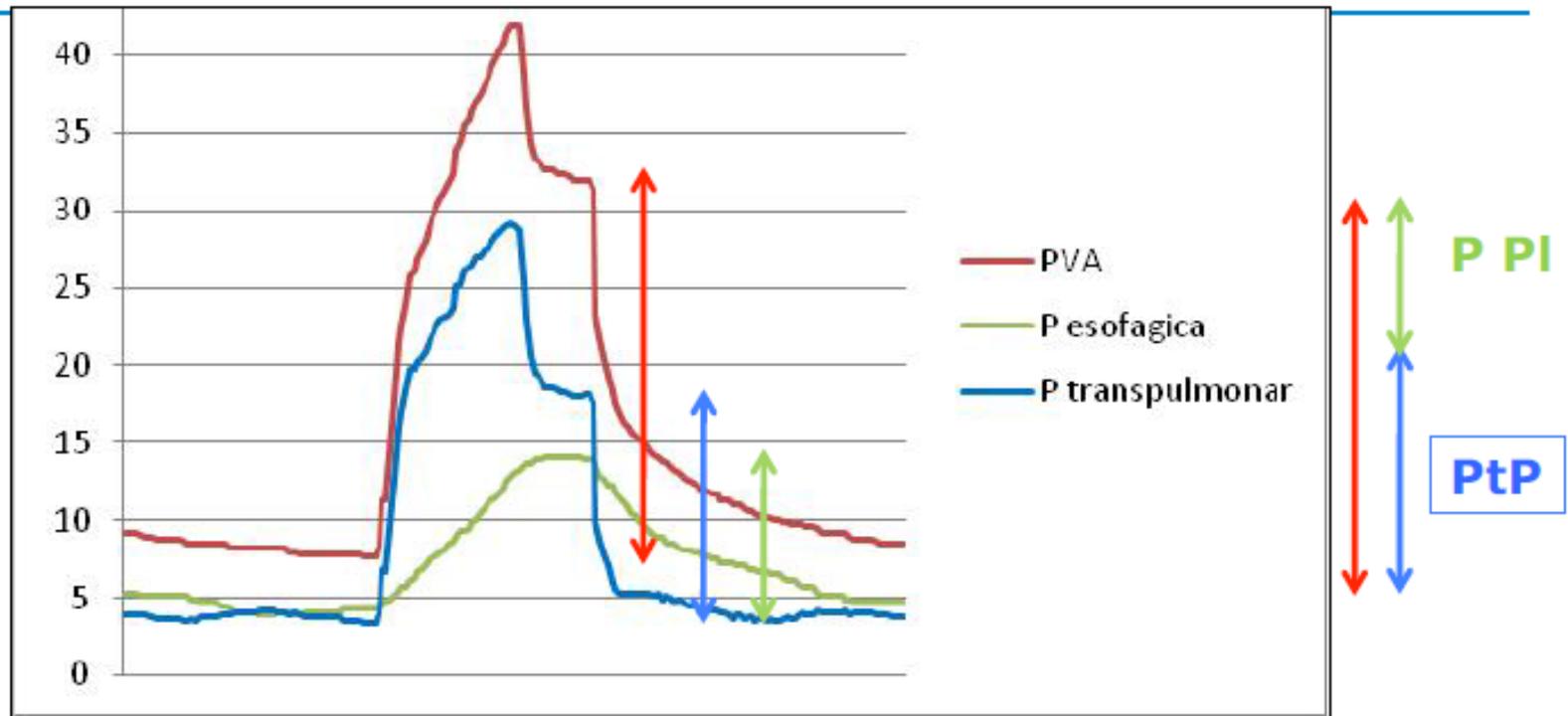




\dot{V}/\dot{Q}	$P_{A}O_2$	$P_{A}CO_2$
3.3	132	28
1.0	100	40
0.6	89	42

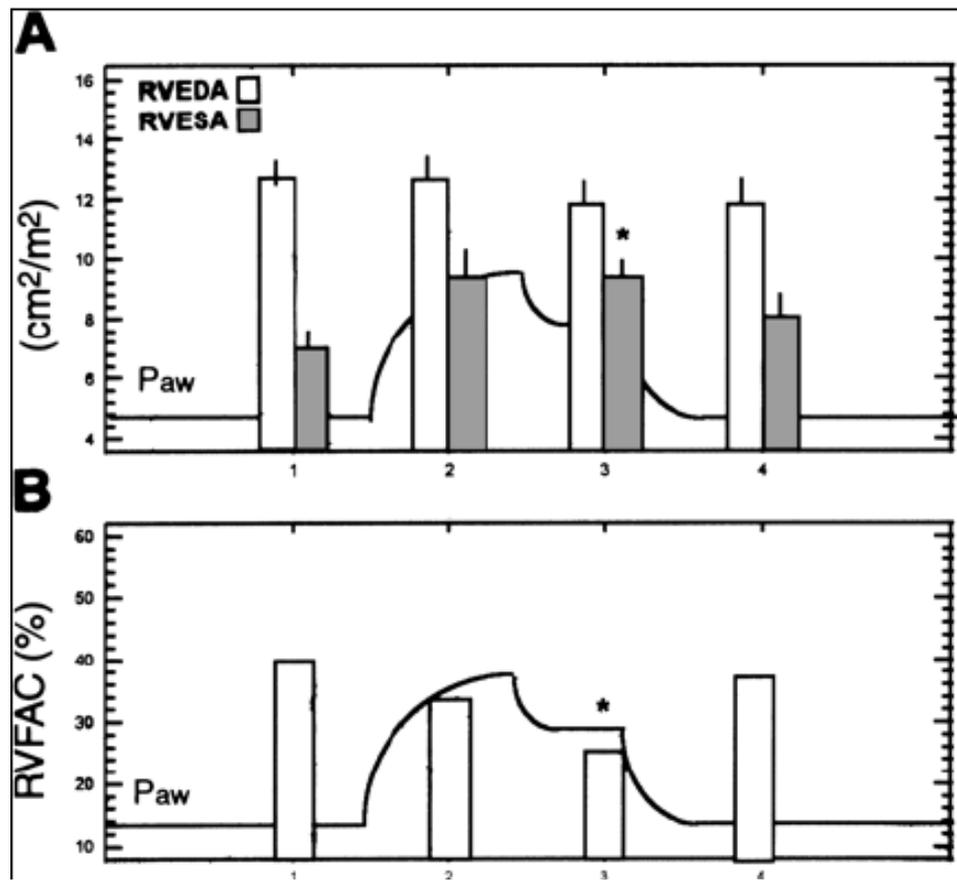


Presión intratorácica (PIT) y Presión transpulmonar (PtP)



PVA = Presión de vía aérea = P alveolar (estático)
P esofágica \approx P Pleural = Presión intratorácica
P transpulmonar (PtP) = P alveolar - P Pleural
PtP varía proporcionalmente al volumen pulmonar
PVA \approx P alveolar = PtP + P Pleural

Presion positiva y poscarga del ventriculo derecho



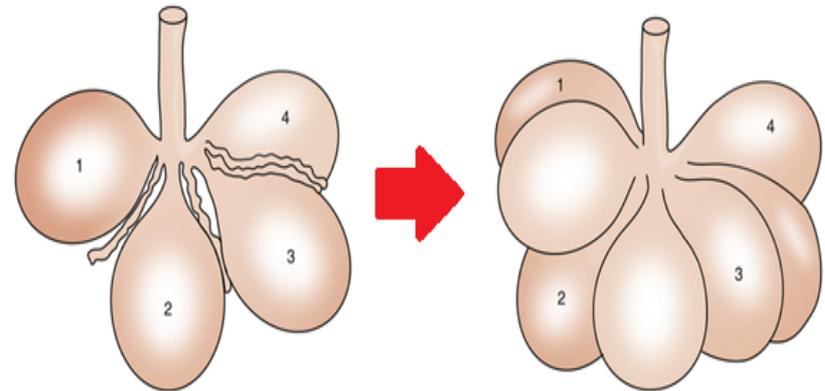
El aumento de la PVA induce una disminución de la FE del VD por aumento de poscarga (>RVP)

Objetivos de la VM

• IRA Hipoxémica

➔ **Reclutar alveolos**

- Disminuir el trabajo respiratorio
- Mejorar el intercambio (oxigenación)



• IRA Hipercárbica

➔ **Sostener la Ventilación**

- En EPOC además mejorar la fase espiratoria