

Lección 37

- **Propiedades mecánicas dinámicas del pulmón y caja torácica.**
- **Resistencias al flujo de aire: distribución a lo largo de la vía aérea.**
- **Efectos del volumen pulmonar y tono bronquial.**
- **Dinámica del ciclo ventilatorio.**
- **Medida de las resistencias en la vía aérea.**
- **Compresión dinámica de la vía aérea. Estudio de las curvas flujo respiratorio-volumen pulmonar y flujo respiratorio-presión pleural.**
- **Trabajo respiratorio. (x2)**

Resistencias al llenado del pulmón

$$= R \text{ estáticas} \quad + \quad R \text{ dinámicas}$$

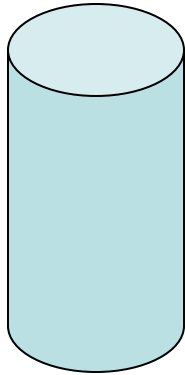
Retracción		Fricción tisular (10-20%)
Tensión superficial		Vía aérea (80-90%)

Resistencias al Flujo de la vía aérea

Teóricos en tubos rígidos

$$R = \frac{\Delta P}{\dot{V}}$$

$$= \frac{P1 - P2}{\dot{V}}$$

$$\dot{V} = \frac{\Delta P}{R}$$


En serie

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

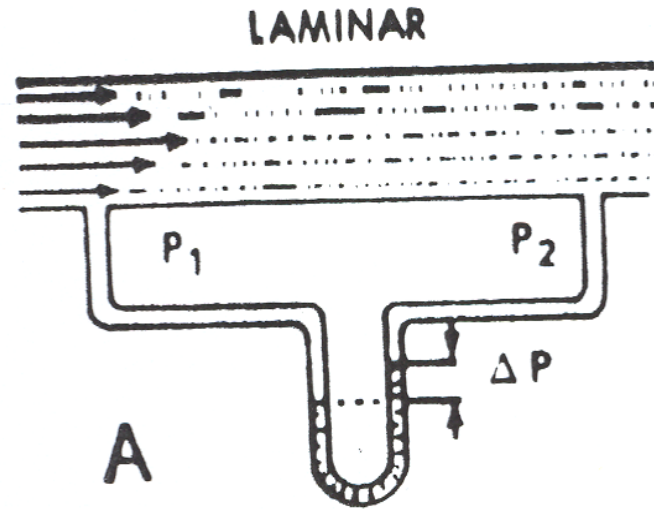
En paralelo

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Apto Respi. (especial)

- Ramificaciones
- Estrecheces
- Conductos no rígidos

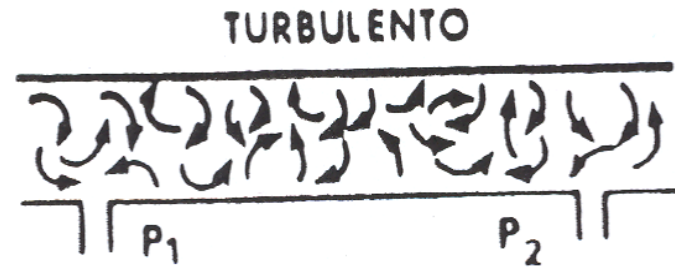
Tipos de flujo



A

$$\Delta P \propto R V^0$$

$$R = 8 \eta l / \pi r^4$$

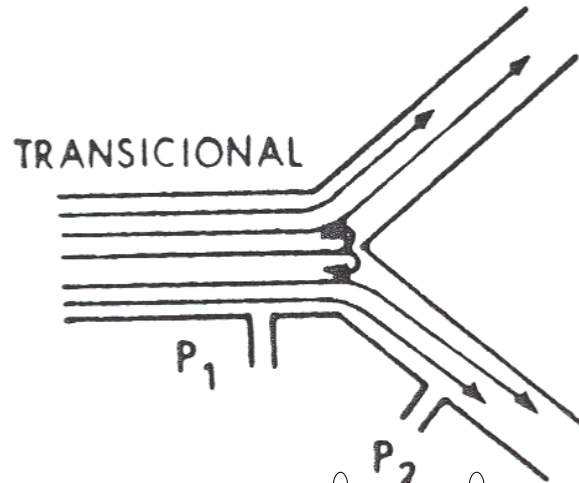


$$\Delta P \propto K V^2$$

C

$$Re > 2000$$

$$Re = \rho v l D / \eta$$



B

$$\Delta P \propto R V^0 + K V^2$$

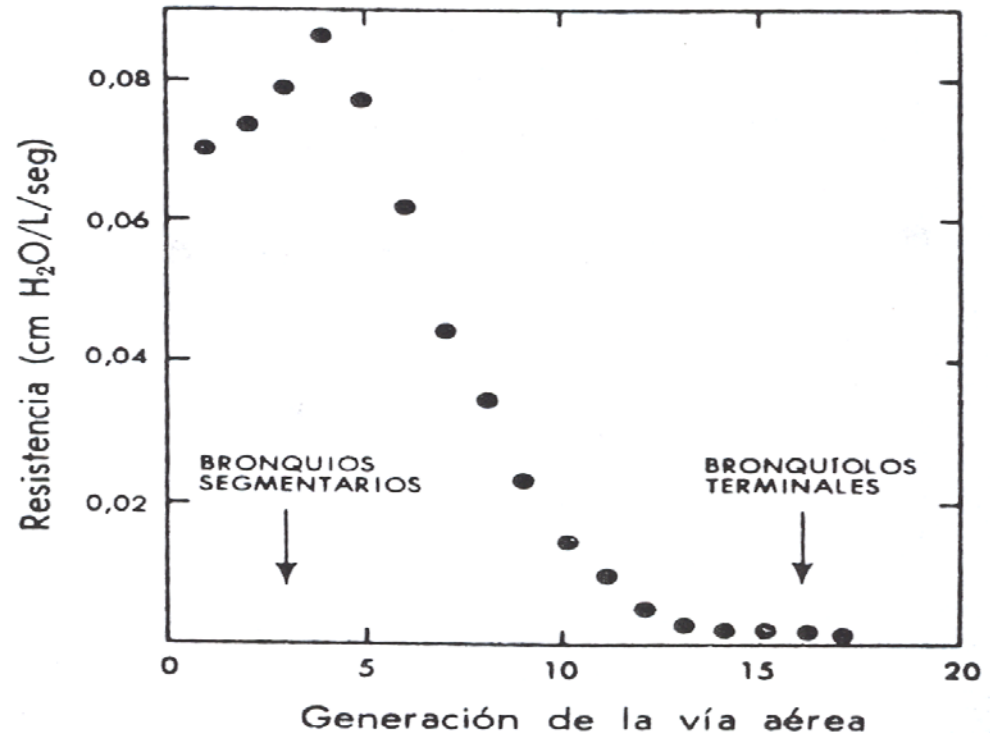
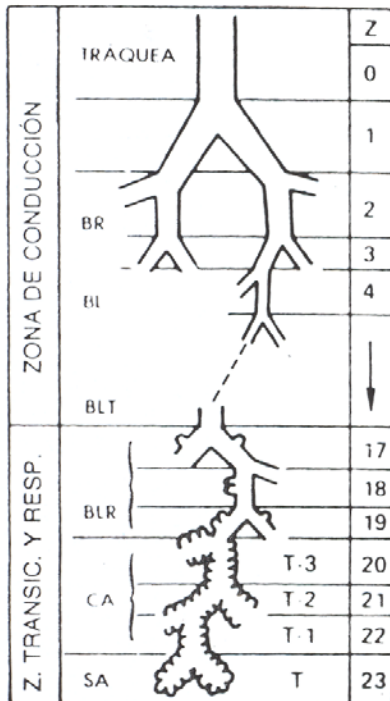
$$v_l = \dot{V} / \text{Area total}$$

Distribución de tipos de flujo y resistencias en la vía aérea

Vías	altas	medias	distales
Flujo	turbulento	transicional	Laminar $\downarrow V_1$
Resistencias	40%	50%	10% **

$$V_1 = \dot{V} / A_t$$

** regulable

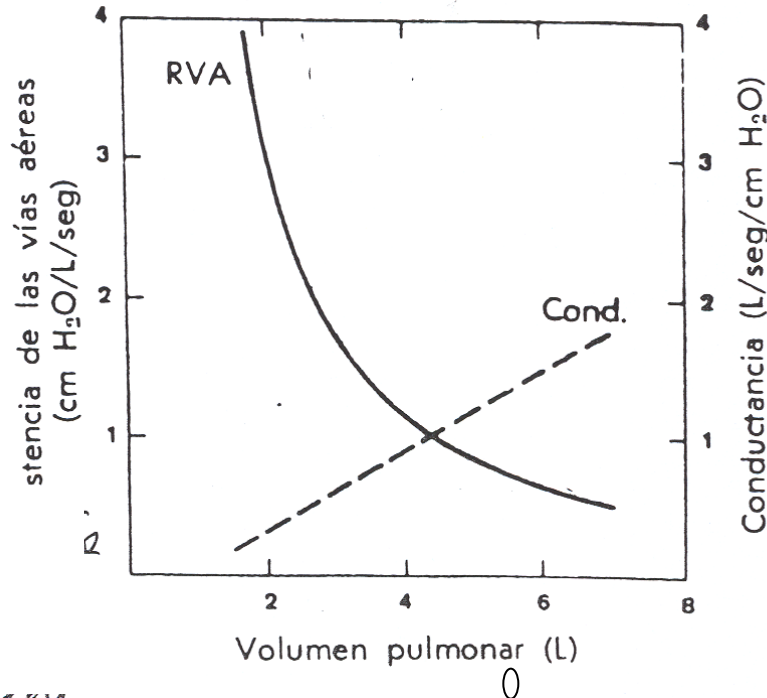


Factores que determinan las resistencias de las vías aéreas

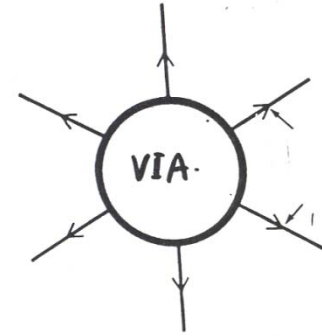
1. Modificando radio

- Contracción de musc bronquial
- Volumen pulmonar:

Psimpático: contracción, secreción
Simpático: dilatación
· sust. irritantes (reflejos locales)
Histamina, PGE, etc.,



- Tracción alveolar
- $\uparrow P_{tm}$ ($\downarrow P_{pl}$)



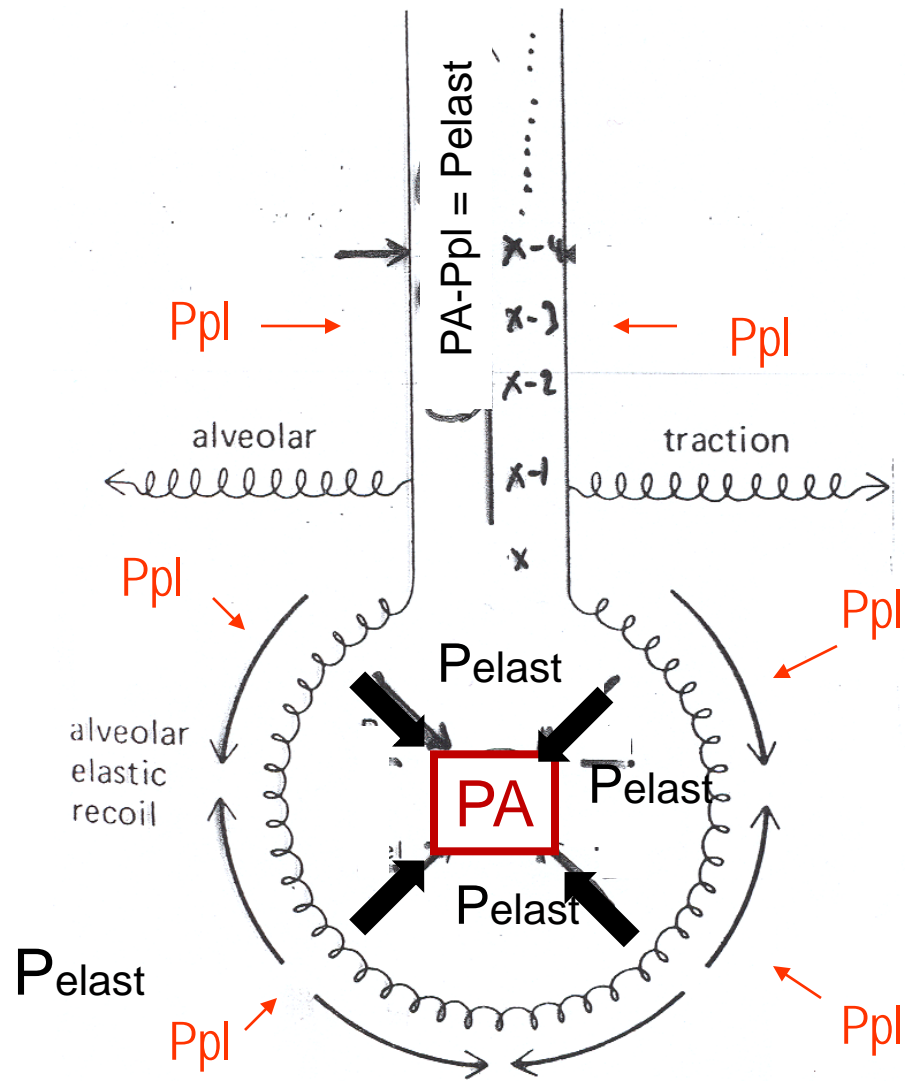
Afecta vías de pequeño calibre:

- no cartílagos
- más afectadas por tracción
- estiramiento \downarrow Psimpático

2. Transformando V laminar en turbulento

Densidad, viscosidad y V_1

Compresión dinámica de la vía aérea : RVA durante la espiración forzada



Modelo alveolo-vía aérea:

- 1.- Alveolo y vía aérea igual **Ppl**
- 2.- PA = Ppl + Pelástica

↓
 {compliance
 Vp

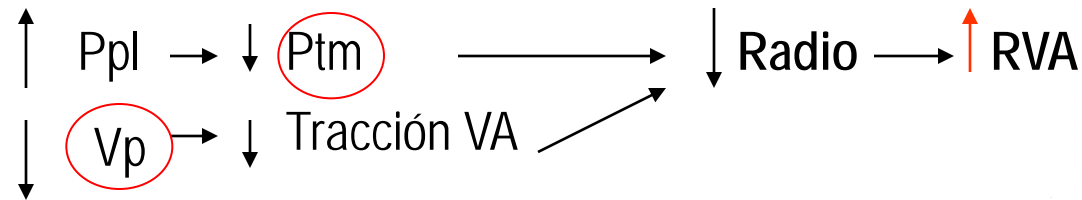
3.- ↓ Pva

4.- Existe V° { -PA ≠ PB (ΔP)
 y ΔP > RVA (Vía permeable)

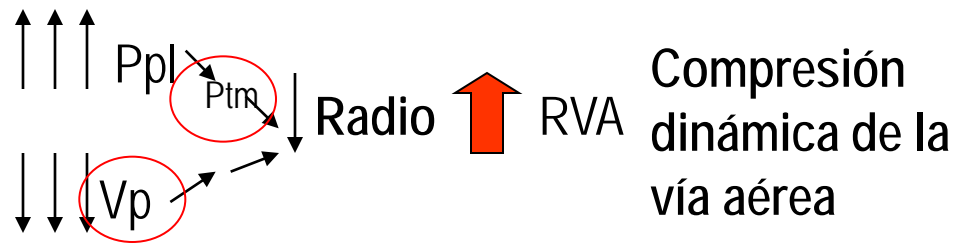
↓
 { Ptm
 Vpulm (tracción vía aérea)
 *otros

Vía aérea y ciclo ventilatorio

1.- Espiración normal

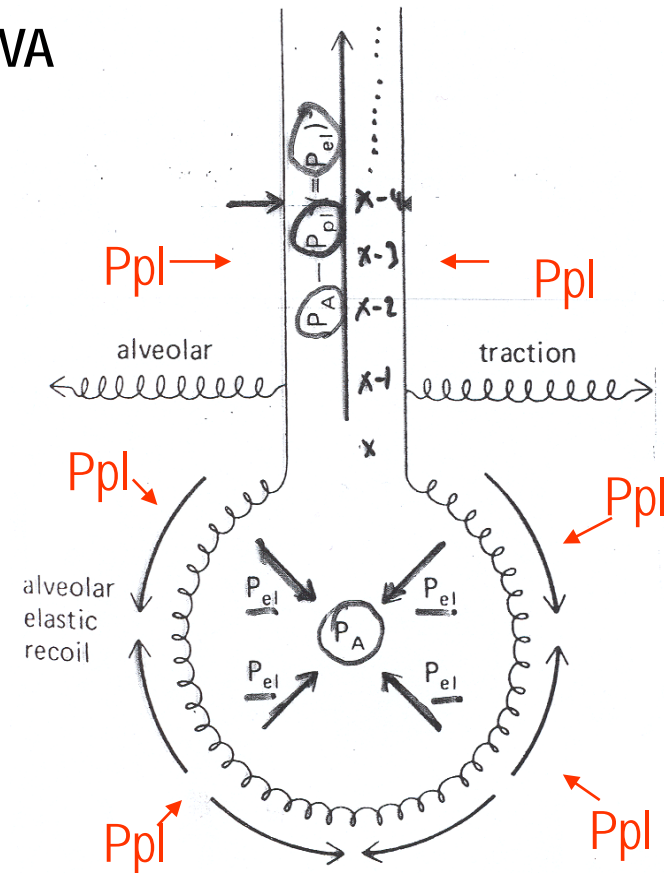


2.- Espiración Forzada



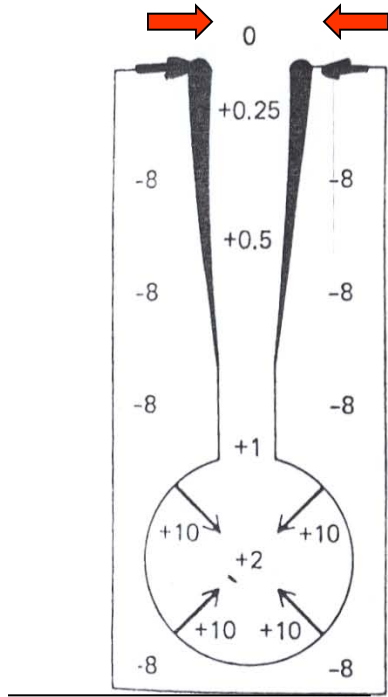
Hipótesis del PIP (punto de igual presión)

$$\text{PIP}; P_{tm} \text{ vía aérea} = P_{va} - P_{pl} = 0$$

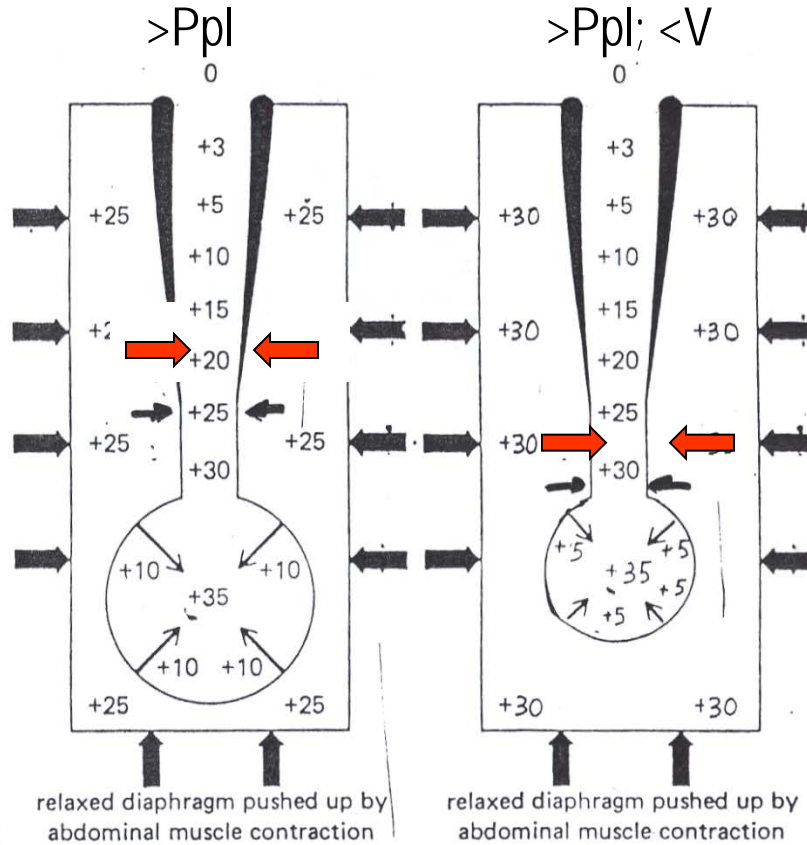


Punto de igual presión (PIP); Ptm vía aérea = 0

$$PA = P_{pl} + P_{elástica} \quad (\text{compliance, } V_p)$$



Durante
Espiración pasiva



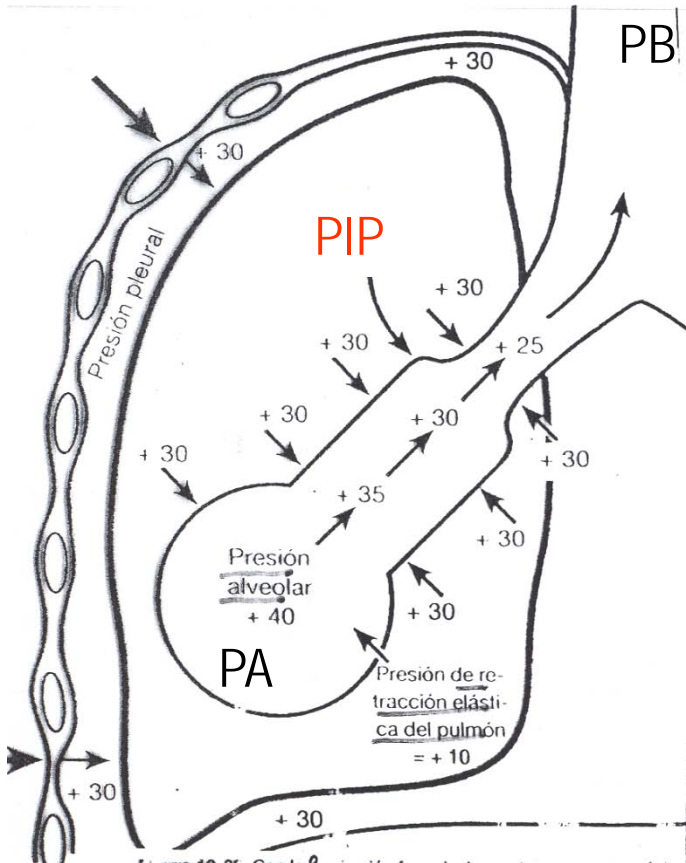
Espiración forzada

PIP en vías comprimibles → **compresión dinámica**

Factores que modifican la localización del PIP

- 1.- Resistencia de la vía aérea (caída de presión)1/ tracción alveolar
- 2.- Presión pleural
- 3.- Presión de retracción o elástica

{	-volumen pulmonar	{	- elasticidad tisular
	-complianza pulmonar		- tensión superficial



Conclusiones:

- 1) Existe \dot{V} en espiración $PA > PB$
- 2) Si PIP en vías comprimibles

→ Compresión dinámica

$$\dot{V} = \frac{PA - P_{pl}}{R} = \frac{\text{Pretracción}}{R}$$

{ Independiente P_{pl}
dependiente Pretracción

- 3) Si $P_{retracción} \downarrow$, $PIP \downarrow \rightarrow$ oclusión $\rightarrow VR$

Compresión dinámica y patrones patológicos

Obstrucción

Enfisema { ↑ RVA
destrucción
tejido pulmonar

↑ **Complianza pulmonar**

{ ↓ PIP
{ ↑ RVA
↑ VR

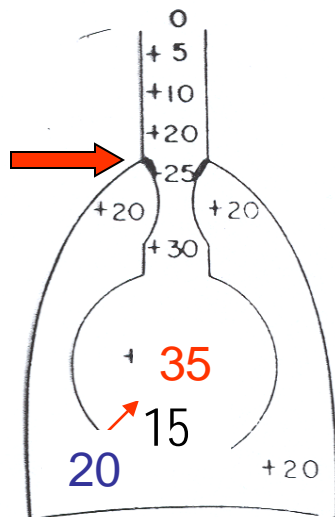
Restricción

fibrosis

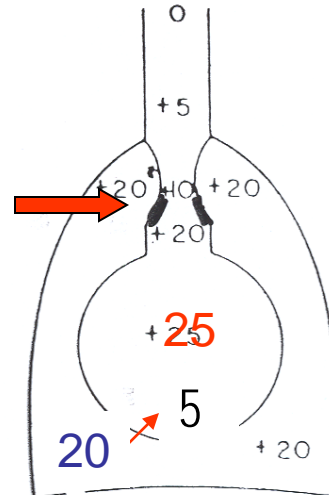
↓ **Complianza pulmonar**

{ ↑ PIP
{ ↓ RVA
↓ VR

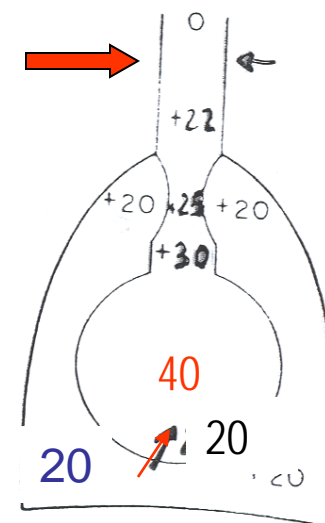
Normal



Obstrucción



Restricción



Medida de la resistencia de la vía aérea

1. Métodos directos

$$R = \Delta P / \dot{V} = (PA - PB) / \dot{V}$$

PA – Presión Alveolar

PB - Presión Barométrica

	\dot{V}	PA - PB	R
½ insp	0,5 l/seg	-0,8 cm H ₂ O	1,6 l/seg/cm H ₂ O
½ esp	0,5 l/seg	1,2 8cm H ₂ O	2,4 l/seg/cm H ₂ O

2. Métodos indirectos (espirometría dinámica)

Capacidad vital forzada: estimaciones a partir de flujo espiratorio máximo

$$\dot{V} = V/t$$

$$\rightarrow Pte = \dot{V} \alpha RVA$$

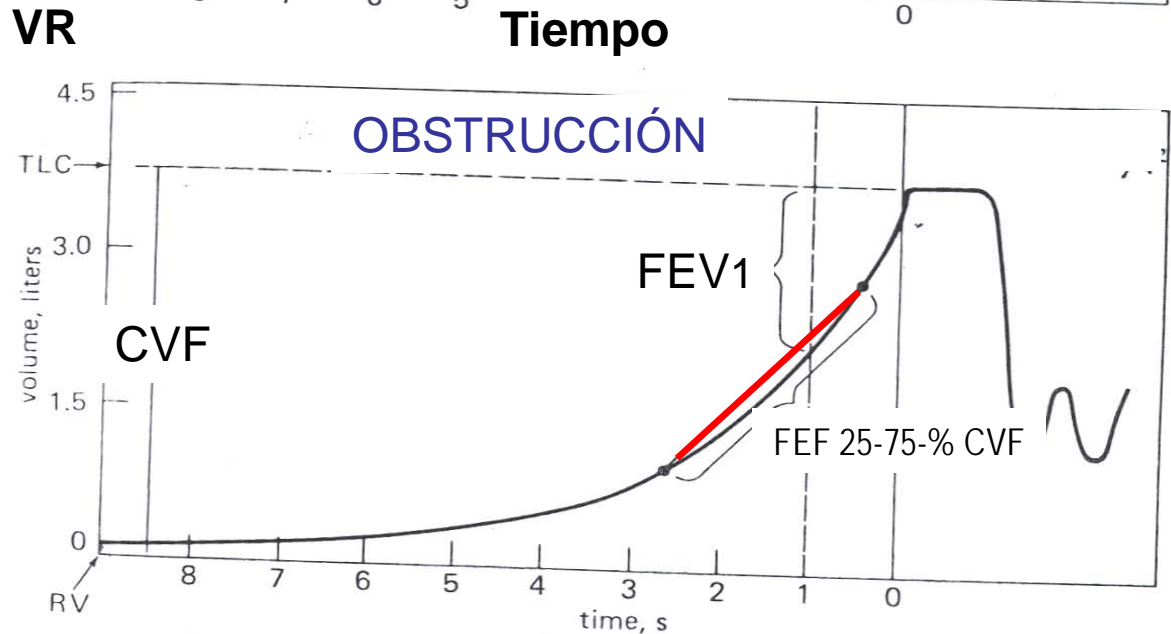
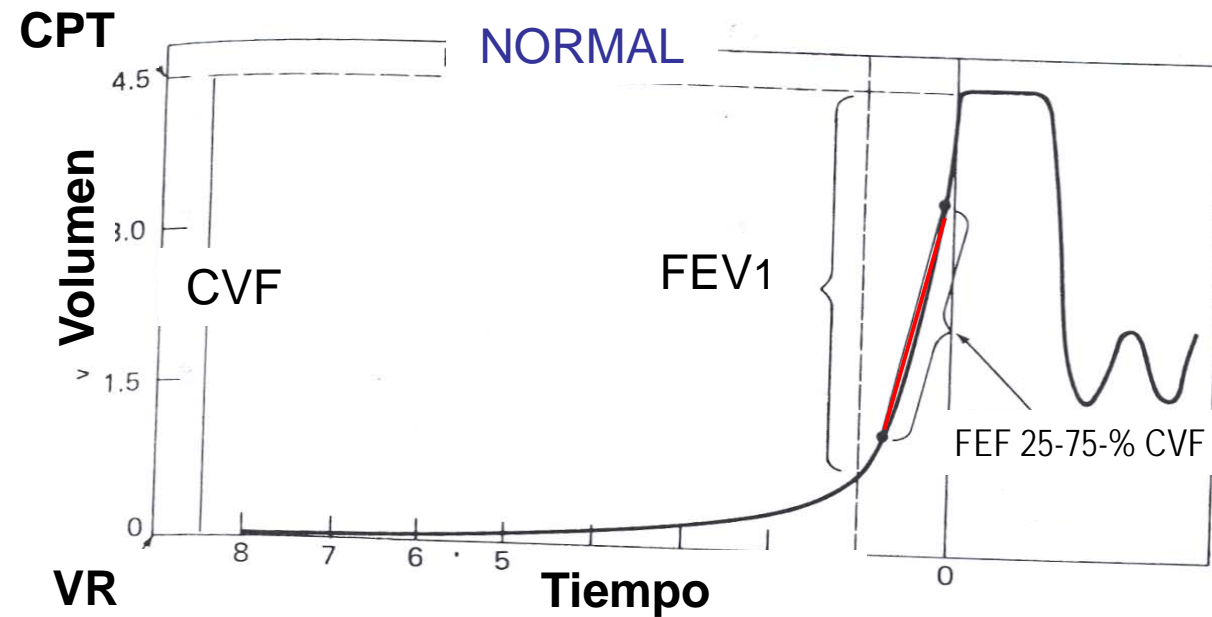
Indices:

$$FEV_1/CVF = 0,8$$

$$FEF_{25-75\%} CVF$$

Obstrucción $FEV_1/CVF < 0,8$

Restricción $FEV_1/CVF > 0,8$



Curvas flujo/volumen

.Registro directo

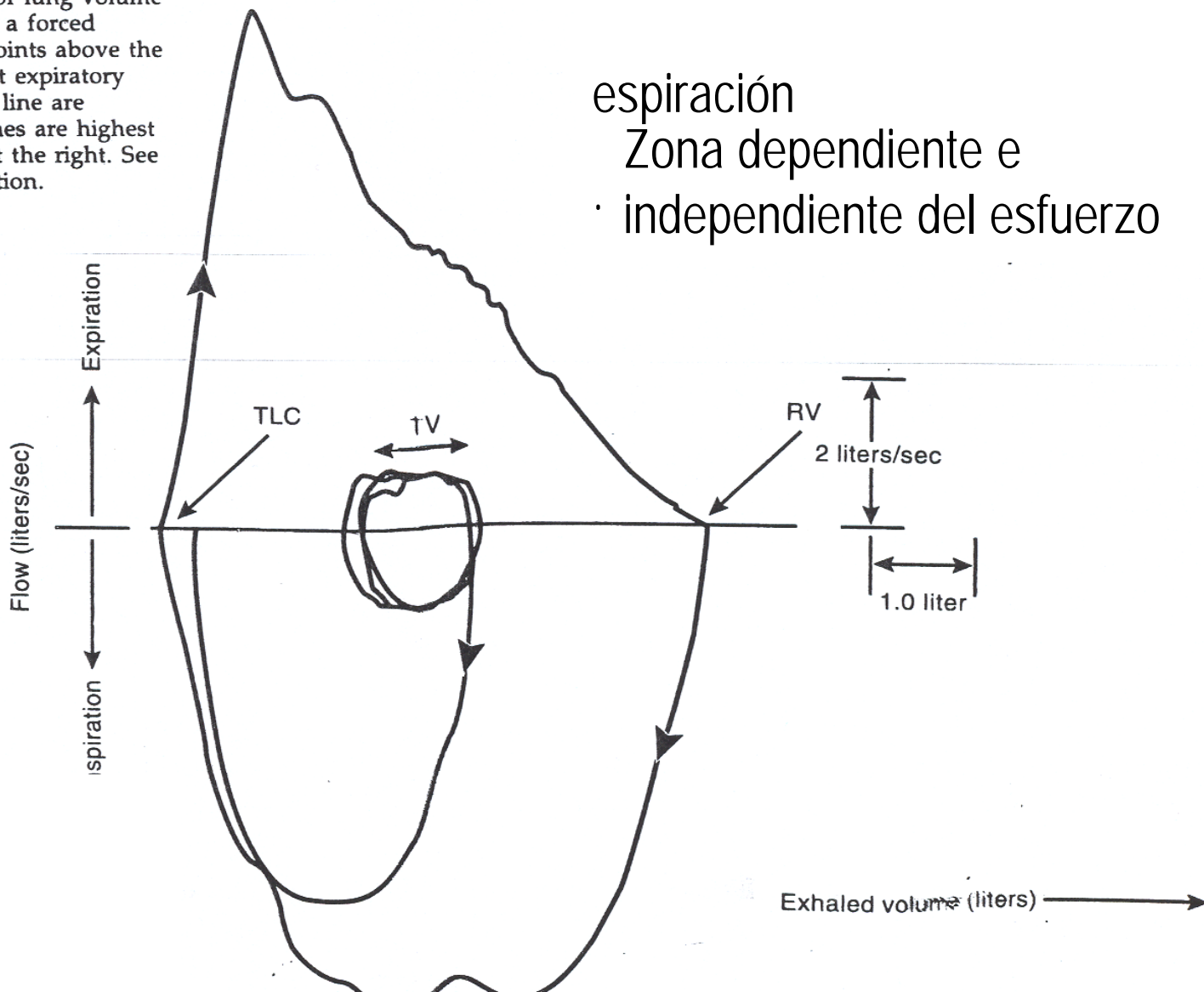
. Descripción: inspiración

espiración

Zona dependiente e

. independiente del esfuerzo

Figure 2-13. Air flow rate (on the ordinate) as a function of lung volume (on the abscissa) during a forced expiratory maneuver. Points above the horizontal axis represent expiratory flows; points below the line are inspiratory. Lung volumes are highest at the left and lowest at the right. See text for further explanation.



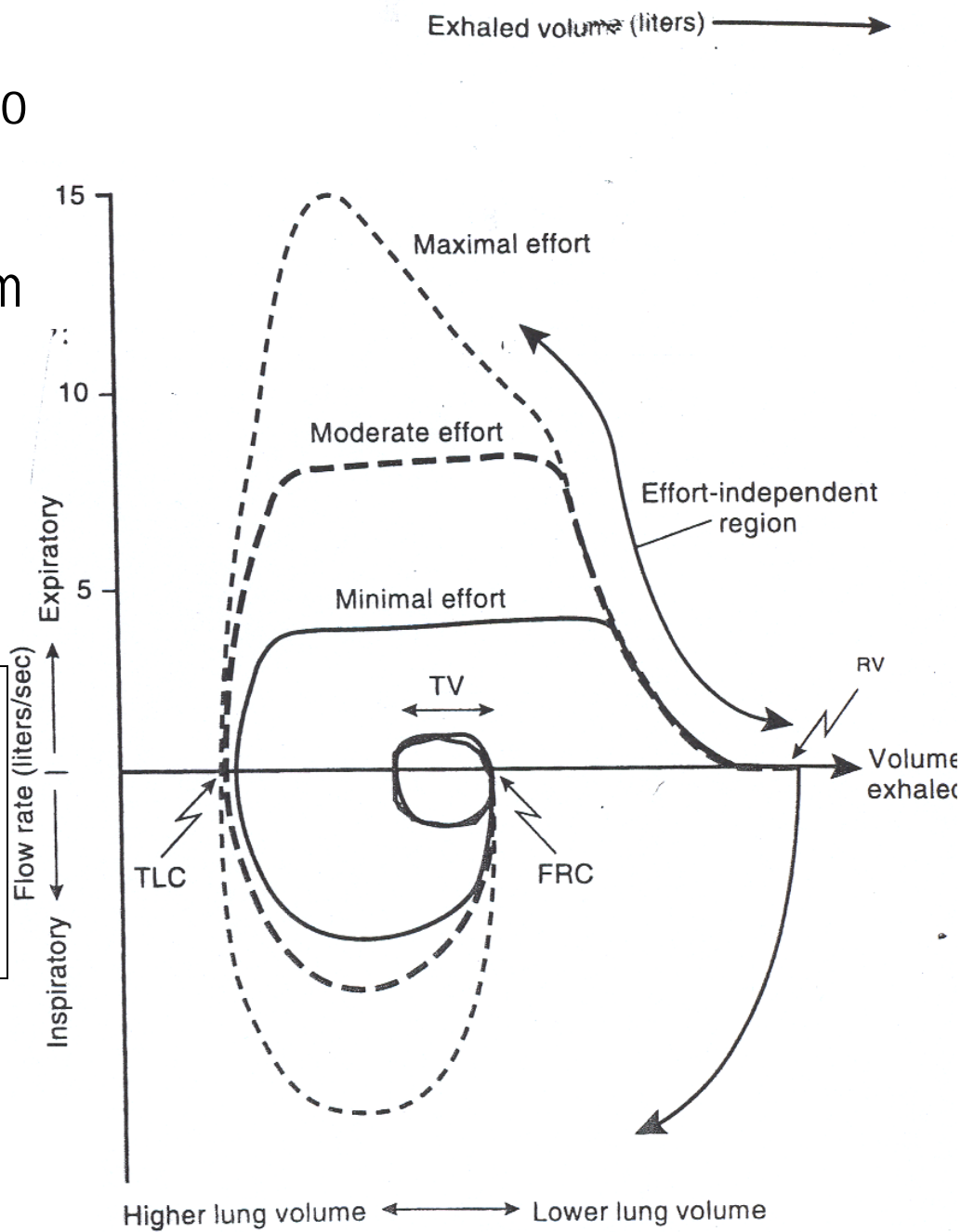
Curvas V/V con distinto esfuerzo

Zona dependiente } de esfuerzo
Zona independiente }

Dependiente P retracción o Vol pulm
PIP en vías compresibles

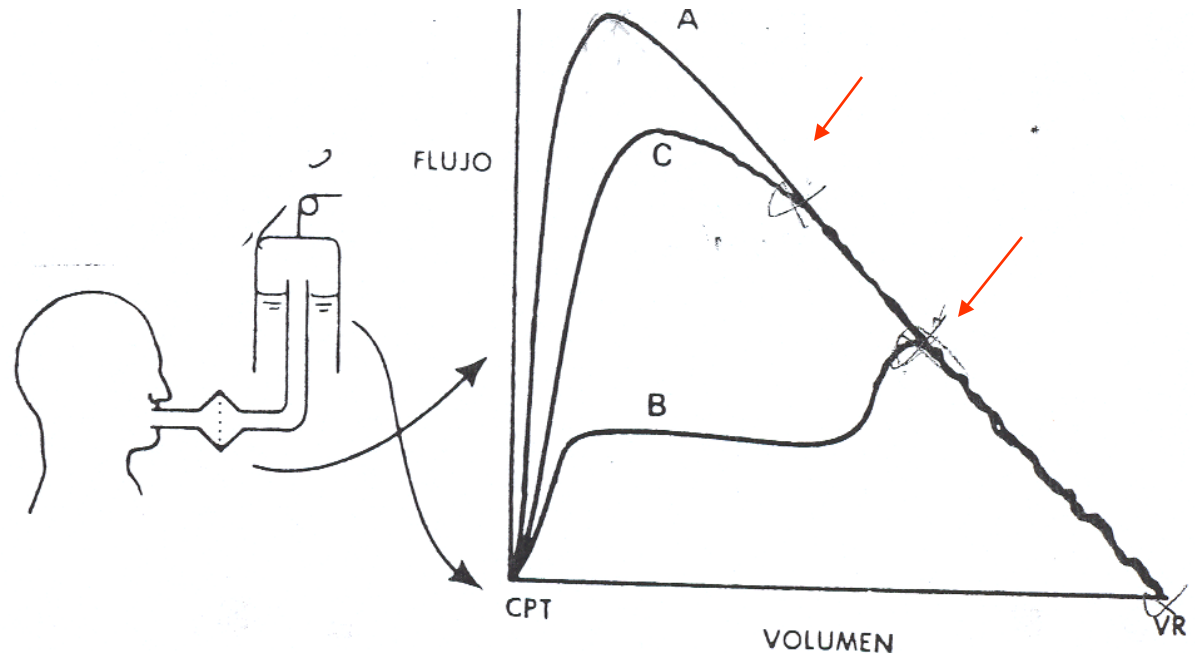
→ **compresión dinámica**

PIP alcanza vías compresibles a distintos volúmenes pulmonares dependiendo de la presión pleural o esfuerzo muscular



Conclusiones

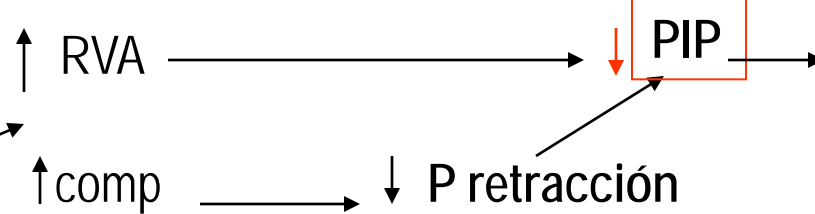
1. La zona independiente del esfuerzo se debe a la aparición de la compresión dinámica (PIP)
2. La compresión dinámica aparece a mayores V_p si aumenta la presión pleural (esfuerzo muscular)
3. El flujo espiratorio sigue disminuyendo hasta la oclusión $-V$ residual



Utilidad Clínica de la curva V/V

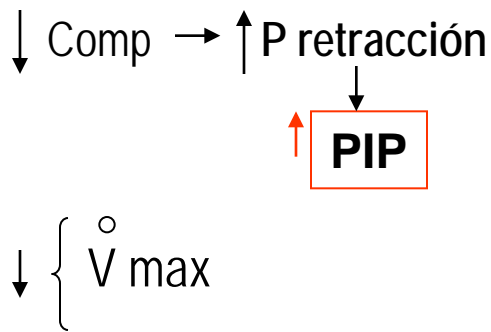
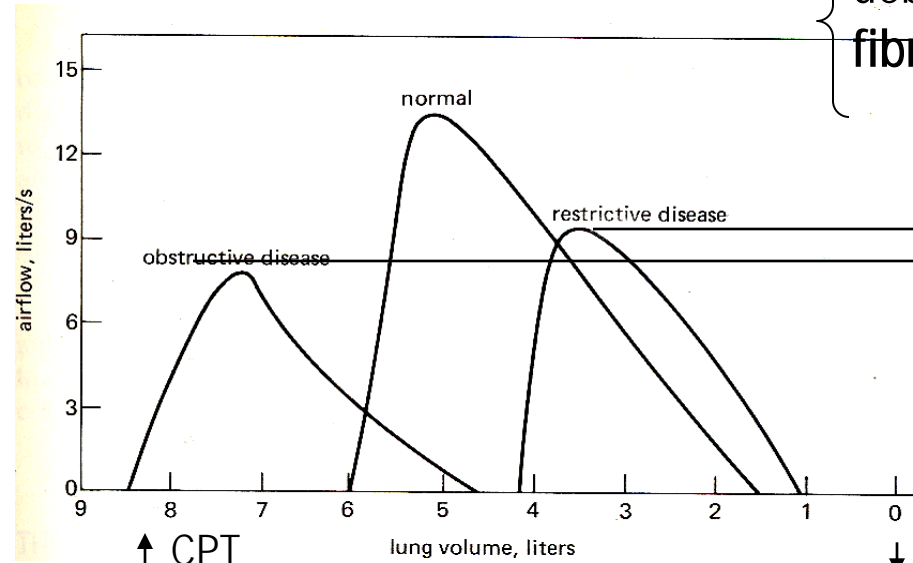
Enfermedad obstructiva (\uparrow RVA)

Bronquitis
asma
enfisema



Enfermedad restrictiva (\downarrow Comp)

Alt. caja torácica
debilidad muscular
fibrosis pulmonar



\downarrow PIP
 \downarrow Pretrac

\uparrow CPT
 \uparrow VR
 \sim CVF
 \uparrow CRF
 \downarrow FEV₁/CVF

Trabaja a > Volúmenes

\uparrow PIP
 \uparrow P retrac

\downarrow CPT
 \downarrow VR
 \downarrow CVF
 \downarrow CRF
 \uparrow FEV₁/CVF

Trabaja a < Volúmenes

Modificaciones de Ppl, PA, \dot{V} y Vp en el ciclo ventilatorio

$\left\{ \begin{array}{l} \text{PA y } \dot{V} \\ \text{Ppl y Vp} \end{array} \right.$ Paralelos y
 mismos máx

Resistencias

Supuestos teóricos

1.- \uparrow Resistencias dinámicas:

Ppl \rightarrow izda (A- B' - C)

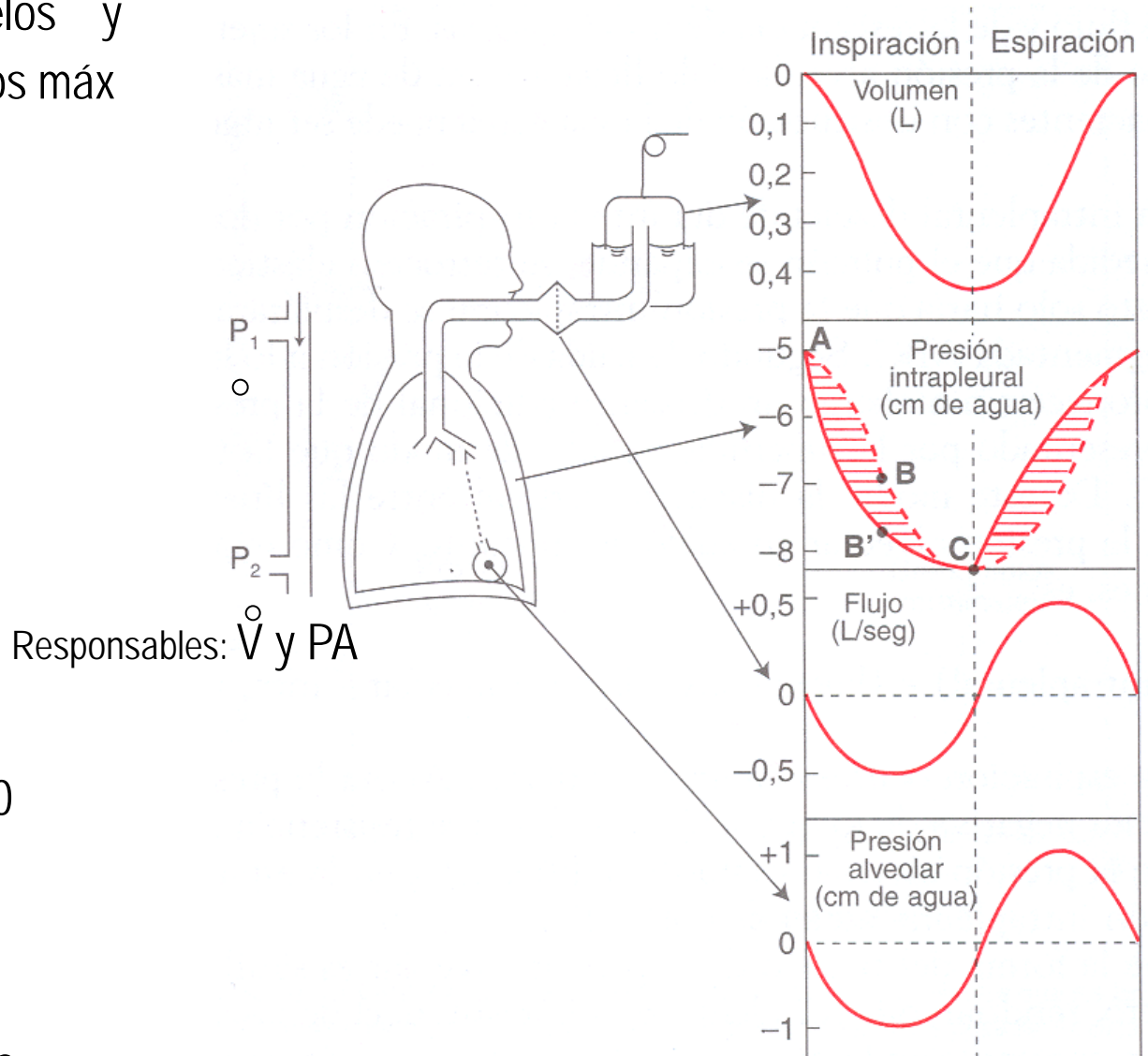
Vp \neq Ppl
 PA agudo

2.- Resistencias dinámicas = 0

Ppl=A-B-C

Vp=Ppl

\dot{V} y PA horizontales
 instantáneos



Trabajo respiratorio

$$T = \Delta P \times \Delta V$$

{ ΔV necesario
esfuerzo

{ Elástico
dinámico

Factores que determinan los diferentes trabajos

Elástico (Complianza)

Dinámico (fricción tisular y \uparrow RVA)

Obesos
defectos pared
fibrosis
↓ surfactante

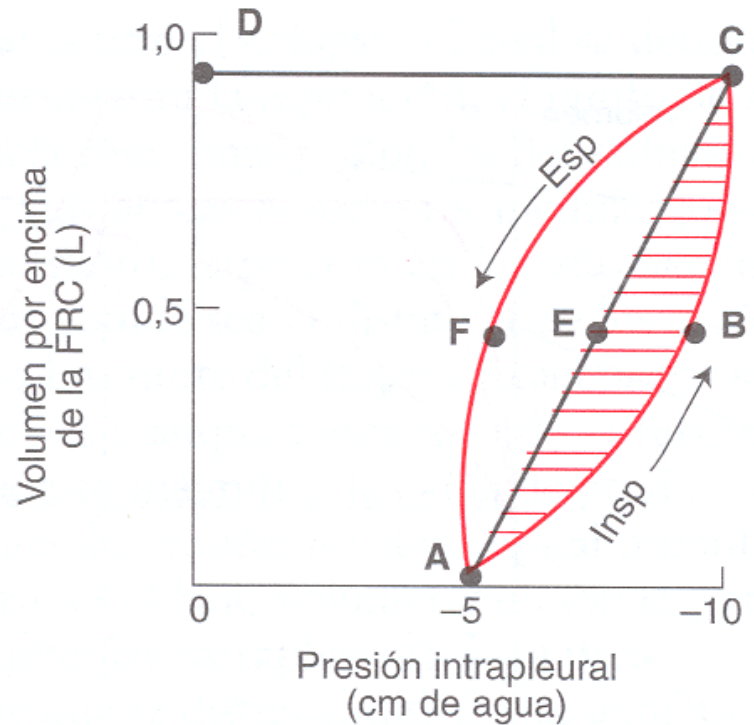
Bronquitis
asma
enfisema

Medida del trabajo respiratorio

.Trabajo total (difícil) → pulmonar

$$T_p = T_{\text{elast}} + T_{\text{diná}} = (P_A - P_{pl}) \Delta V + (P_B - P_A) \Delta V = (P_B - P_{pl}) \Delta V$$

Curva de trabajo pulmonar: área rayada (T dinámico)



Situaciones que modifican el trabajo respiratorio

1) \uparrow fcia resp \rightarrow \uparrow VL \rightarrow \uparrow V turbulento \rightarrow \uparrow T Dinámico

2) \uparrow Vc \rightarrow \uparrow Pretracción (C no lineal) \rightarrow \uparrow T Elástico

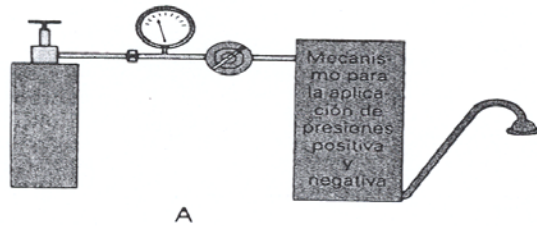
Patrones ventilatorios en enfermedades respiratorias

Objetivo: minimizar el Trabajo incrementado (Vc, Fcia resp)

Enf. Obstructiva (\uparrow T dinámico): $\left\{ \begin{array}{l} \uparrow Vc \\ \downarrow Fcia\ resp. \end{array} \right. \rightarrow (\downarrow VL)$

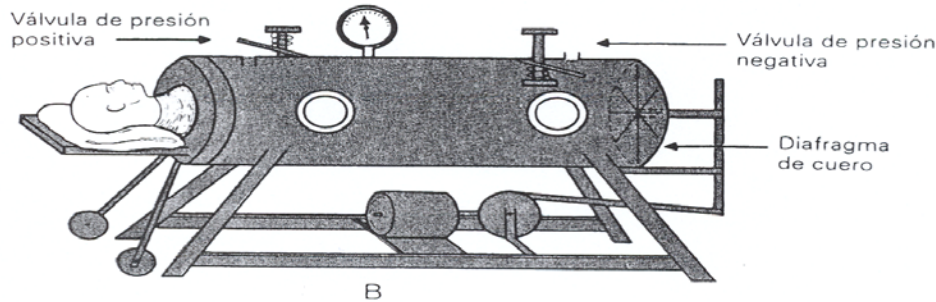
Enf Restrictiva (\uparrow T elástico): $\left\{ \begin{array}{l} \downarrow Vc \\ \uparrow Fcia\ resp \end{array} \right. \rightarrow (\downarrow Pretracción)$

Respiradores artificiales



A

②



B

Objetivo: \uparrow PTP \rightarrow \uparrow VP

ε Mecánicos a p + en inspiración

-Intermitentes

-P + en espiración \rightarrow atelectasia

pero Retorno venoso

Pulmón de acero

Presión - en exterior