HOSPITAL DA LUZ
LISBOA

FACIL
Formação Acelerada em Cuidados Intensivos Lisboa - 6ª Edição

13 e 14 de novembro de 2017

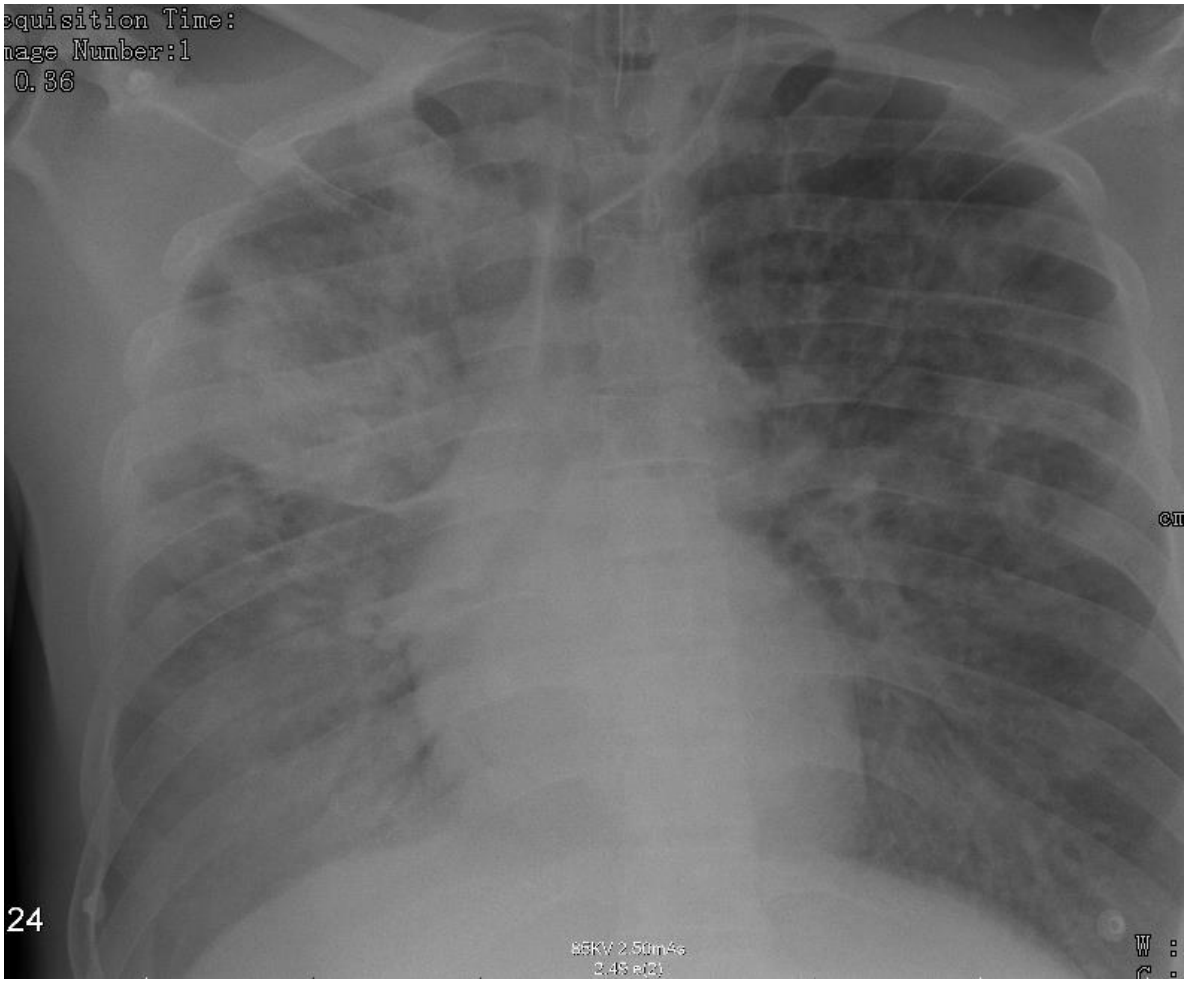
Auditório do Hospital da Luz Lisboa

Formação Acelerada em Cuidados Intensivos Lisboa
- 6ª Edição -

Fisiologia Respiratória e da Ventilação Mecânica

Dez Lições da Clínica

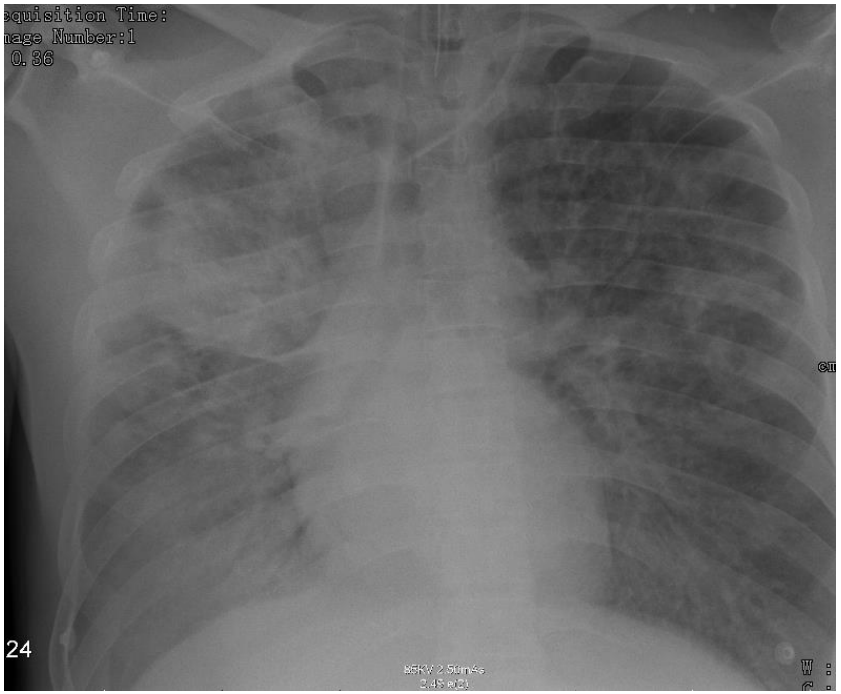
Carlos Pereira
Serviço de Medicina Intensiva
Hospital Beatriz Ângelo



1. "Falta de ar"... Falta de O_2

Clínica...

- Homem 38 Anos
- Sem AP relevantes
- Insuficiência respiratória com evolução em 72h



FiO2:31%

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,38**
$paCO_2$	*35-45 mmHg*	**37**
paO_2	*83-108 mmHg*	**44**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**21,9**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-2,8**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**13,9**
$Sat.O_2$	*95-98 %*	**71**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**113**
Lact.	*< 11 mg/dL*	**21**

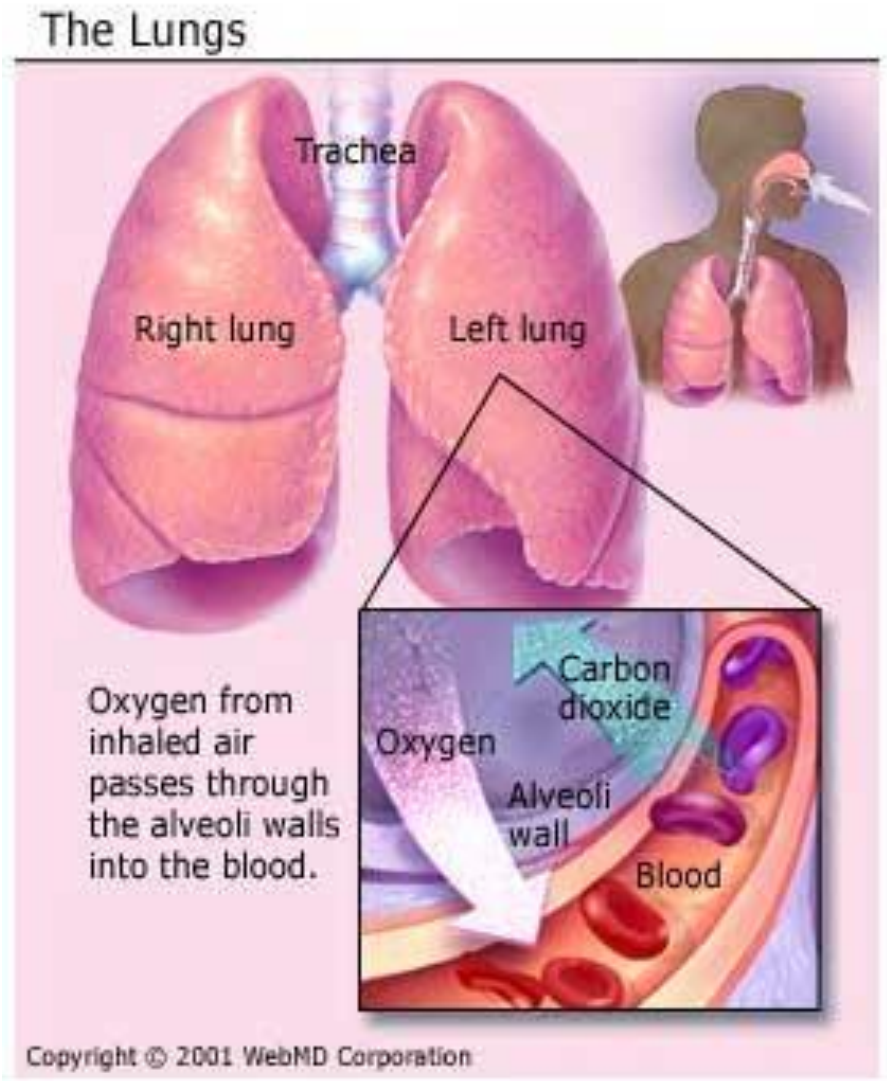
Componentes Fundamentais :

1. Membrana respiratória / trocas

= transferência alveólo-capilar O_2

2. "Bomba" respiratória

= ventilação (i.e. Renovação do ar alveolar)



EFICÁCIA DA MEMBRANA RESPIRATÓRIA COMPROMETIDA

1. Alvéolos não ventilados não oxigenam

2. Com CO_2 "normal"→ Os alvéolos são ventilados

Então...

- **A hipoxémia deve-se a ineficácia de membrana ou molécula de transporte (i.e.Hb)**
- → Doente ventila mas não oxigena o suficiente para as necessidades

Membrana Respiratória:

- A difusão dos gases através da membrana respiratória depende de:

1. Espessura da membrana
2. Área de superfície da membrana

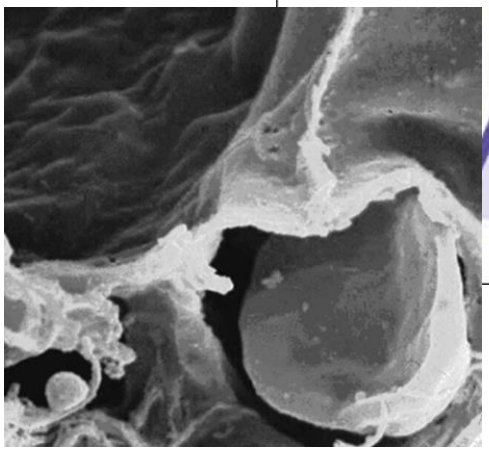
Membrana Anatómica

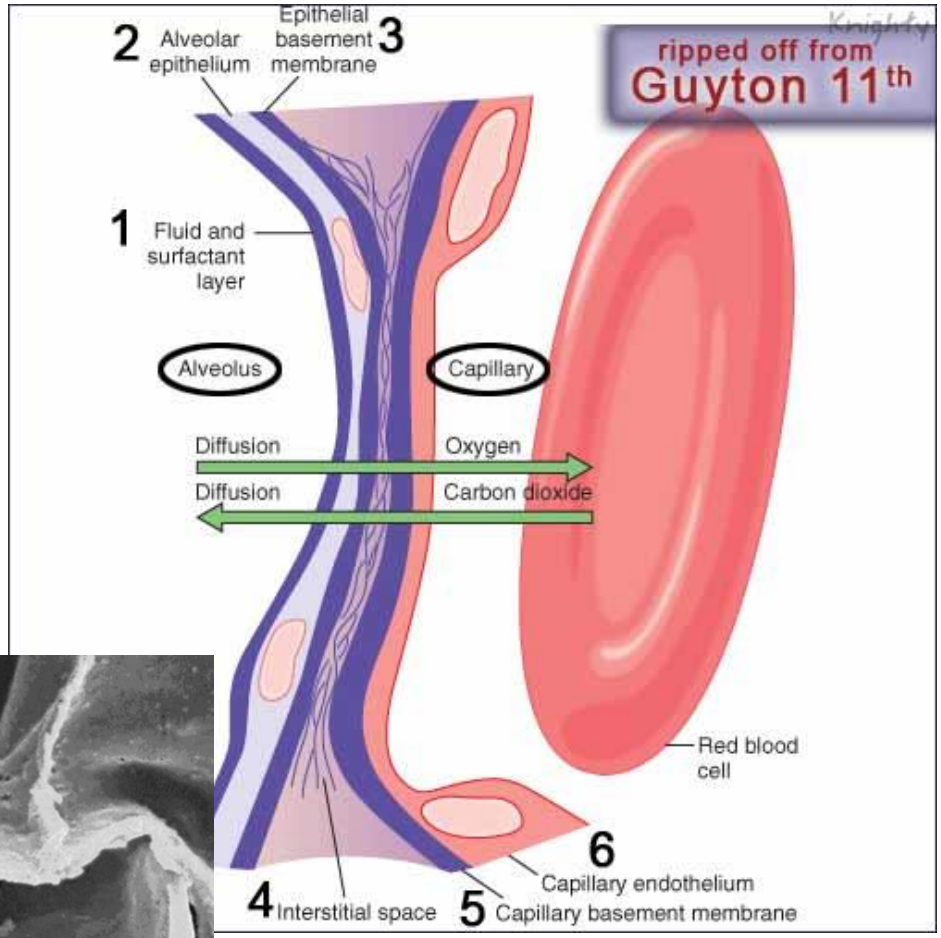
3. Coeficiente de difusão do gás
4. Diferença de pressão parcial do gás entre os dois lados

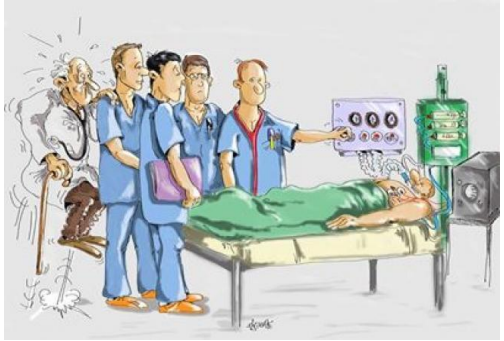
Gases

Membrana Respiratória:

- Espessura de 0.3 a 0.7 μm
- Área total de superfície de cerca de 70-140 m^2
- Quantidade de sangue nos capilares do pulmão, a qualquer momento, é **<u>60 a 140 ml</u>**







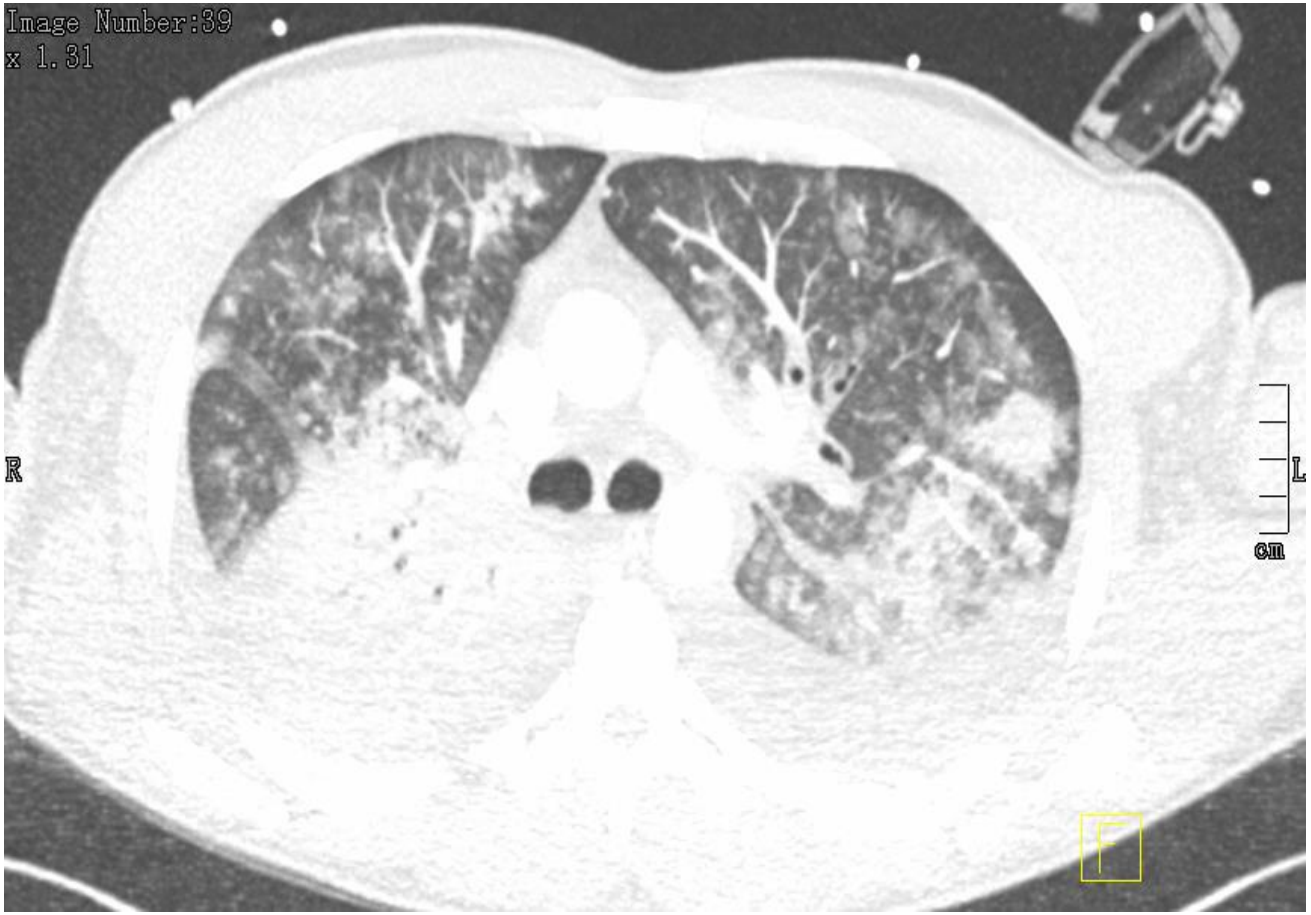
Membrana Respiratória e Gases...

- 1ª Medida → Aumentar concentração de O_2

na mistura inspirada

(i.e., aumentar o gradiente de O_2 alvéolo – capilar)

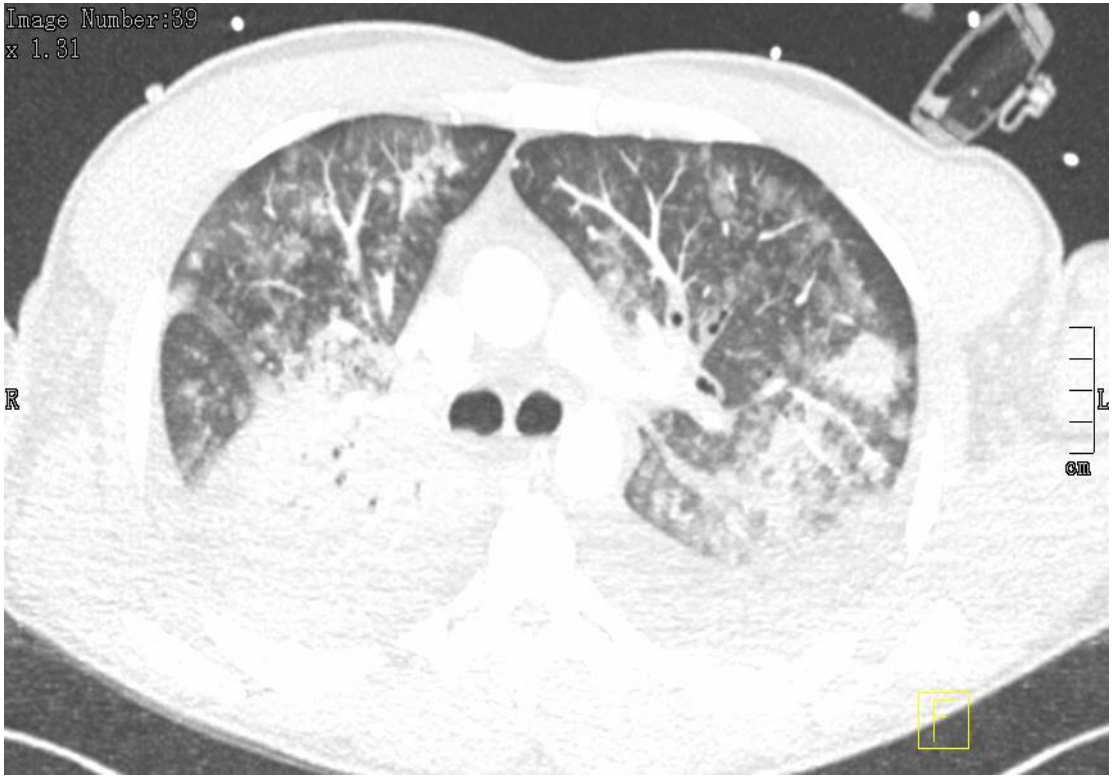
- **Dispositivos: MAD, M. Venturi...**



2. Quando O_2 já não chega...

Clínica...

FiO2:60%



	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,38**
$paCO_2$	*35-45 mmHg*	32
paO_2	*83-108 mmHg*	51
HCO_3- st	*21-28 mmol/L*	**20,7**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	-2,2
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**12,7**
$Sat.O_2$	*95-98 %*	85
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**158**
Lact.	*< 11 mg/dL*	32

Membrana Respiratória – Fisiopatologia

A eficácia das trocas gasosas fica comprometida caso...

Aumento da Espessura	Redução da Área	Redução capacidade transporte	Desadequação ventilação/perfusão
- Edema pulmonar - Fibrose Pulmonar - Proteinose	- Pneumonia - Enfisema - Neoplasia - TEP - Baixo débito cardíaco	- Anemia - Intoxicação CO	***- Shunt***

Membrana Respiratória – Medir a eficácia... Gradiente alvéolo-arterial

Equação alveolar de O2:

$$PAO2 = FiO2(PB - PH_2O) - paCO_2/0{,}8$$

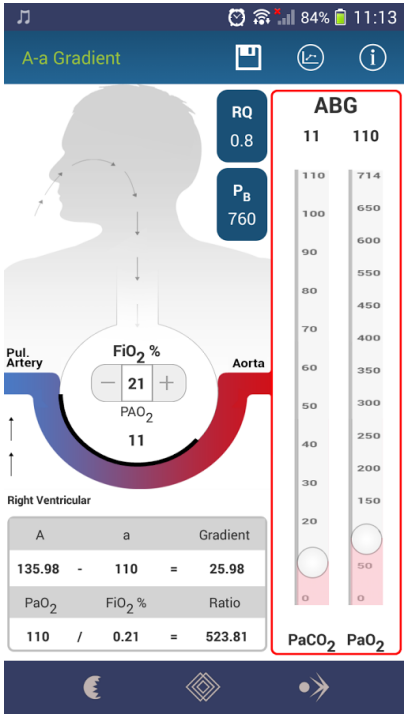
PB (Pressão barométrica – 760 mmHg; PH_2O – Pressão H_2O – 13 mmHg)

Gradiente PAO2-paCO2 Normal = Idade/4+

Aumento do Gradiente A-a → Aumento do Shunt

MAS...

- Mais falível com aumento de FiO_2
- Presume produção de CO_2 estável



Membrana Respiratória – Medir a eficácia... Gradiente alvéolo arterial

HIPOXÉMIA

GRADIENTE A-a

NORMAL

AUMENTADO

FiO2 100%

Corrige

Não Corrige

FiO_2 Diminuído

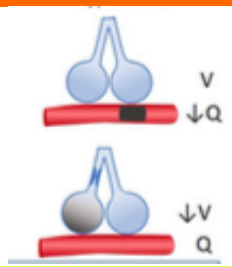
Altitude Elevada

Hipoventilação

CO_2 Aumentado

Depressão SNC
Obesidade/hipov.
Fraqueza musc.

Desadeq. V/Q

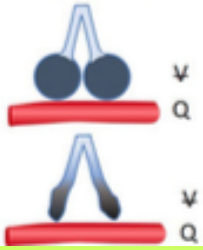


DPOC
TEP
Preench. alv.
"moderado"

Alt Difusão

Dça interstício
Enfisema
Aumento DC
Dça vasc pulm

Shunt

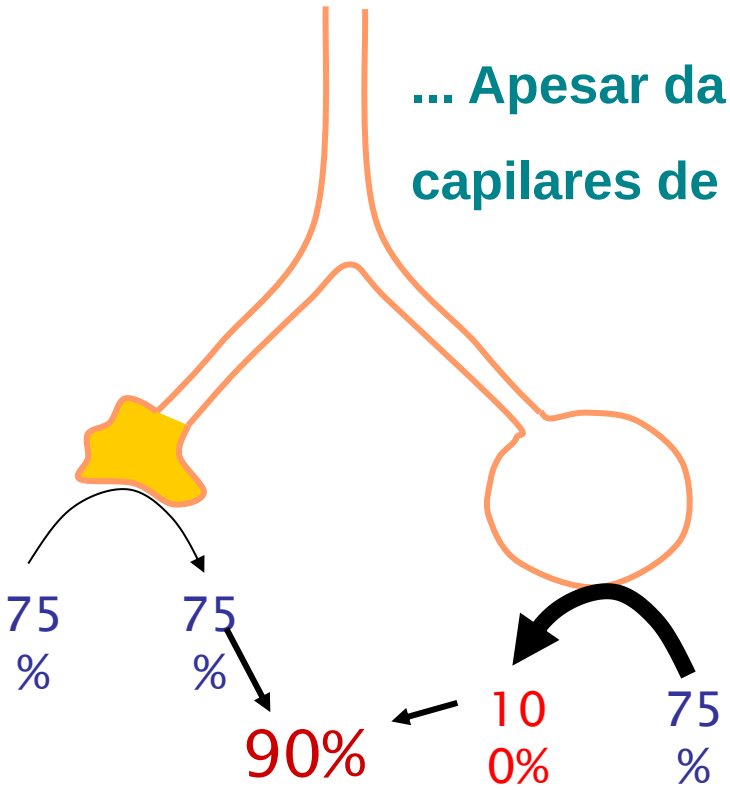


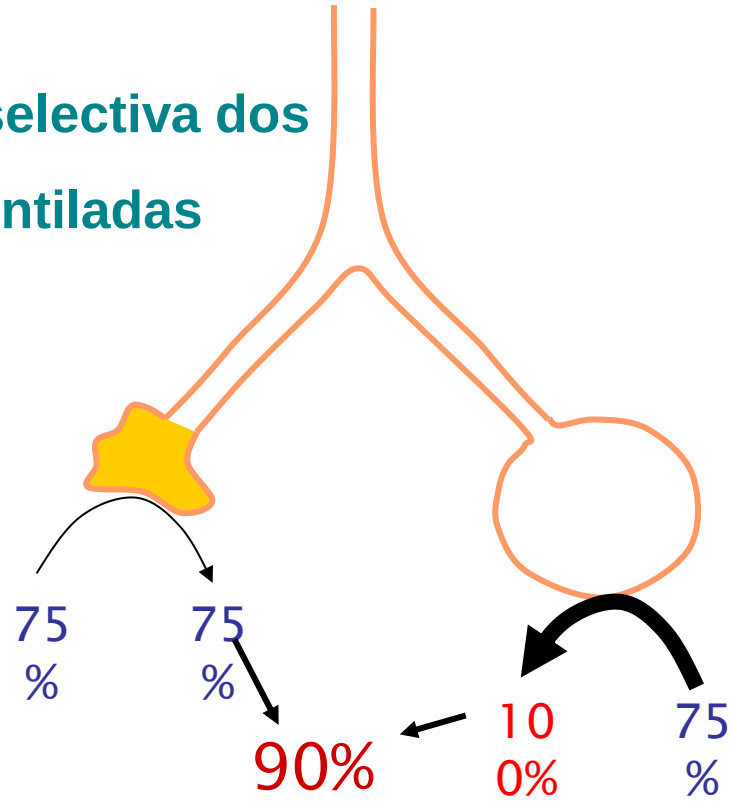
Preench. alv.
Grave
Colapso alveolar
MAV Pulm.
Shunt IC

Membrana Respiratória – Fisiopatologia

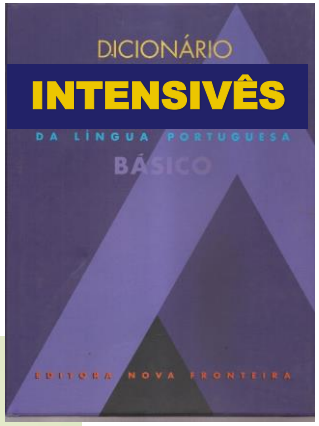
Quando o shunt é superior a 20% a simples suplementação em O2 não é capaz de o ultrapassar...

... Apesar da vasoconstrição selectiva dos capilares de regiões pouco ventiladas

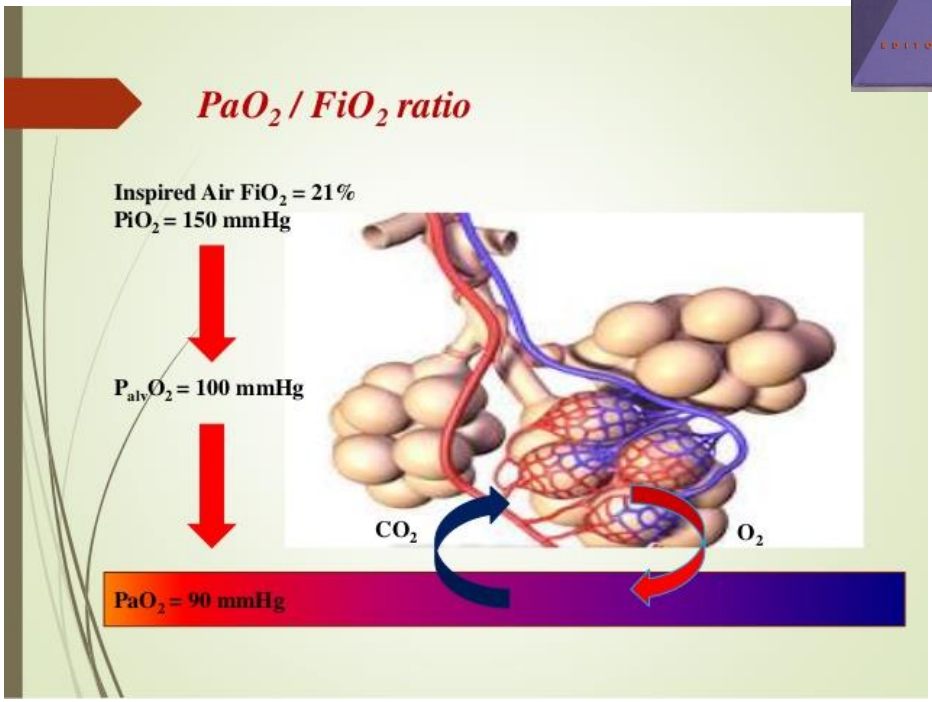




Membrana Respiratória – Medir a eficácia... Razão paO_2/FiO_2 (p/F):



- Normal >500
- Maior p/F (CO_2 normal)→ maior ineficácia da membrana resp.
- Principal causa = desadequação V/Q
- Mede indirectamente o a desadequação V/Q



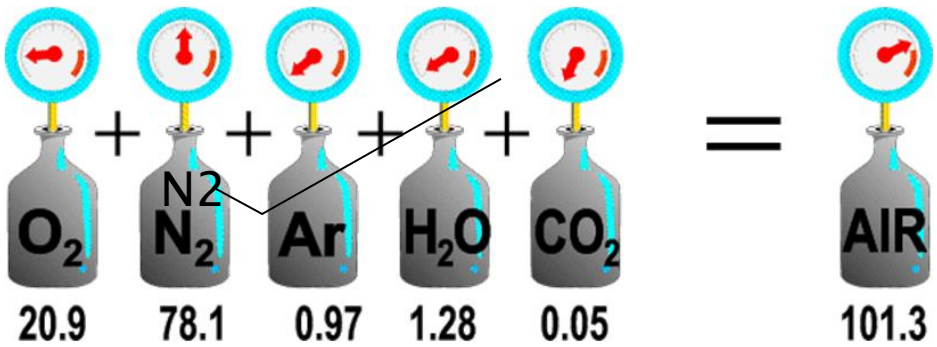
Membrana Respiratória e Gases...

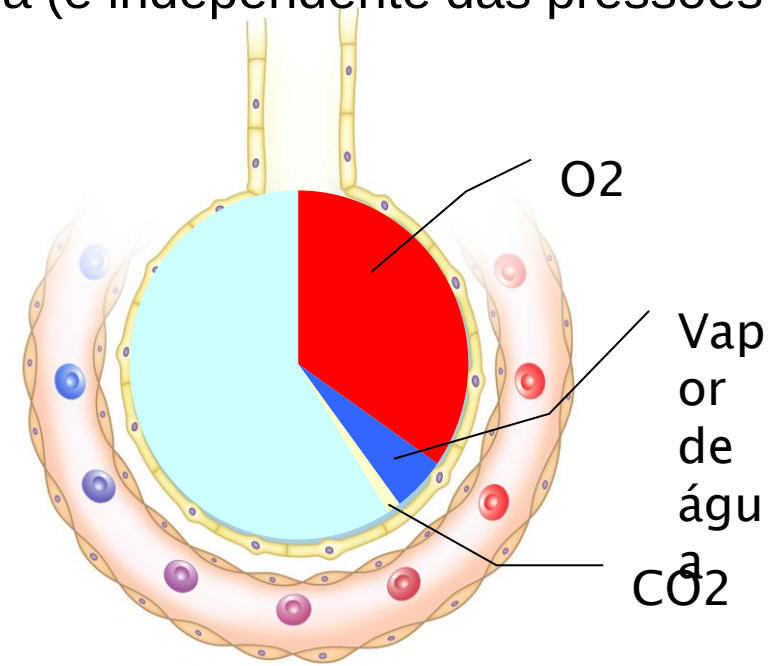
- 2ª Medida → Aumentar a pressão com que a mistura gasosa é entregue nos alvéolos (gradiente concentração + de pressão)
- **Dispositivos: Ventilação Pressão Positiva (VNI vs VM)**

Os Gases...:

- A hematose (arterialização) depende de um processo de difusão bidireccional de gases, através da membrana respiratória
- ***Da Física...***

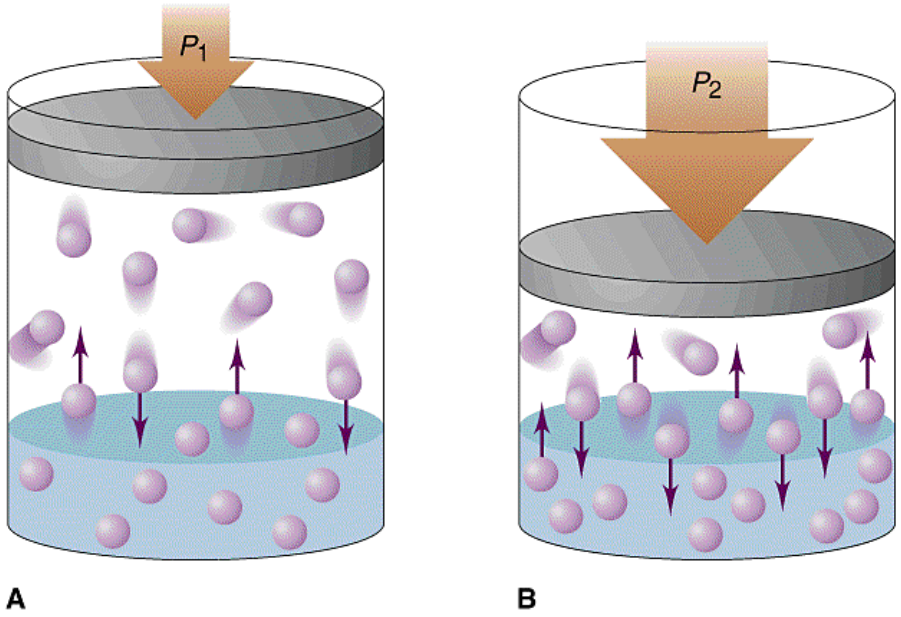
1. ***Lei de Dalton:*** A pressão parcial de um gás é proporcional à concentração desse gás na mistura gasosa (e independente das pressões dos outros gases)





Os Gases...:

2. Lei de Henry: A solubilidade de um gás é proporcional à pressão parcial do mesmo e ao seu coeficiente de solubilidade



Os Gases :

- Lei de Henry: A solubilidade de um gás é proporcional à pressão parcial do mesmo e ao seu coeficiente de solubilidade

- ***Lei de Graham*:** Cada gás tem um coeficiente de difusibilidade através da membrana que é função do seu peso molecular

Difusibilidade a Patm:

$SCO_2 > SO_2 > SN_2$

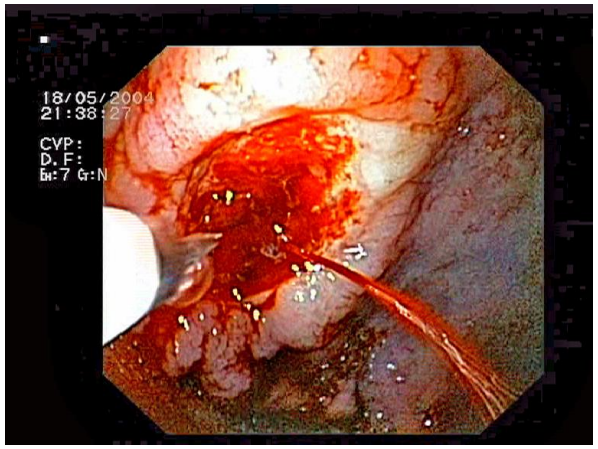
$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

Substance	Solubility (g/kg)[1]
Air	0.023
Carbon Dioxide (CO_2)	1.7
Ethane (C_2H_6)	0.06
Ethylene (C_2H_4)	0.25
Hydrogen (H_2)	0.002
Methane (CH_4)	0.023
Nitrogen (N_2)	0.018
Oxygen (O_2)	0.045
Propane (C_3H_8)	0.07

3. Quando mais pressão = menos oxigenação!

Clínica...

- Homem, 46 anos
- Choque hemorrágico por hemorragia de úlcera pilórica
- Falência terapêutica endoscópica → BO
- Pos Op. Imediato
- **VC:520x14/8/80%**
- Sob suporte vasoactivo, PAM~55 (fenilefrina intra-op)



	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,24**
$paCO_2$	*35-45 mmHg*	**41**
paO_2	*83-108 mmHg*	**59**
HCO_3- st	*21-28 mmol/L*	**15,5**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-9,8**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**5,6**
$Sat.O_2$	*95-98 %*	**89**
p/F	*>400*	**98**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**69**
Lact.	*< 11 mg/dL*	**89**

Membrana Respiratória e Gases...

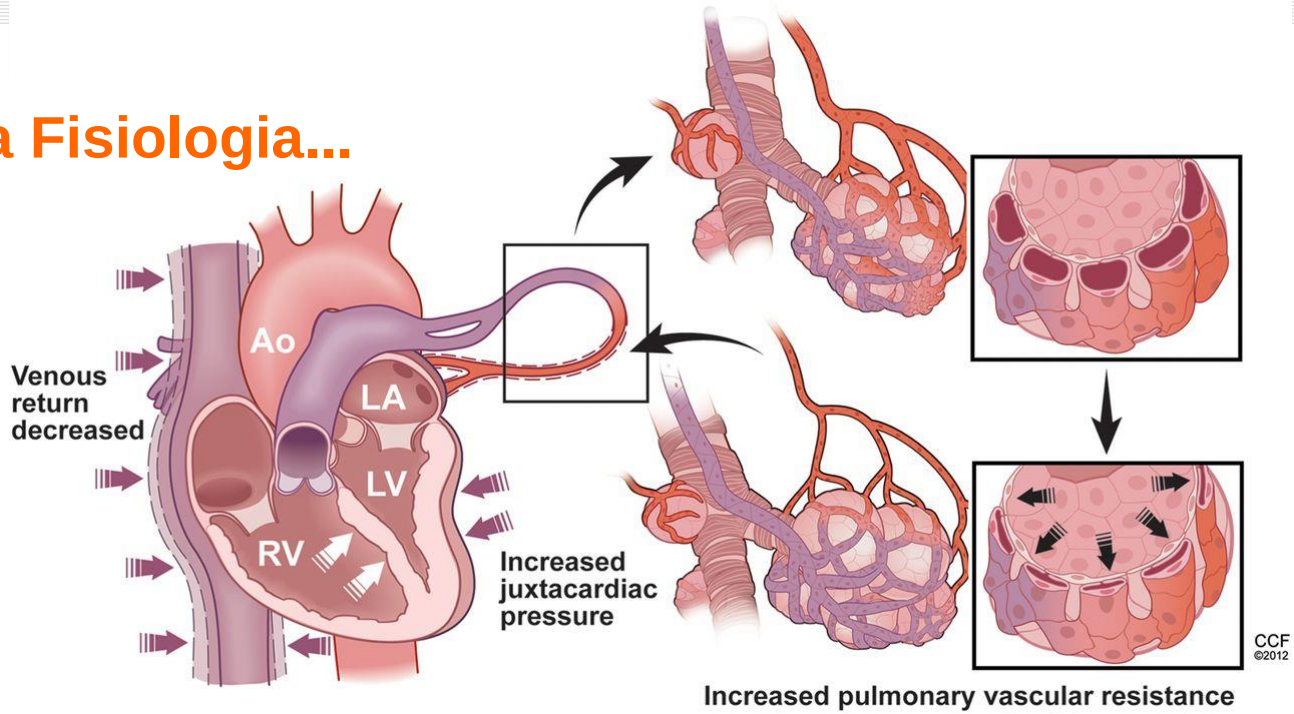
- 1ª Medida → Aumentar a pressão com que a mistura gasosa é entregue nos alvéolos
- **Dispositivos: VM → Aumento PEEP**

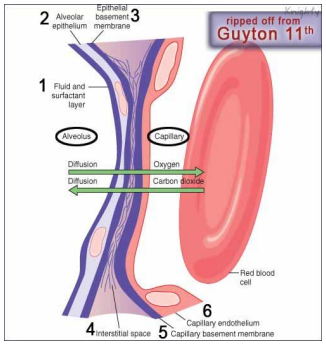
Clínica...

- 46 anos
- Choque hemorrágico por hemorragia de úlcera pilórica
- Falência terapêutica endoscópica → BO
- Pos Op. Imediato
- **VC:520x14/10/80%**

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,23**
paCO2	*35-45 mmHg*	**38**
paO2	*83-108 mmHg*	**53**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**14,7**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-10,3**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**5,7**
Sat.O2	*95-98 %*	**84**
p/F	*>400*	**66**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**64**
Lact.	*< 11 mg/dL*	**93**

Outra vez a Fisiologia...





- Doente hipoxémico pela hipoperfusão pulmonar (Choque)

- Aumento da *Palveolar média* → Aumento da *Pintratorácica* → **Dimimuição da pré-carga**
  (já criticamente comprometida)

- Melhoria com retirada da PEEP...

Membrana Respiratória e Gases...

- 2ª Medida → Preenchimento vascular
- **Fluidoterapia**

Clínica...

- 46 anos
- Choque hemorrágico por hemorragia de úlcera pilórica
- Falência terapêutica endoscópica → Bloco Operatório
- Pos Op. Imediato
- **VC:520x14/5/80%**

- → **1500 ml de cristalóide 1h**

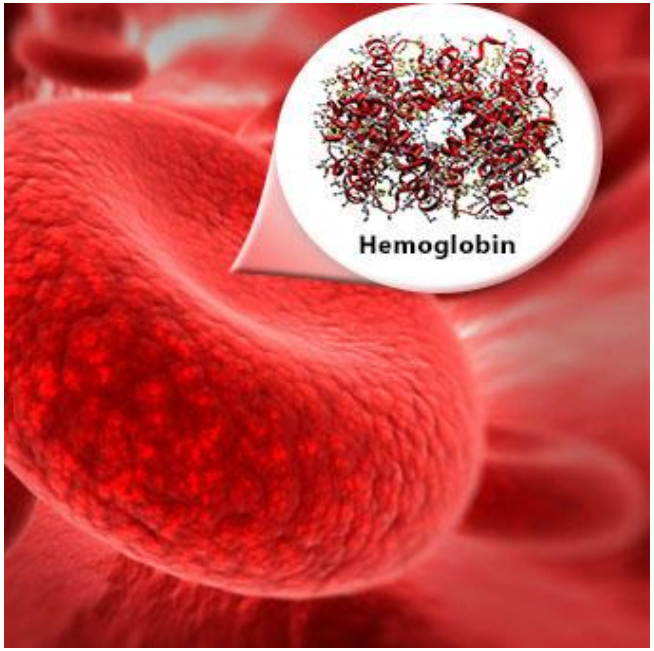
	Valores Normais /Unids.	
pH	7,35-7,45	7,18
paCO2	35-45 mmHg	35
paO2	83-108 mmHg	62
HCO3- st	21-28 mmol/L	8,7
BE	-2 a 3 mmol/L	-15,1
Ct Hb	13,5 – 17,5 g/dL	4,9
Sat.O2	95-98 %	90
p/F	>400	112
Gluc.	65 – 95 mg/dL	90
Lact.	< 11 mg/dL	121

Outra vez a Fisiologia...

- O transporte de O_2 depende da molécula de transporte... Hemoglobina - **Hb: (4,9)**

- Ao hemodiluirmos o doente, embora melhorasse a pré-carga, e possivelmente a HD pulmonar, **não melhoramos o transporte e entrega de O2**

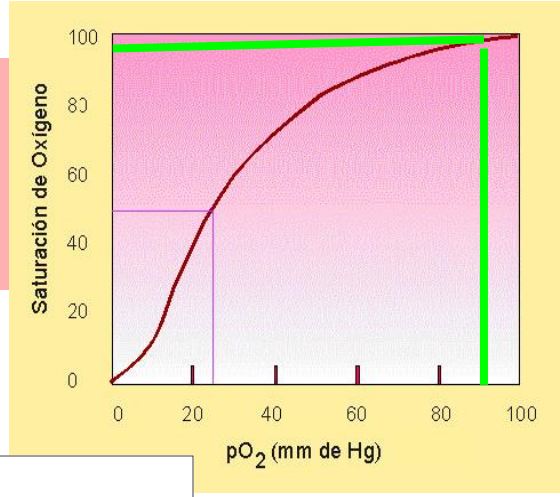
- Asfixia celular → Lactatos em elevação



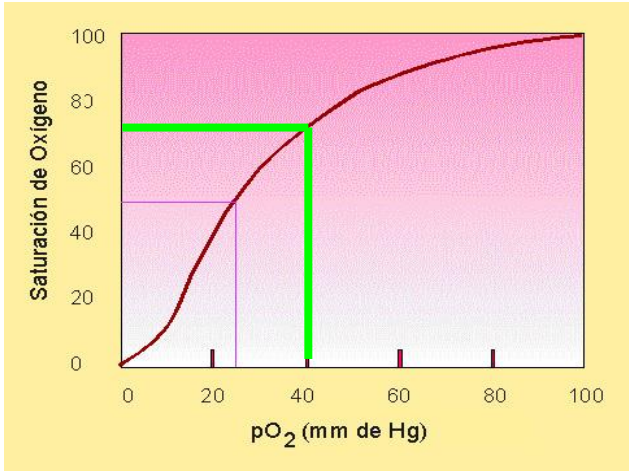
A molécula de transporte…:

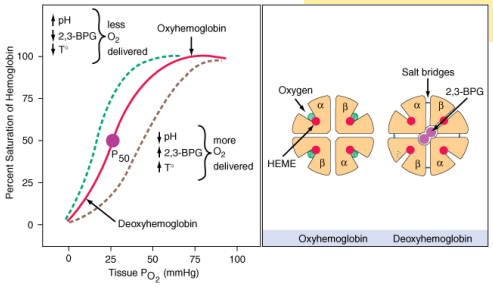
- Ligação de Hb-O2 é **cooperativa** (a associação de 2 ou + moléculas facilita a ligação das 4), o inverso ocorre aquando da dissociação

$SatO_2$ = 97%



$SatO_2$ = 75%





PaO_2 = 95 mmHg

PO_2 = 40 mmHg

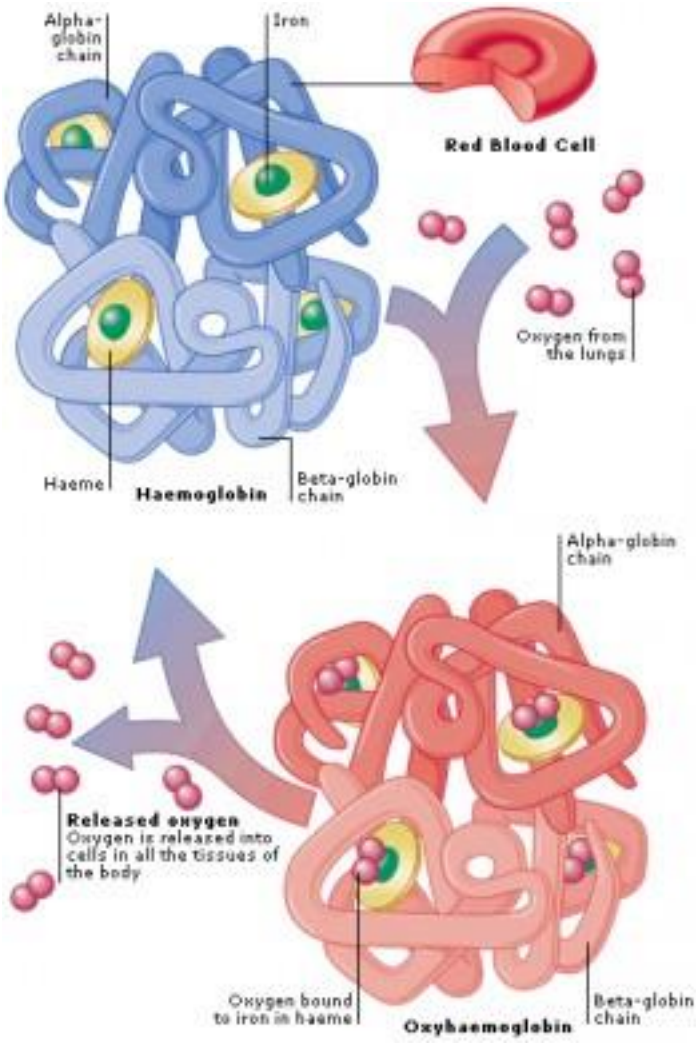
Source: Fauci AS, Kasper DL, Braunwald E, Hauser SL, Longo DL, Jameson JL, Loscalzo J: *Harrison's Principles of Internal Medicine*, 17th Edition: http://www.accessmedicine.com
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

A molécula de transporte…:

- CO_2 e H^+

- ***Efeito de Bohr*** – A redução da Hb (i.e., ligação aos iões H+) na periferia, facilita a libertação do O2.

- ***Efeito de Haldane*** – A dissociação Hb / O2 facilita a ligação Hb-CO2 (periferia), ao passo que o inverso ocorre no pulmão.



A molécula de transporte…:

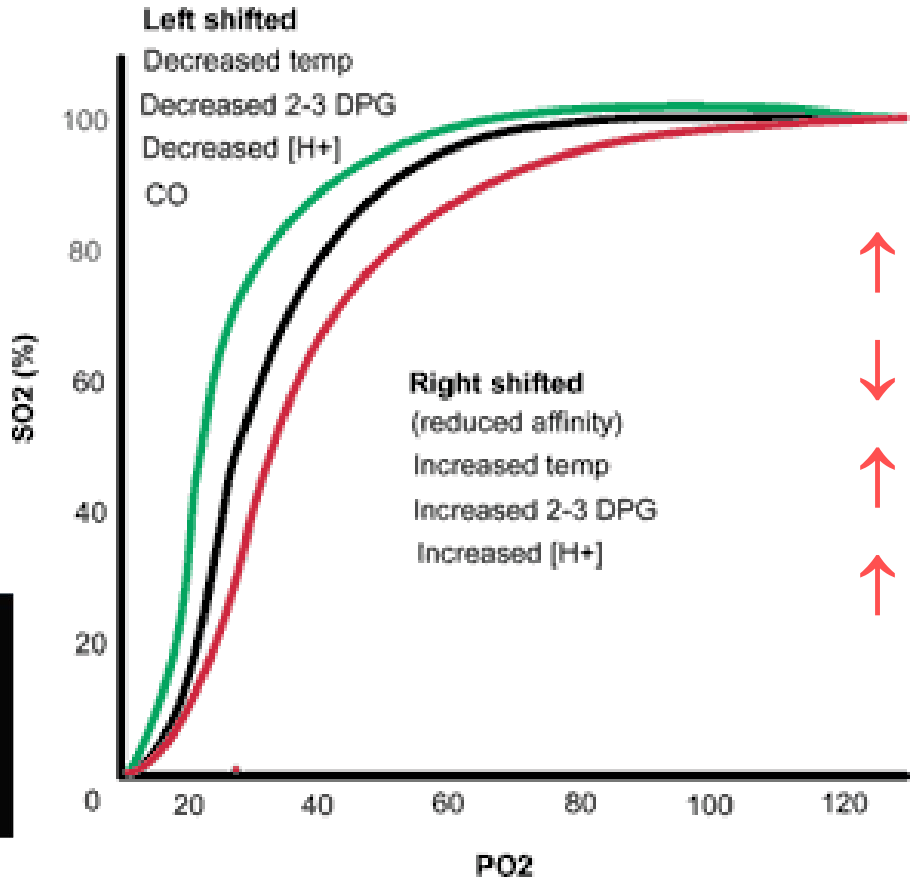
↓ Temp.

↑ pH

↓ 2,3 DPG

Hg fetal

Desvio esquerdo



Desvio direito

↑ Temp.

↓ pH

↑ 2,3 DPG

↑ CO_2

4. Seja responsável... oxigene com moderação

O2 em excesso...

- Atelectasias de desnitrogenação
- Disfunção ciliar
- Destruição de membranas por efeito dos radicais livres de O2
- Inflamação e fibrose pulmonar (experimental)

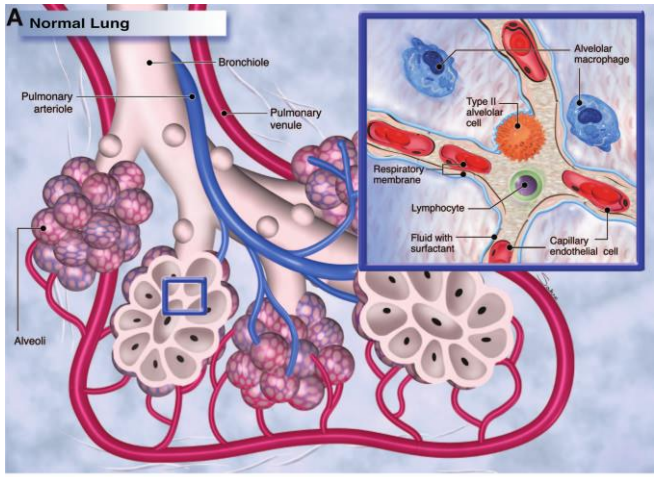
O2 em excesso...

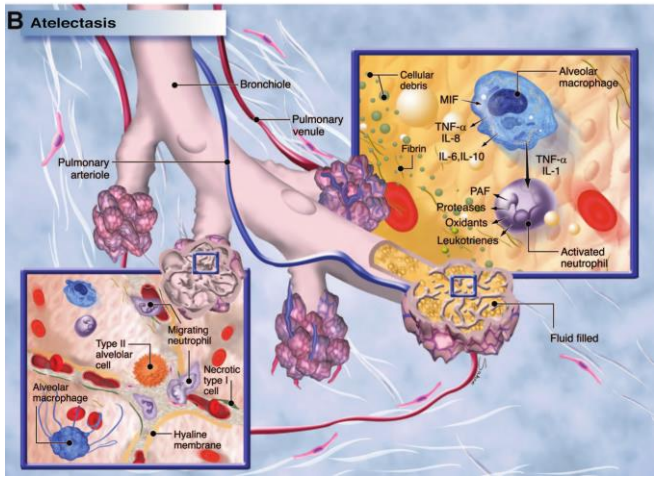
Difusão Má...

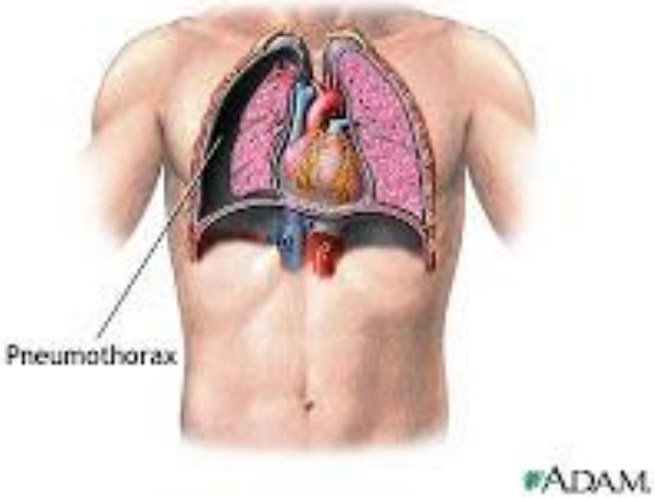
- Atelectasias desnitrogenação

Difusão Boa...

- Reabsorção de pneumotórax







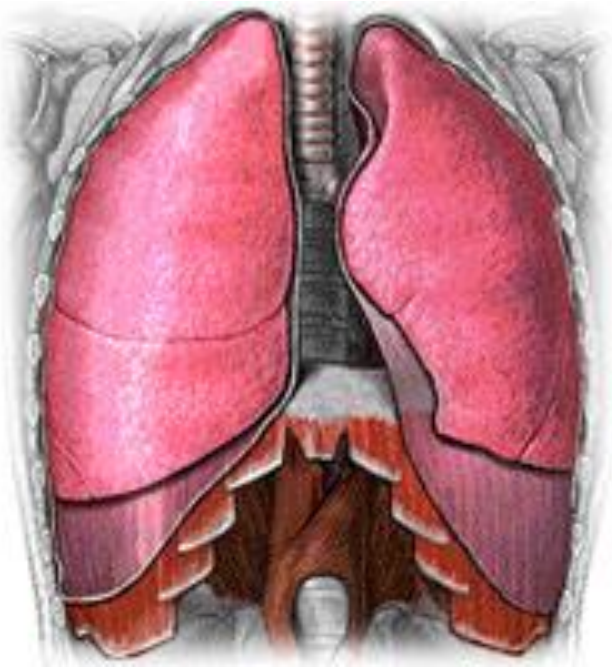
Membrana Respiratória e Gases...

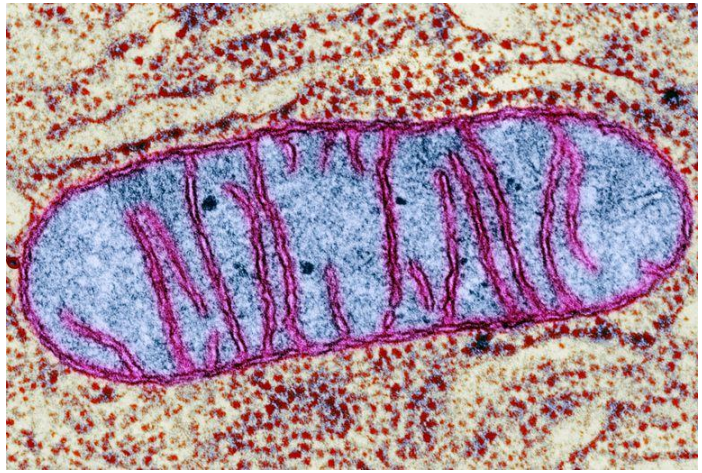
- Hipoxémia **MATA**... e depressa, **em agudo** → **Aumento de FiO_2**

Depois...

- Menor taxa de O_2 para paO_2 normais /FiO_2>50-60% geralmente considerados tóxicos (se >48h)

- **Objectivo normóxia**





5. De ventilar até respirar...

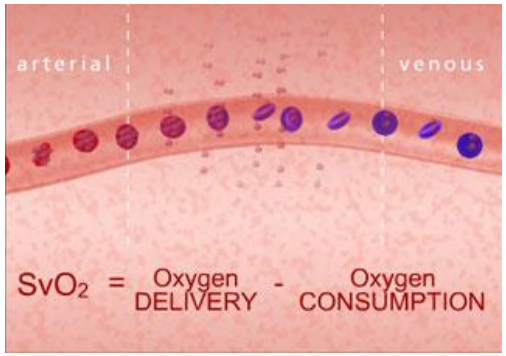
Clínica…

- Mulher 71 Anos
- DM2, DRC Agudizada
- Acidose láctica por metformina (MALA)

VAC:480x25/5/40%

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,06**
$paCO_2$	*35-45 mmHg*	**26**
paO_2	*83-108 mmHg*	**106**
HCO_3- st	*21-28 mmol/L*	**8,6**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-21,9**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**11,6**
$Sat.O_2$	*95-98 %*	**97**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**123**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**156**

Clínica…



- **Gap CO2 normal (4)**
- **SVcO2:86%**

→ Circulação ***aparentemente*** eficaz
→ Extracção de O2 muito diminuída
→ O2 chega aos tecidos mas não é utilizado

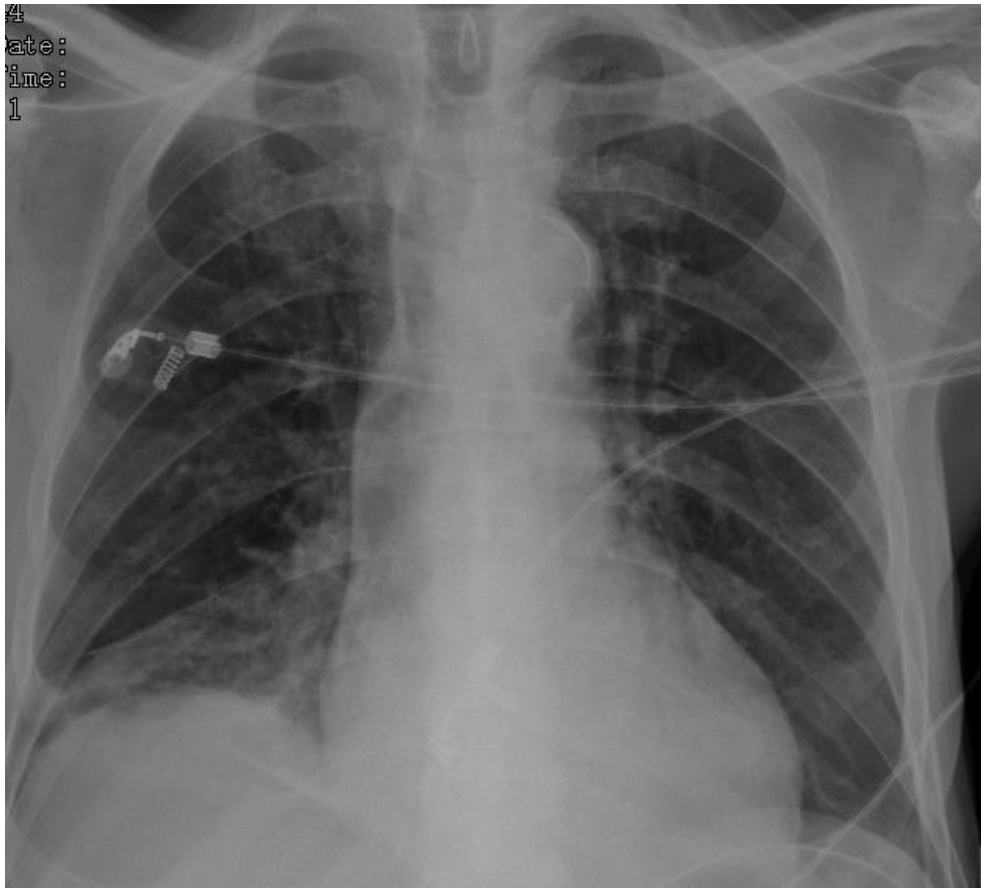
TOXICIDADE MITOCONDRIAL DA METFORMINA
→ Bloqueio da Cadeia respiratória
→ Disóxia citotóxica

"Asfixia celular"

VENOSA

VAC:480x25/5/40%

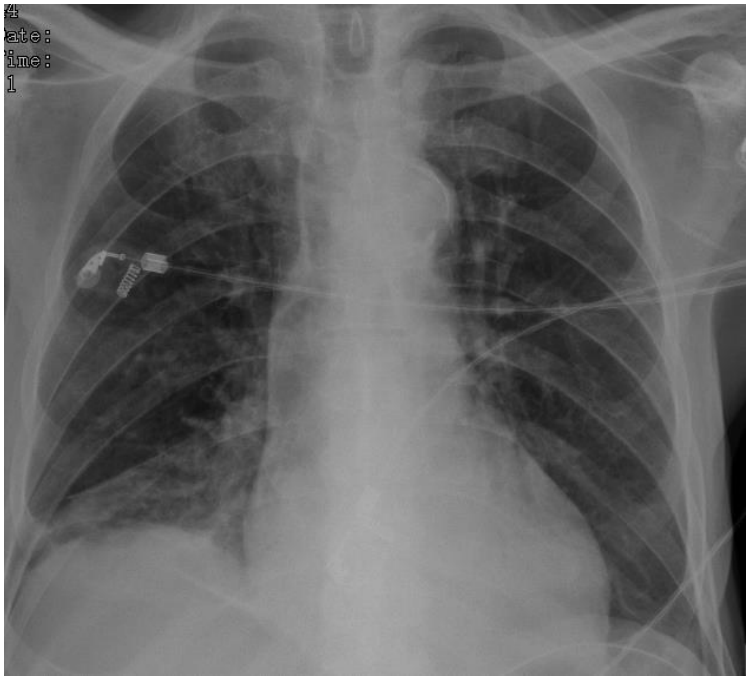
	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,04**
paCO2	*35-45 mmHg*	**30**
paO2	*83-108 mmHg*	**60**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**7,9**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-21,4**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**11,6**
Sat.O2	*95-98 %*	**86**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**118**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**170**



6. Falta de ar no pulmão saudável

Clínica…

- Homem 70 anos
- Fumador 10 UMA
- Pos Op de GIST gástrico
- Dupla falência de suspensão de VM



FiO2:60%

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,23**
paCO2	*35-45 mmHg*	**114**
paO2	*83-108 mmHg*	**58**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**47,7**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**15,6**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**11,8**
Sat.O2	*95-98 %*	**84**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**154**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**8**

Vinheta Clínica…

- Homem 70 anos
- Dupla falência de suspensão de VM
- Fasciculações face, MS e MI + hiperreflexia + atrofia muscular

Electromiografia:
Fibrilhações e ondas lentas positivas no extensor comum dos dedos e 1º interósseo dorsal direitos, tibiais anteriores e gémeo interno esquerdo. Fasciculações nos orbicular dos lábios direito, deltóide, bicípete, extensor comum dos dedos, 1º interósseo dorsal, vasto interno e gémeo interno direitos e tibiais anteriores.
Longo supinador direito e vasto interno esquerdo sem actividade espontânea.
Em contracção voluntária máxima todos os músculos estudados, com excepção do orbicular dos lábios e deltóide direitos, apresentam traçados intermediários, alguns empobrecidos, com recrutamento reduzido com PUM polifásicos e de amplitude e duração aumentadas.

CONCLUSÃO:
Achados electroneuromiográficos sugestivos do diagnóstico de provável neuronopatia motora (d. neurónio motor?).

Bomba / Controlo ineficazes...

1. Com CO_2 elevado → ventilação deficiente

2. Alvéolos não ventilados não oxigenam

3 . Pulmão anatómica e funcionalmente íntegro

Então...

- A correcção do problema passa por:

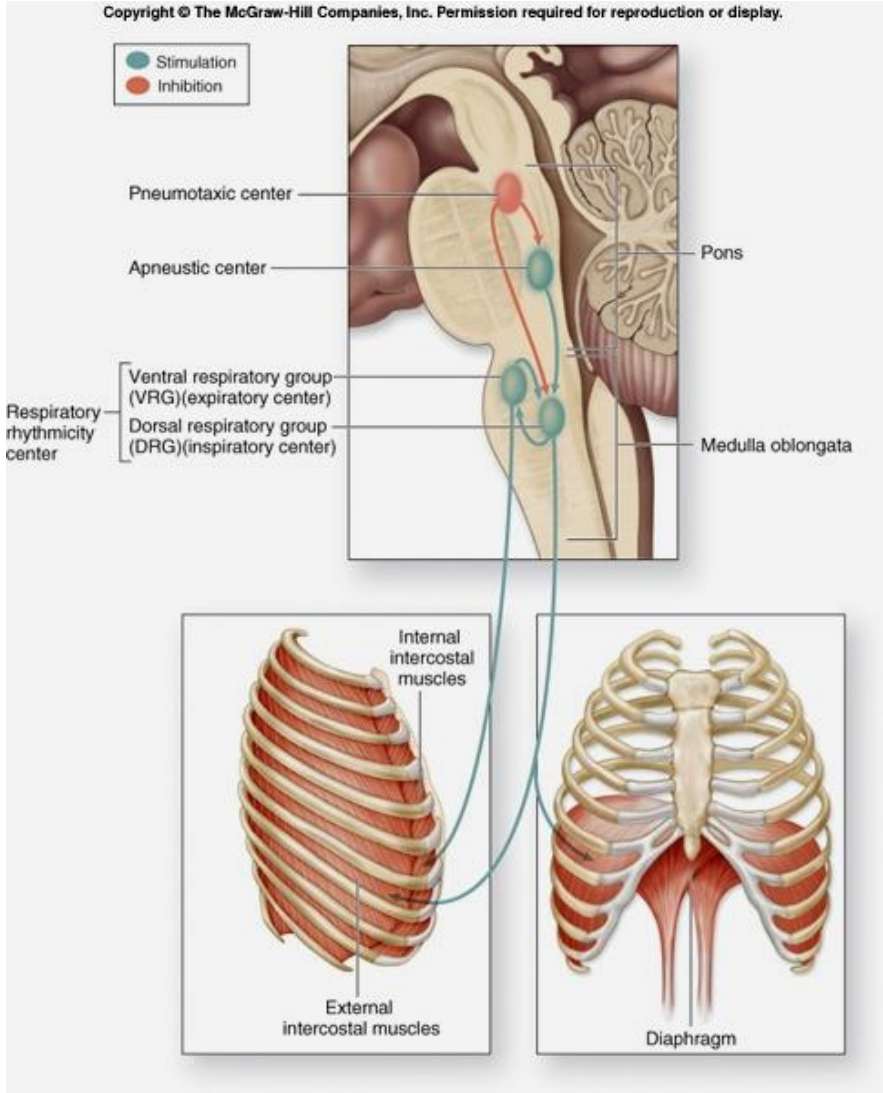
- Suporte transitório + resolução da causa

Ou

- Dependência de VM crónica

Controlo - Centros Respiratórios:

- 1. Ventral (Expiratório)
- 2. Dorsal (Inspiratório)
- 3. Pneumotáxico
- 4. Apneustico



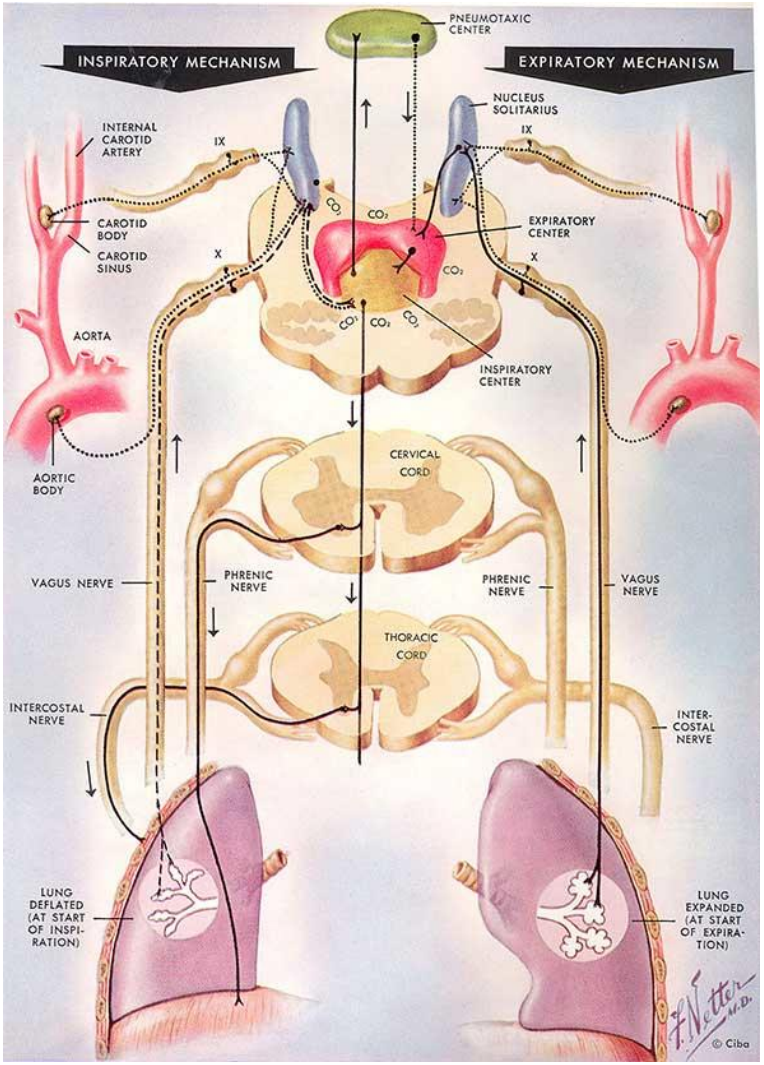
Controlo da Respiração:

- O controlo da função ventilatória é assumido pelo **centro respiratório**, localizado na medula alongada

- Este recebe 3 tipos de influências:

1. **Nervosa**: veiculada por fibras do **vago**, com extremidades nos músculos intercostais e parênquima pulmonar, sensíveis à distensão → limitação da excursão inspiratória

- **Reflexo de Hering-Breuer** → Distensão excessiva (Vt elevado) ou muito rápida (rampa elevada) → inibição e desligar da rampa inspiratória



Controlo da Respiração:

- Este recebe 3 tipos de influências (cont.):

2. Química:

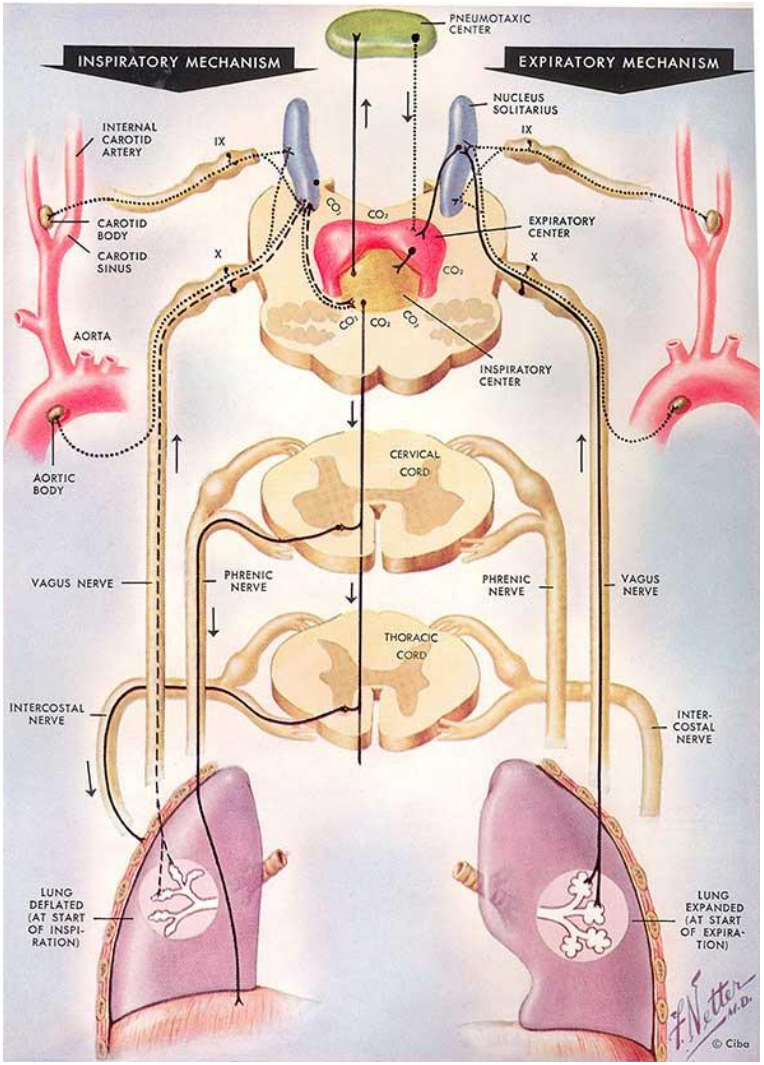
A) **Centrais:** O próprio centro respiratório é sensível a altas [ ] de **CO_2 e H^+**

(→ Principal estímulo da ventilação

(não ao teor de O2, excepto se retentor crónico)

B) **Periféricos:** Quimiorreceptores do corpo carotídeo e da aorta são sensíveis ao **O_2 no plasma**

→ Perante H^+ ou CO_2 elevados ou O_2 baixo, o centro respiratório aumenta a FR



Controlo da Respiração:

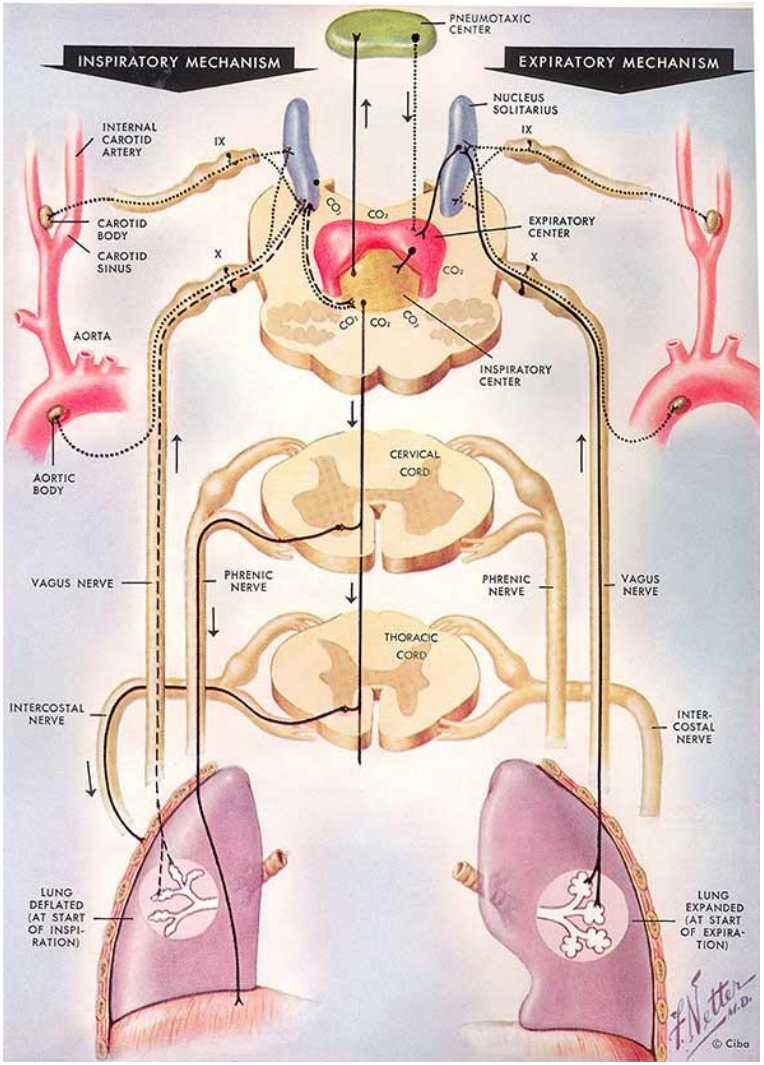
- Este recebe 3 tipos de influências (cont.):

3. Controlo cortical

(efeito do córtex cerebral - volitivo)

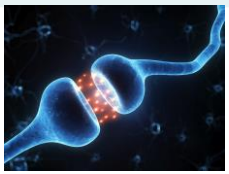
- Donde a capacidade de alterar a FR (dentro de certos limites), através da vontade do indivíduo

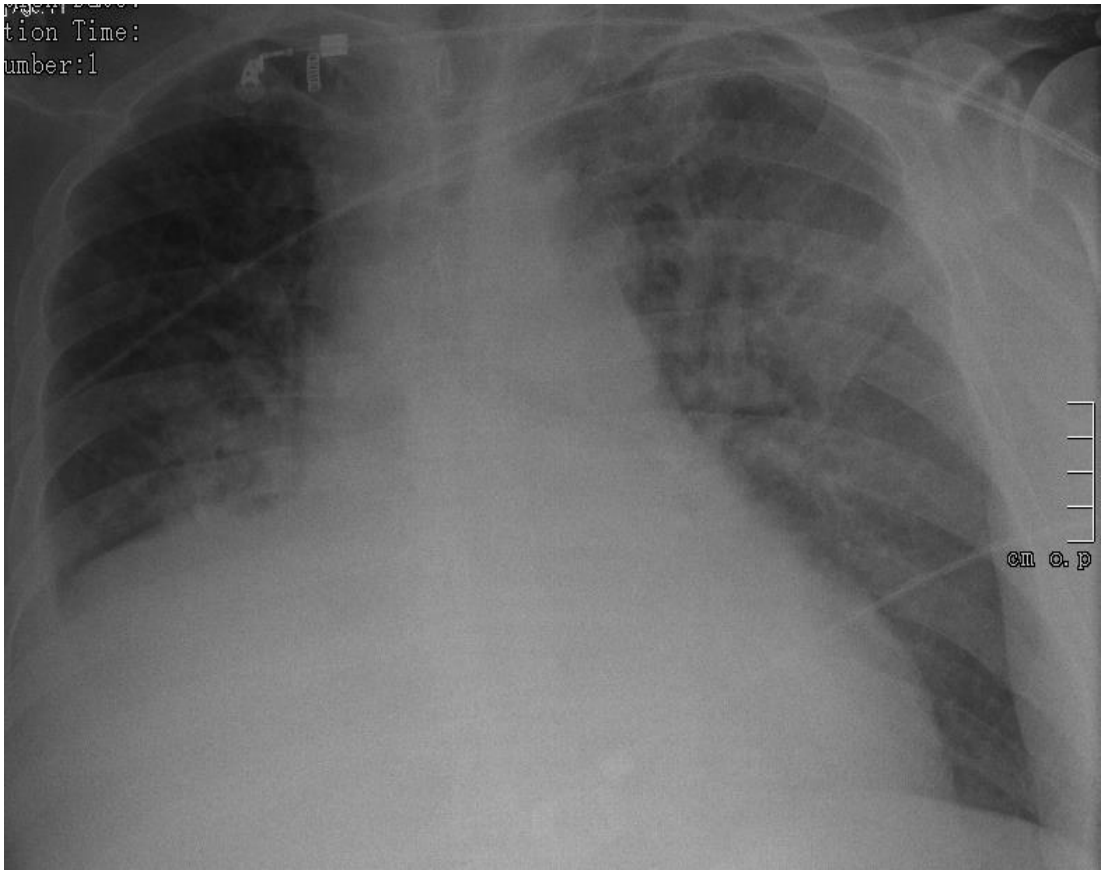
→ O estímulo respiratório é depois conduzido aos ms. intercostais (nervos espinhais) e ao diafragma – ***nervo frénico*** → desencadear (ou inibir) da inspiração



Défice de Bomba / Controlo (hipoventilação)

Depressão do SNC	Doenças neurológicas	Doenças neuro-musculares	Doenças da parede torácica
- **Sedativos** - A.V.C. - Apneia central - **Alcalose metab.** - **Mixedema** - Hiperóxia	- **Trauma VM** - **E.L.A.** - Poliomielite - Esc. múltipla - **S. G. Barré** - Botulismo	- Aminoglicósidos - Ags. paralisantes - Esteróides - Miastenia gravis - Distrofia muscul. - Alts. electrolíticas - Défice nutricionais - Fadiga muscular - Mioneuropatia CI's	- Cifoescoliose - Espondilite anquilosante - Retalho costal

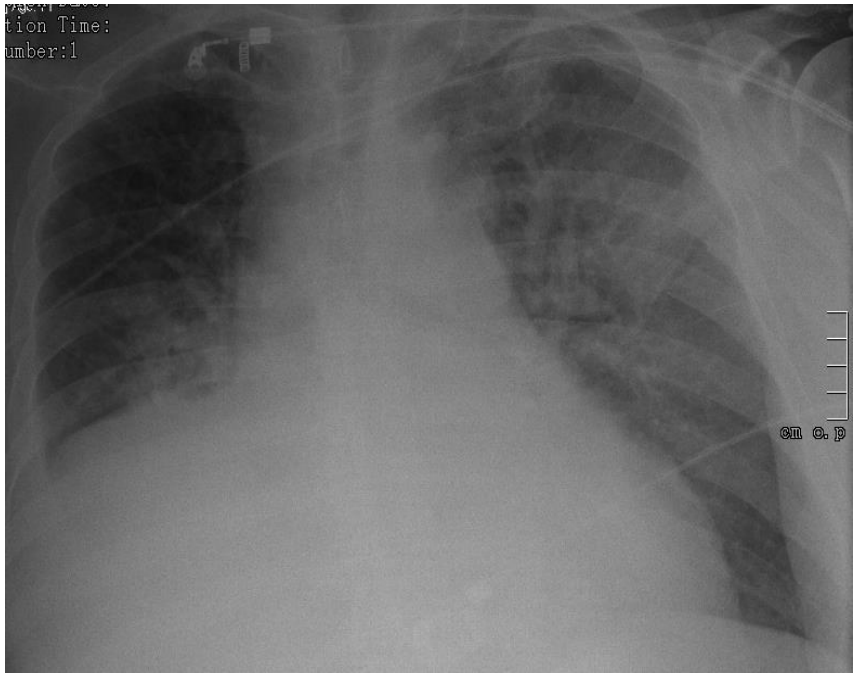




7. Um caso de verdadeira falta de ar

Clínica…

- Mulher 55 anos
- Fumadora 50 UMA; DPOC sob OLD
- Insuficiência respiratória crónica agudizada



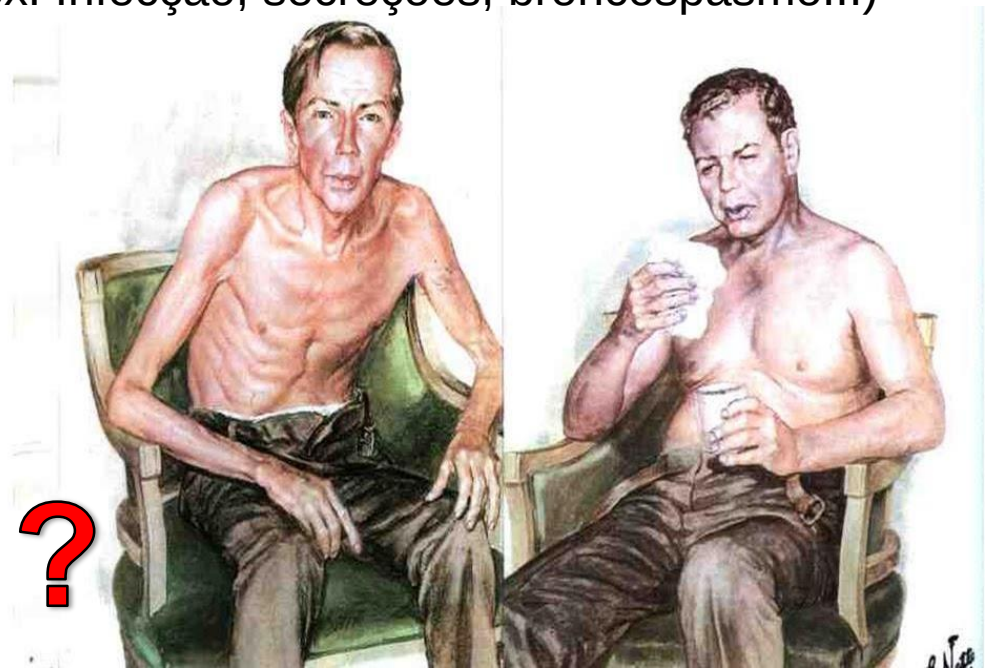
FiO2:30%

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,32**
paCO2	*35-45 mmHg*	**75**
paO2	*83-108 mmHg*	**75**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**38,8**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**10,1**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**10,9**
Sat.O2	*95-98 %*	**93**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**211**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**5**

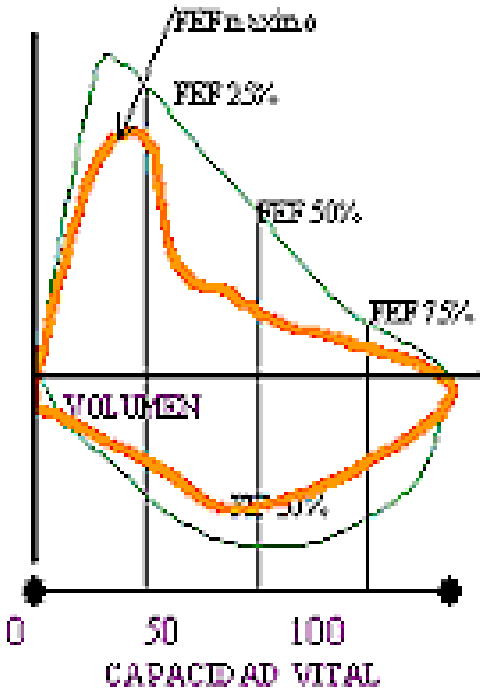
Acidémia respiratória... Incapacidade de renovar o ar alveolar

- Défice da **bomba respiratória** (incapacidade de gerar diferencial de pressão necessário à movimentação do ar até aos alvéolos (centro respiratório, nervos, músculos...)
- Aumento do espaço morto
- Aumento do trabalho respiratório (ex. Infecção, secreções, broncospasmo...)
- Acidose → distúrbio crónico → tempo para compensação renal (dias, semanas...)
- **Acidémia → desequilíbrio agudo sobreposto**

O2 ?



Vinheta Clínica…



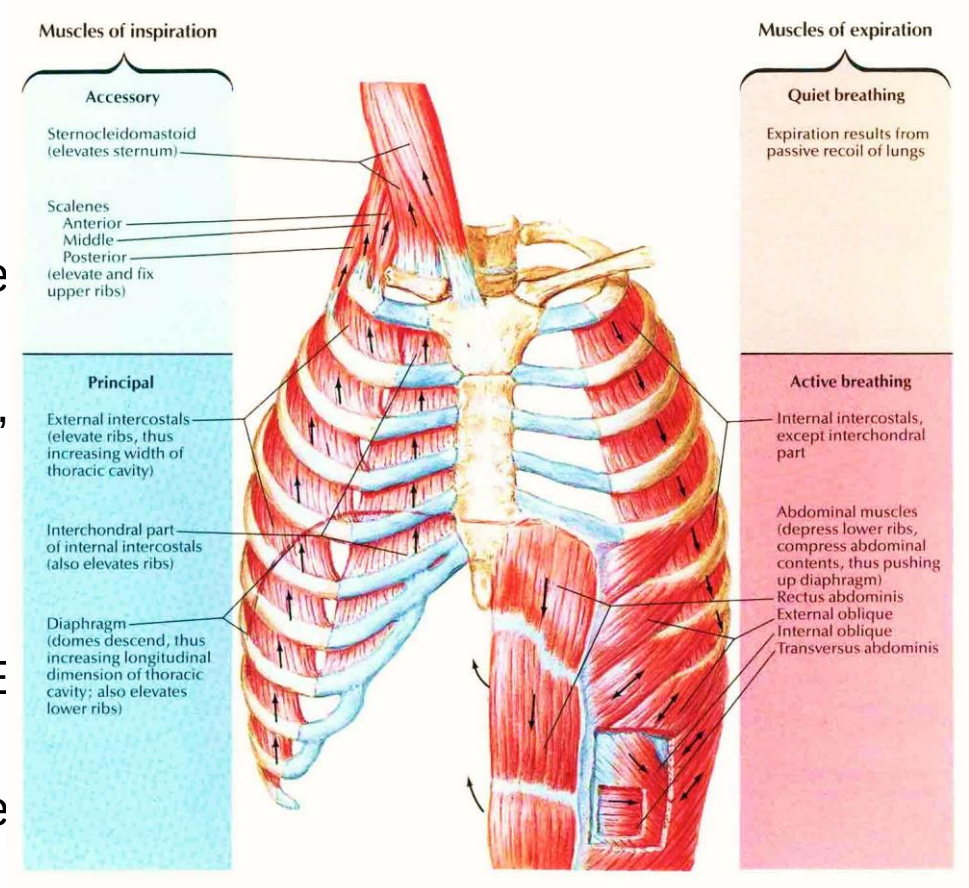
Obstructivo

FiO2:30%

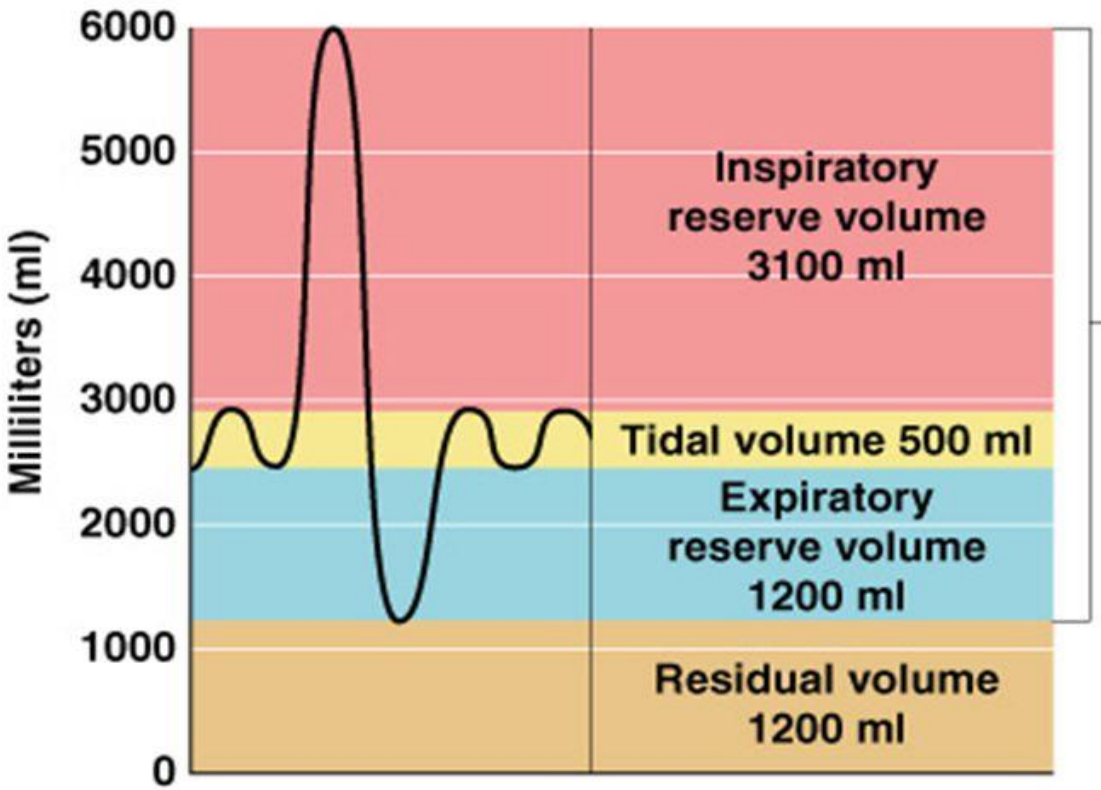
	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,32**
paCO2	*35-45 mmHg*	**75**
paO2	*83-108 mmHg*	**75**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**38,8**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**10,1**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**10,9**
Sat.O2	*95-98 %*	**93**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**211**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**5**

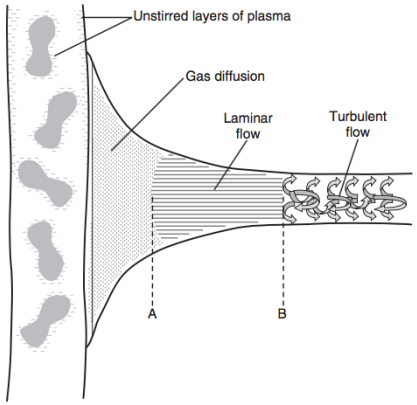
Bomba Respiratória - Músculos:

- Grelha costal;
- Pleuras (parietal e visceral);
- **Músculos Inspiratórios**
  - Diafragma, Intercostais Externos e Internos paraesternais
  - Acessórios - esternocleidomastoideus, escalenos;
- **Musculos Expiratórios**
  - Em repouso processo TOTALMENTE passivo
  - Acessórios - Intercostais Internos e abdominais



Bomba Respiratória - Volumes Pulmonares





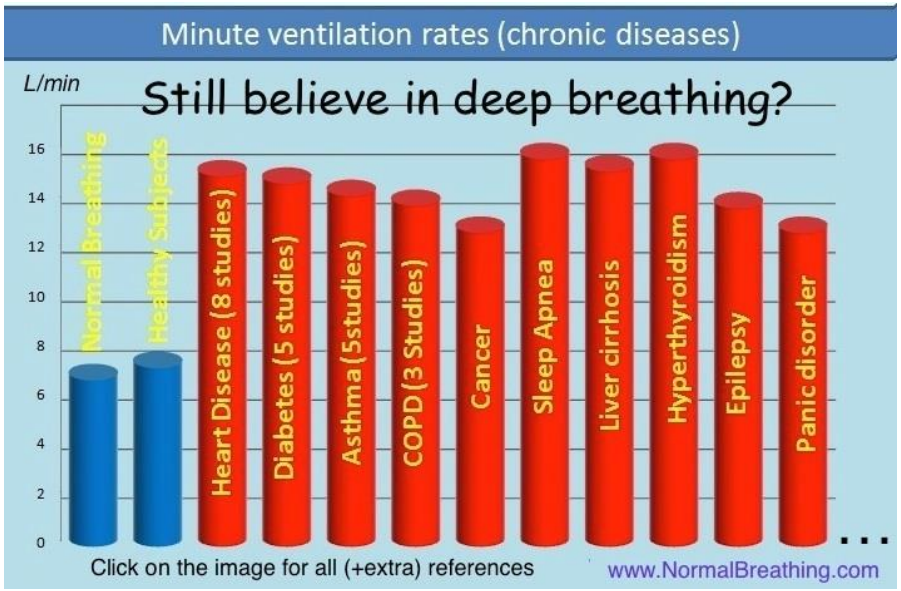
Bomba Respiratória – Volume /minuto

= Quantidade total de ar novo que entra nas vias respiratórias em cada minuto

Volume corrente	x	**Frequência respiratória**	
(500 ml)		(12 ciclos/min)	= **6 L/min**

- Necessidade é determinada pelo metabolismo...

Taxa de produção de CO_2!



Bomba Respiratória – Ventilação alveolar

- A ventilação alveolar por minuto não é igual ao volume respiratório minuto...

- **ESPAÇO MORTO ANATÓMICO e FISIOLÓGICO**

- Volume de ar que entra nos alvéolos a cada respiração = **volume corrente – volume do espaço morto**

FR x (vol. corrente – vol. espaço morto fisiológico)
± 3,6 L

Bomba Respiratória...

- Em ventilação mecânica a nossa intervenção consiste sobretudo em:
- Suportar total ou parcialmente o esforço da bomba ventilatória do doente
- Permitir o repouso dos músculos respiratórios

Programamos:

- Volume corrente ou
- Pressão controlada / assistida
- Frequência respiratória
- ...

Correlação com $paCO_2$

Bomba Respiratória...

1. VNI

	Parâmetros	Resultados
IPAP	*10 →*	**Vt ? VM?**
FR (backup)	*12*	
FiO2	*8 L (35%)*	**paO2 / SatO2?**
EPAP	*5 →*	

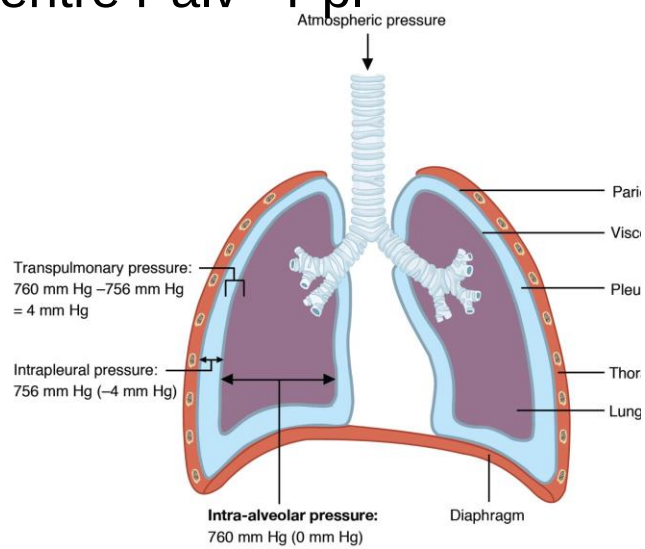
Que Vt esta pressão vai gerar ?

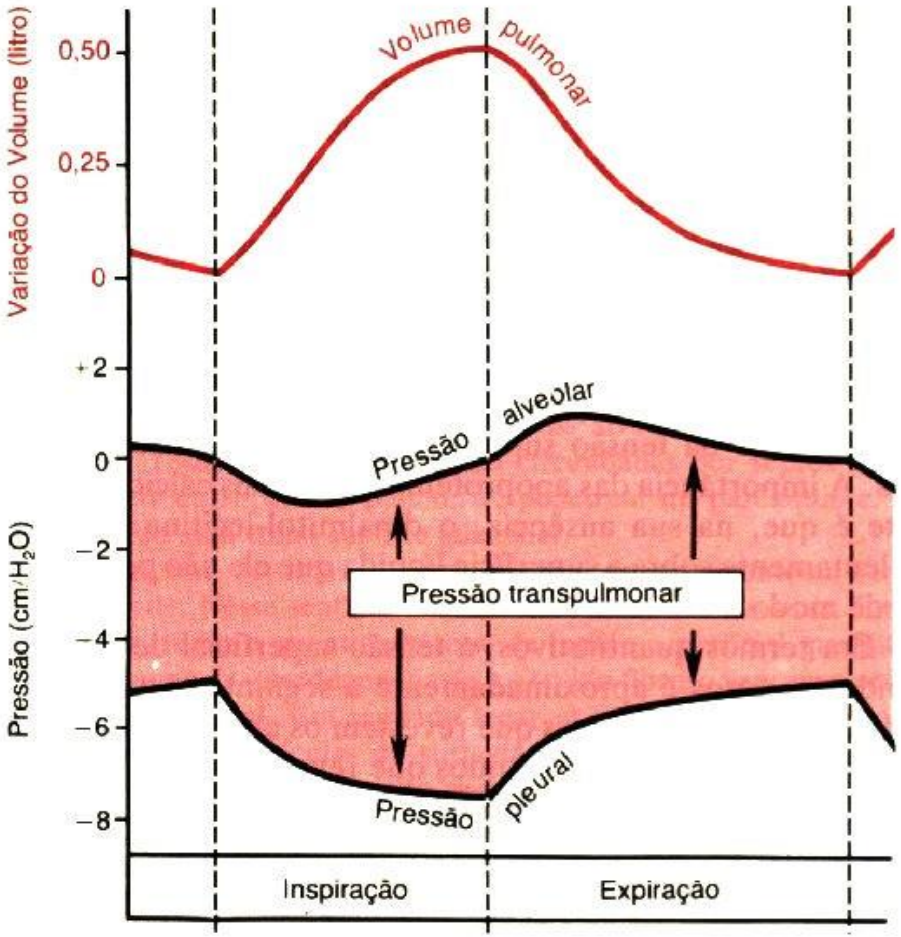
De que VM o doente necessita ?

Bomba Respiratória – Pressões:

1. ***Pressão alveolar (Palv)***
2. ***Pressão transpulmonar (Ptp)***
3. ***Pressão pleural (Ppl)***

- A inspiração aumenta a Palv e Ptp
- A pressão transpulmonar é a diferença entre Palv - Ppl





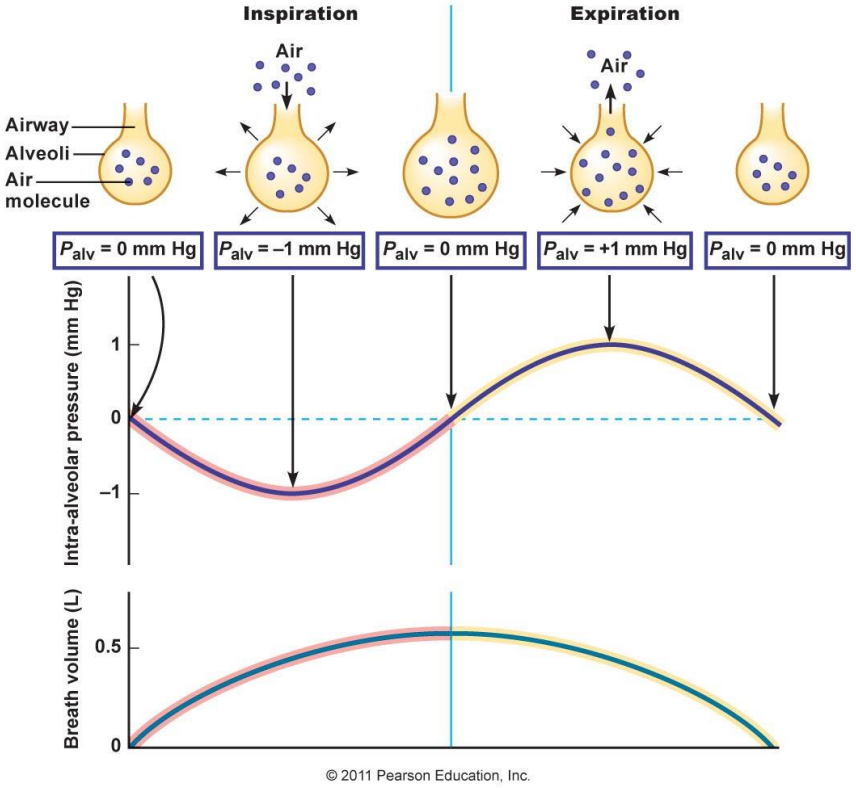
Bomba Respiratória:

- ***Pressão Alveolar (Palv)***

- Na inspiração, a pressão intra-alveolar torna-se ligeiramente negativa em relação à pressão atmosférica (< **-1 mm Hg**), o que faz o ar entrar

- Na expiração, a pressão intra-alveolar eleva-se a **+1 mm Hg**, fazendo o ar sair

- Consegue medir-se de forma aproximada através da ***Pesofágica***



Bomba Respiratória - Pressões:

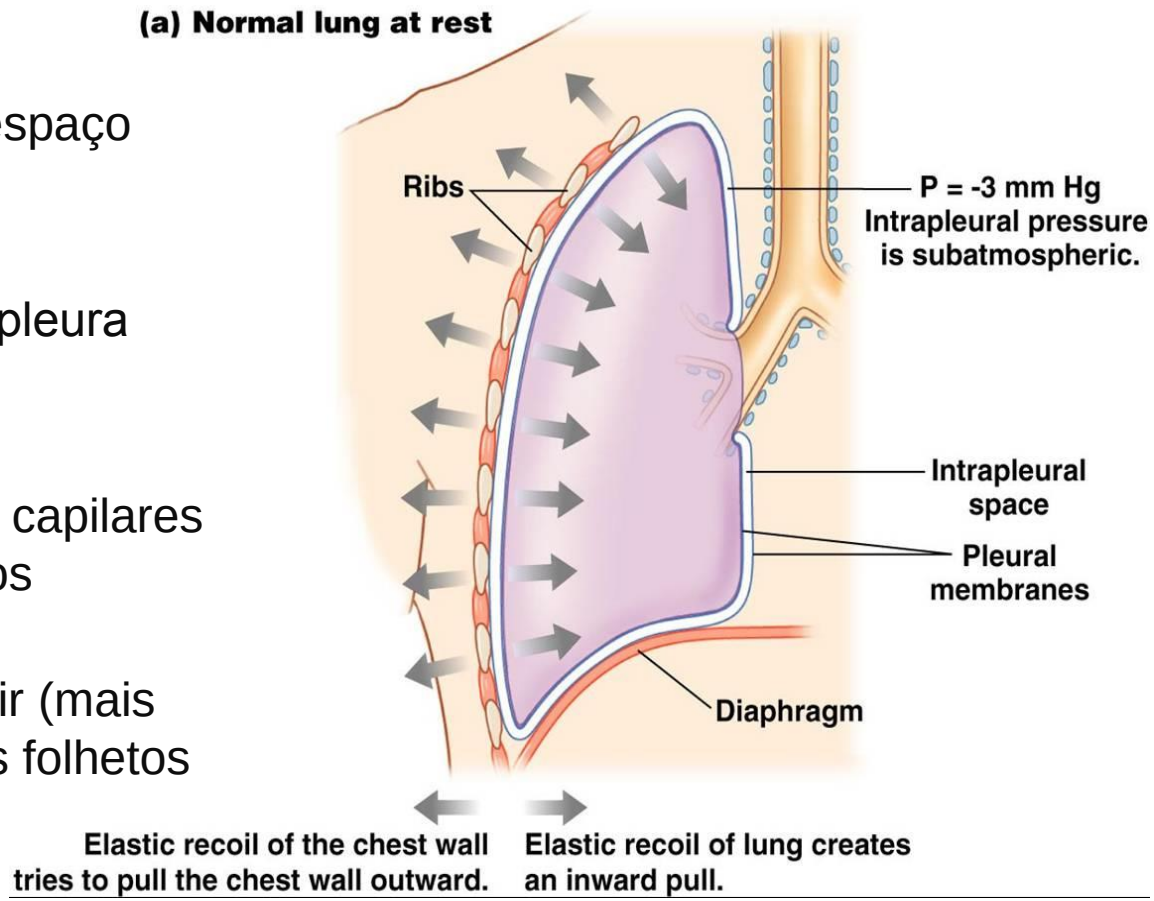
- ***Pressão Intra-Pleural***

- A pressão normal do líquido do espaço intra-pleural: (*–3 a -7,5 mm Hg)*,

- Força de sucção que “prende” a pleura visceral à parietal

- Devida à tendência contínua dos capilares pleurais para absorver o líquido dos espaços intra-pleurais

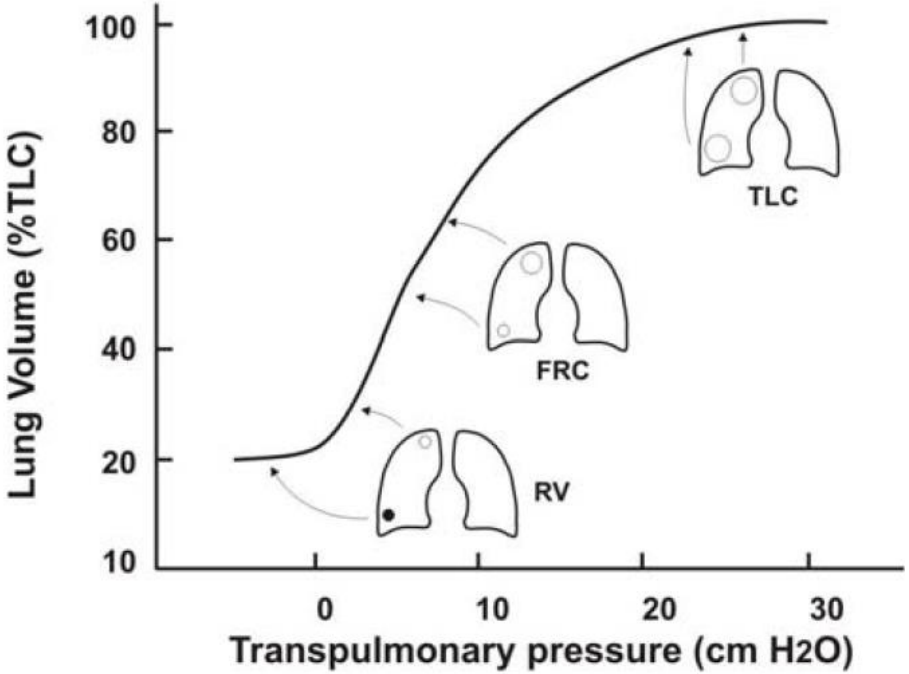
- Na inspiração ela tende a diminuir (mais negativa), mantendo a adesão dos folhetos



Bomba Respiratória - Pressões:

- ***Pressão Transpulmonar***

- **Diferença entre Palv-Ppl**
- Verdadeira correlação com risco de lesão alveolar
- Geralmente pode ser expressa como **Pplat-Ppl**



8. Doente que "resiste" à ventilação

Clínica…

- Homem 29 anos
- Asma não tratada
- Trabalhador em churrasqueira
- EOT pela VMER – mal asmático
- Curarizado

FiO2:100%

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,21**
paCO2	*35-45 mmHg*	**102**
paO2	*83-108 mmHg*	**58**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**23,1**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**10,1**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**16,9**
Sat.O2	*95-98 %*	**89**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**149**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**28**

Fisiologia Ventilação com Pressão Positiva

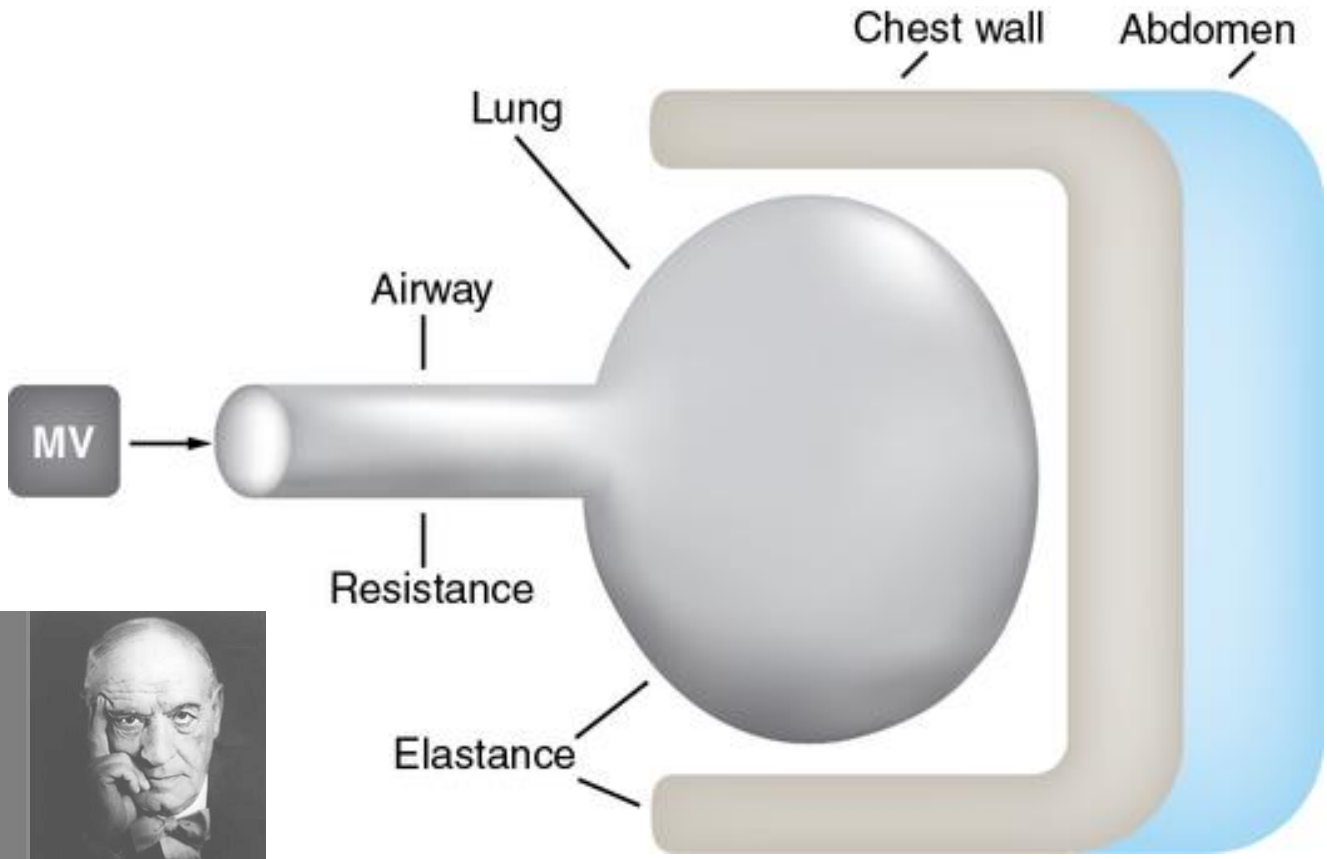
Objectivos

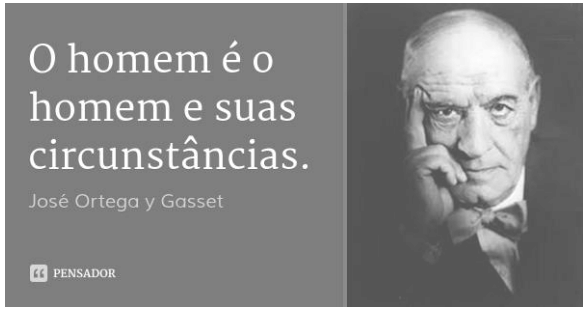
1. Oxigenar eficazmente
2. Eliminar o CO2
3. Repousar os músculos respiratórios

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,11**
paCO2	*35-45 mmHg*	**102**
paO2	*83-108 mmHg*	**58**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**17,1**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-8,1**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**16,9**
Sat.O2	*95-98 %*	**89**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**149**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**28**

Bomba Respiratória ...

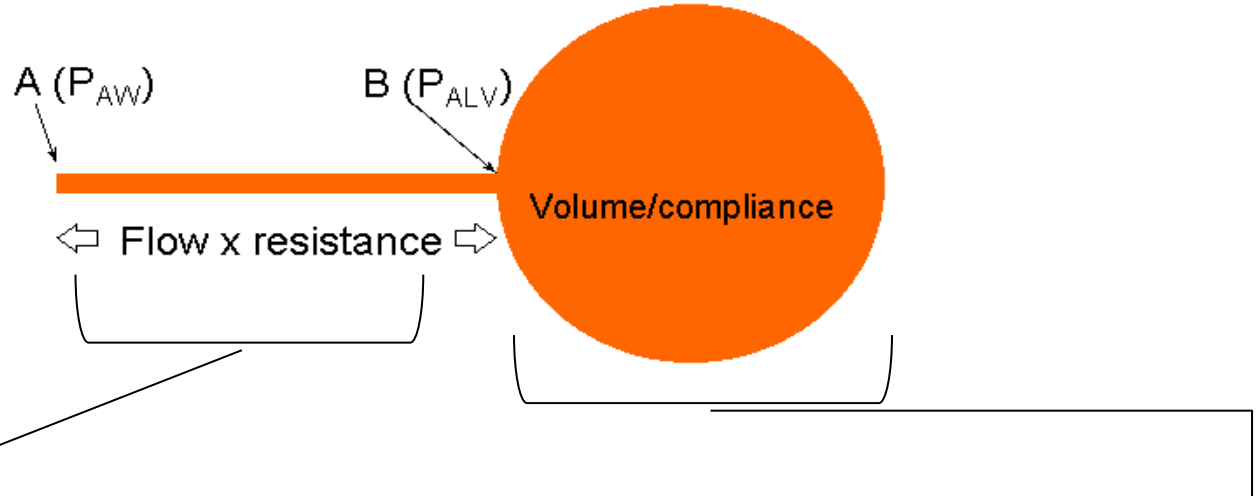
Como se dissipa a pressão que o ventilador insufla na via aérea ?





Bomba Respiratória - Equação de Movimento do Sistema:

Paw= Fluxo X Resistência + Volume/Compliance + PEEPt



A) ***Pressão "resistiva"*** (pressão das vias aéreas) → Fluxo e resistência

B) Pressão "elástica" (pressão representada pelos alvéolos) → Volume e compliance

Bomba Respiratória:

- ***Compliance***

= **facilidade relativa com que uma dada estrutura distende;**

N = 0,2 ml/cm (por cada cm H2O de pressão TP os pulmões expandem 200 ml)

- Inverso de elastância (i.e., tendência de uma estrutura para retornar à sua forma original após ser distendida)

- **Propriedades elásticas do pulmão**
  - tensão superficial (2/3)
  - fibras elásticas

- **Propriedades elásticas do tórax**
  - elasticidade dos músculos, tendões e tecido conjuntivo
  - Contributo da pressão abdominal

Bomba Respiratória:

- ***Resistência***

= **medida da pressão necessária para entregar determinado fluxo** (N: 0,5-1,5 cmH20/L/s)

$$R = \Delta V / P$$

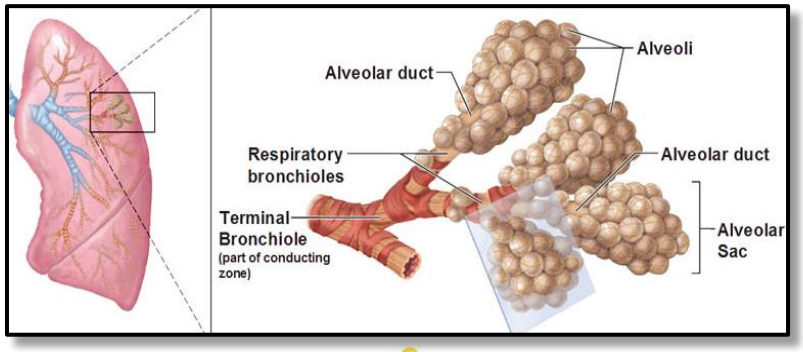
$$R = 8\eta l / \pi r^4$$

- ***Lei de Poiseille:***

i.e, a resistência varia...

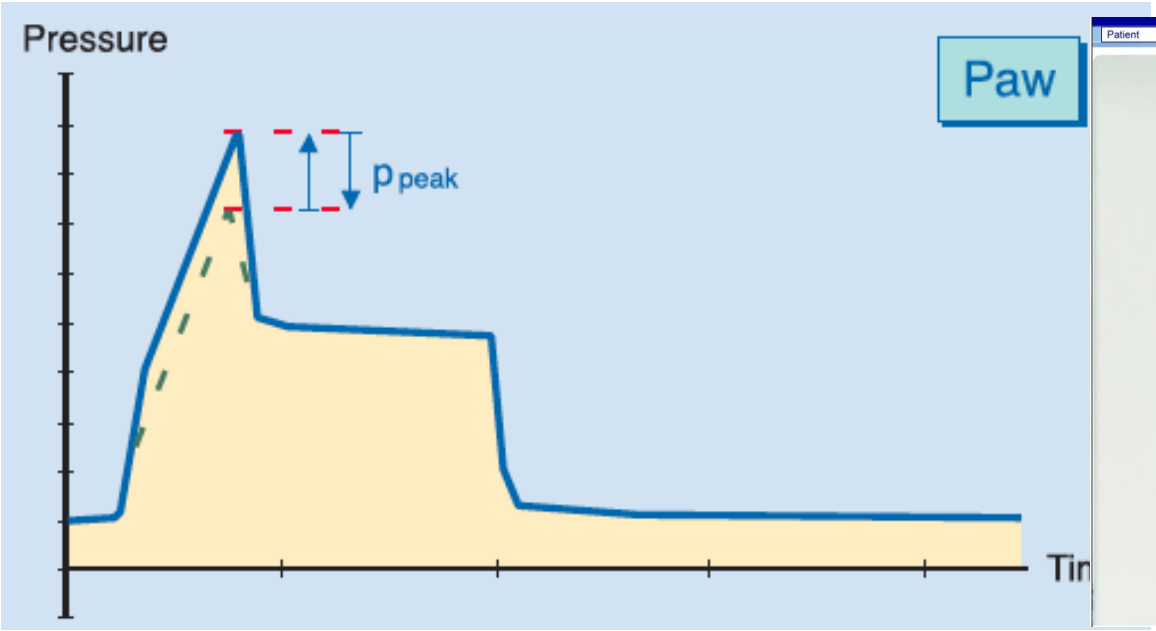
A) Directamente com a viscosidade do fluído (η) e o comprimento do conduto (l)

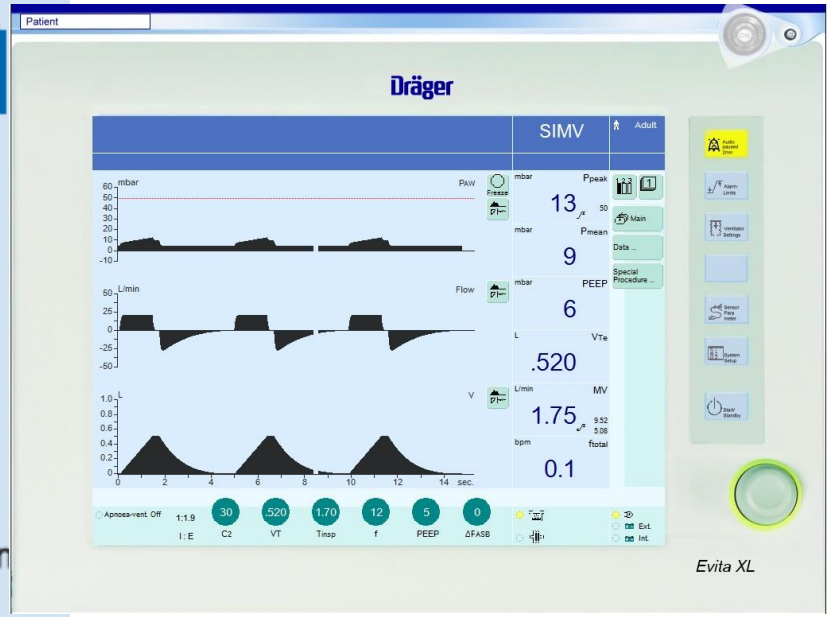
B) Inversamente com o raio (r)



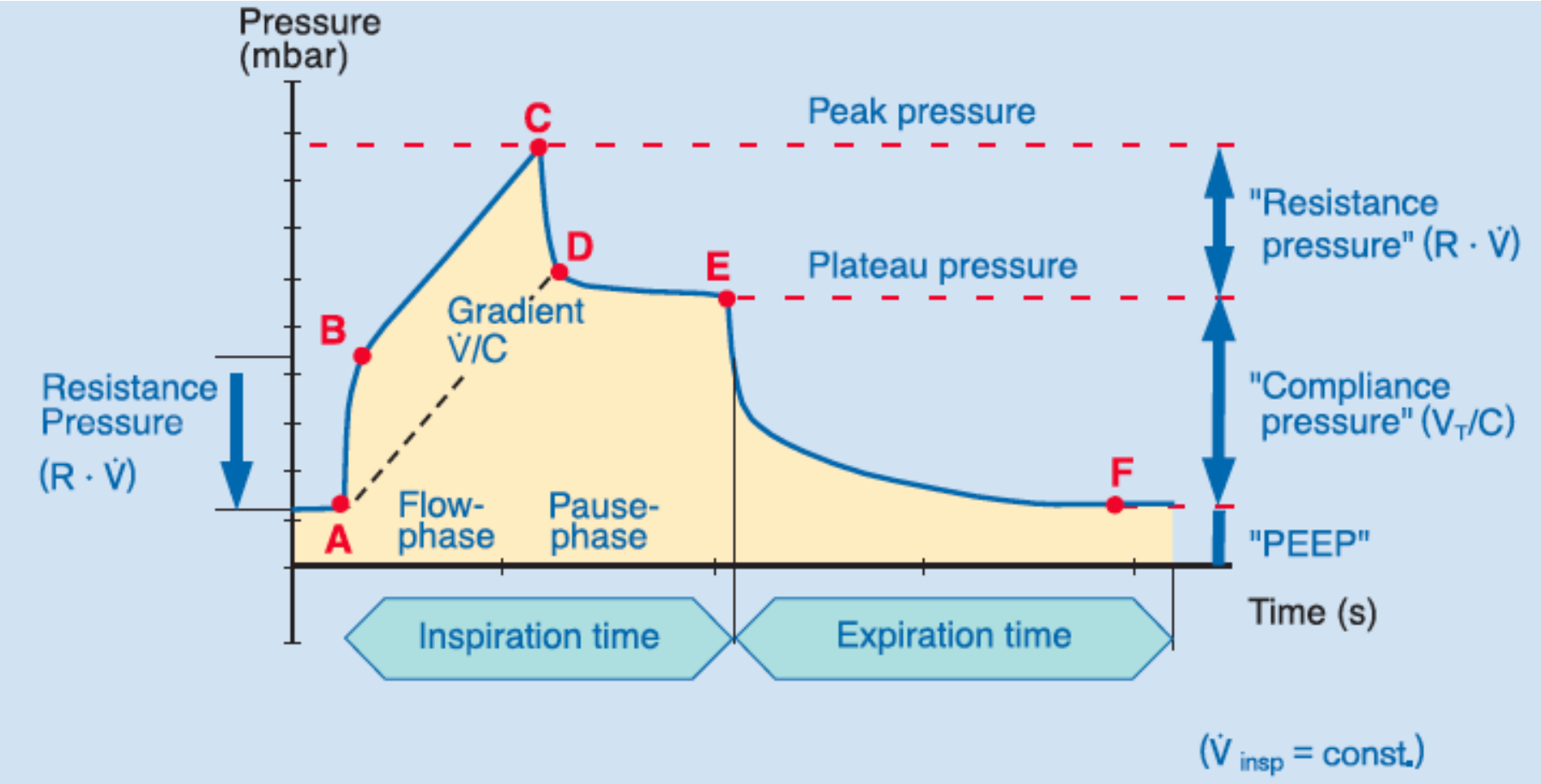
Voltando ao nosso doente... Dificuldade em ventilar

1. "Não consigo ventilar o doente porque a Ppico sobe e o ventilador limita o volume corrente entregue" → Volume minuto baixo





Fisiologia de VM com Pressão Positiva:



Fisiologia de VM com Pressão Positiva...

- **Avaliar a resistência (R_{aw})**

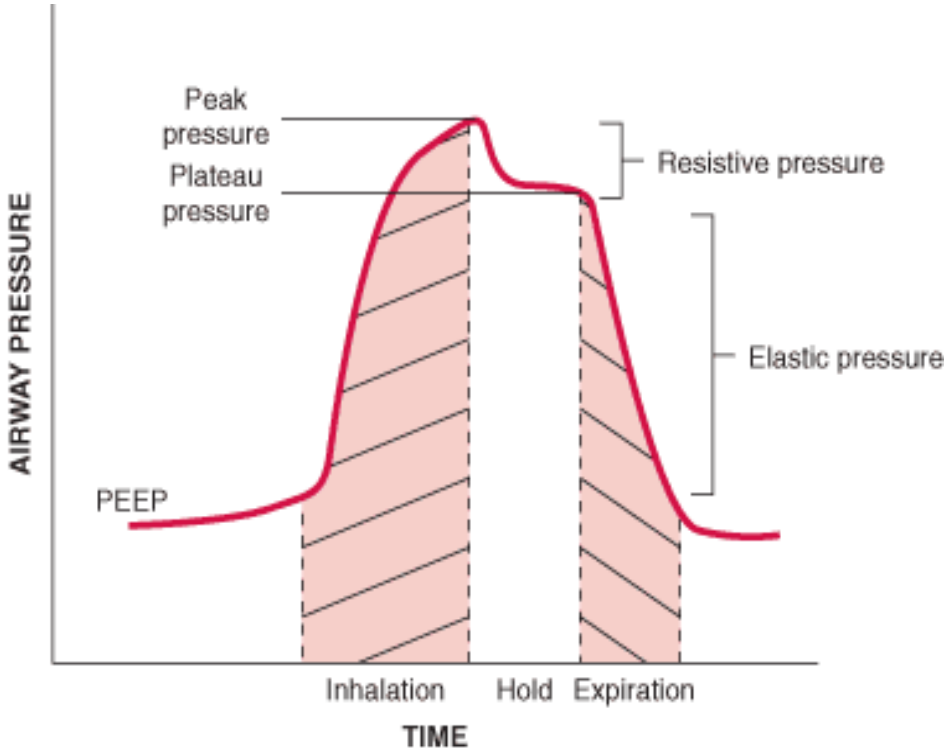
Ppico – Pressão máxima atingida no ciclo resp.

Pplateau – Pressão medida no fim da fase inspiratória, com ausência de fluxo

Ppico - Pplateau = Pressão resistiva

- ***Exige pausa insp + ausência de esforço dte.***

$$R_{aw} = (Ppico - Pplateau) / Fluxo$$



Fisiologia de VM com Pressão Positiva...

- **Avaliar a compliance estática (C_{stat})**

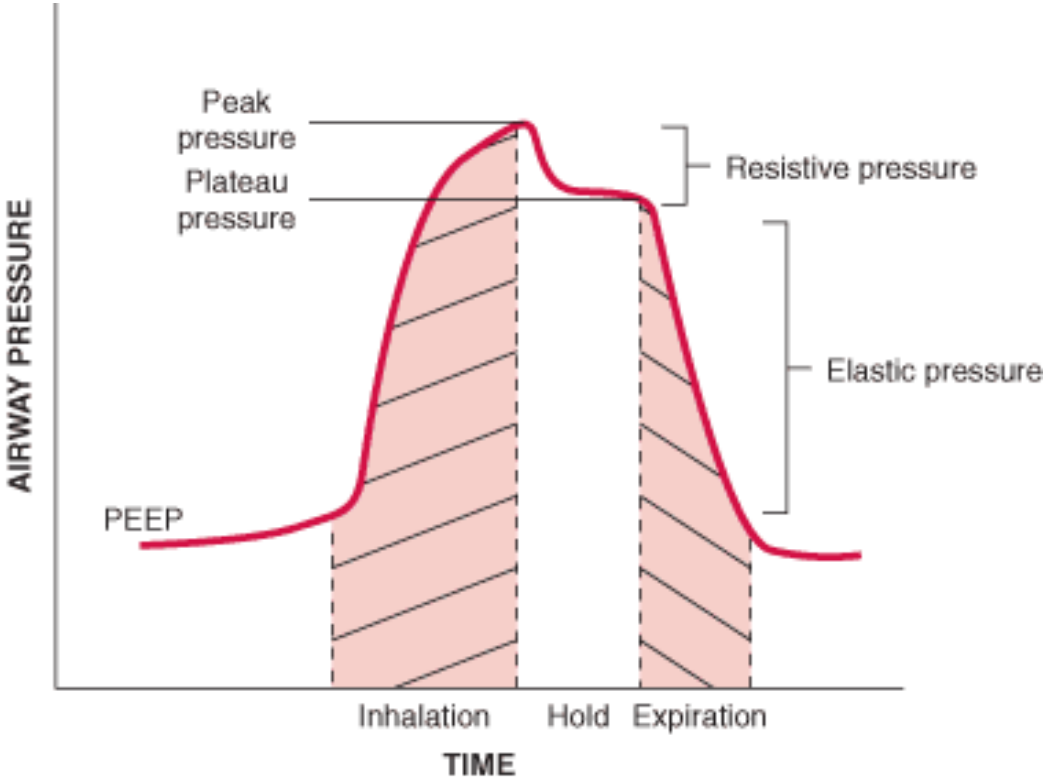
Pplateau – Pressão medida no fim da fase inspiratória, com ausência de fluxo

PEEPt – Pressão total em fim de expiração, perante ausência de fluxo

Pplateau- PEEPt = Pressão elástica

- ***Exige pausa exp. + ausência de esforço do doente***

$$C_{stat} = Vt / (Pplateau - PEEPt)$$

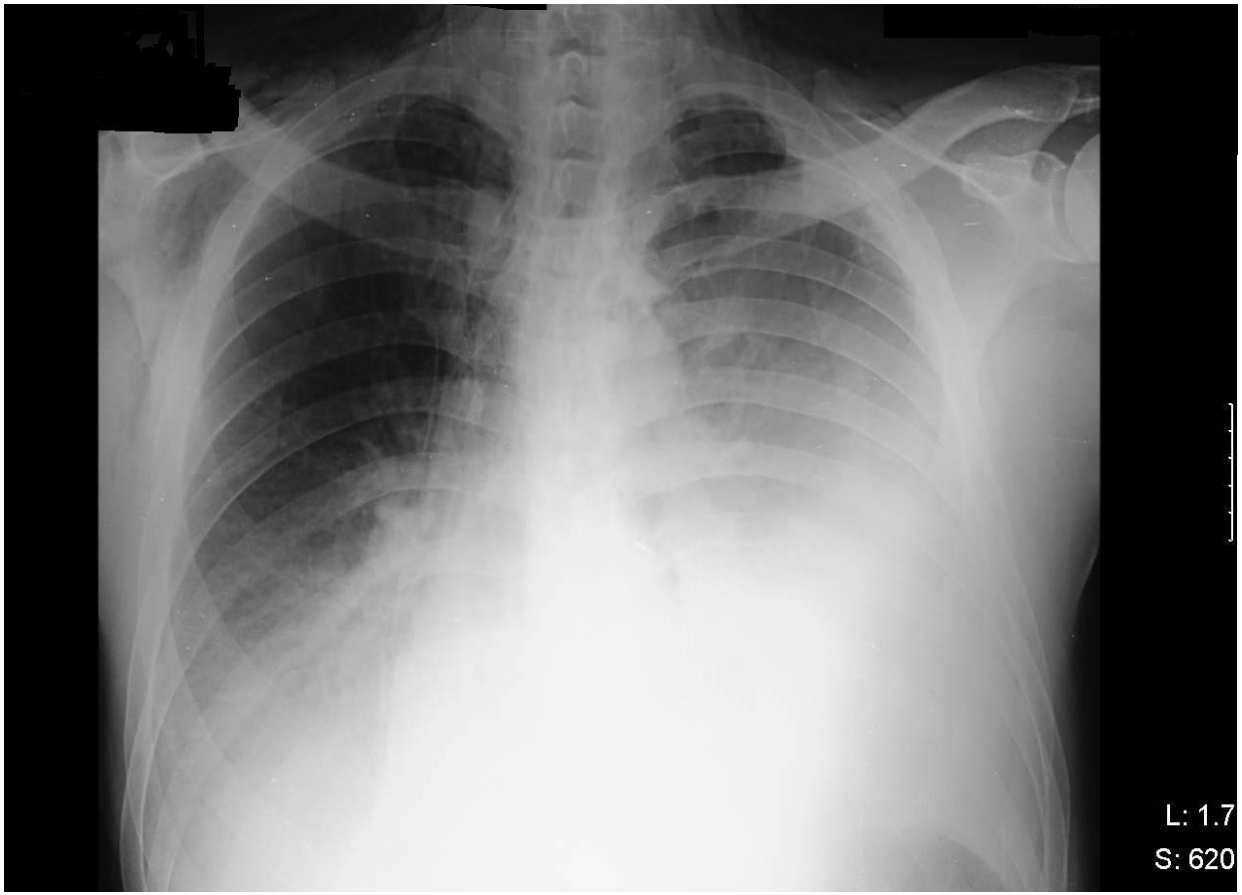


Dificuldade em ventilar...

1. Não consigo ventilar o doente porque a Ppico sobe e o ventilador limita o volume corrente entregue → Vminuto baixo

- ↑ Ppico
- Pplateau N
- ↑ Resistência

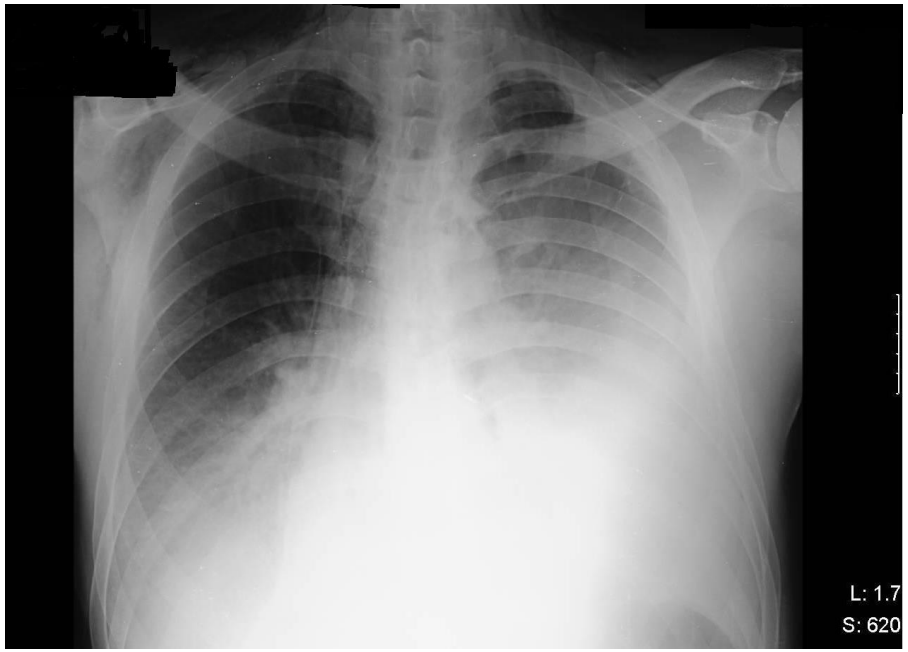
Causas: Broncospasmo; Tosse; Obstrução do tubo…



9. Doente que "resiste" à ventilação... Parte II

Clínica…

- Homem 48 Anos
- Alcoólico
- Pancreatite Aguda > Choque > VM
- PIA :23...

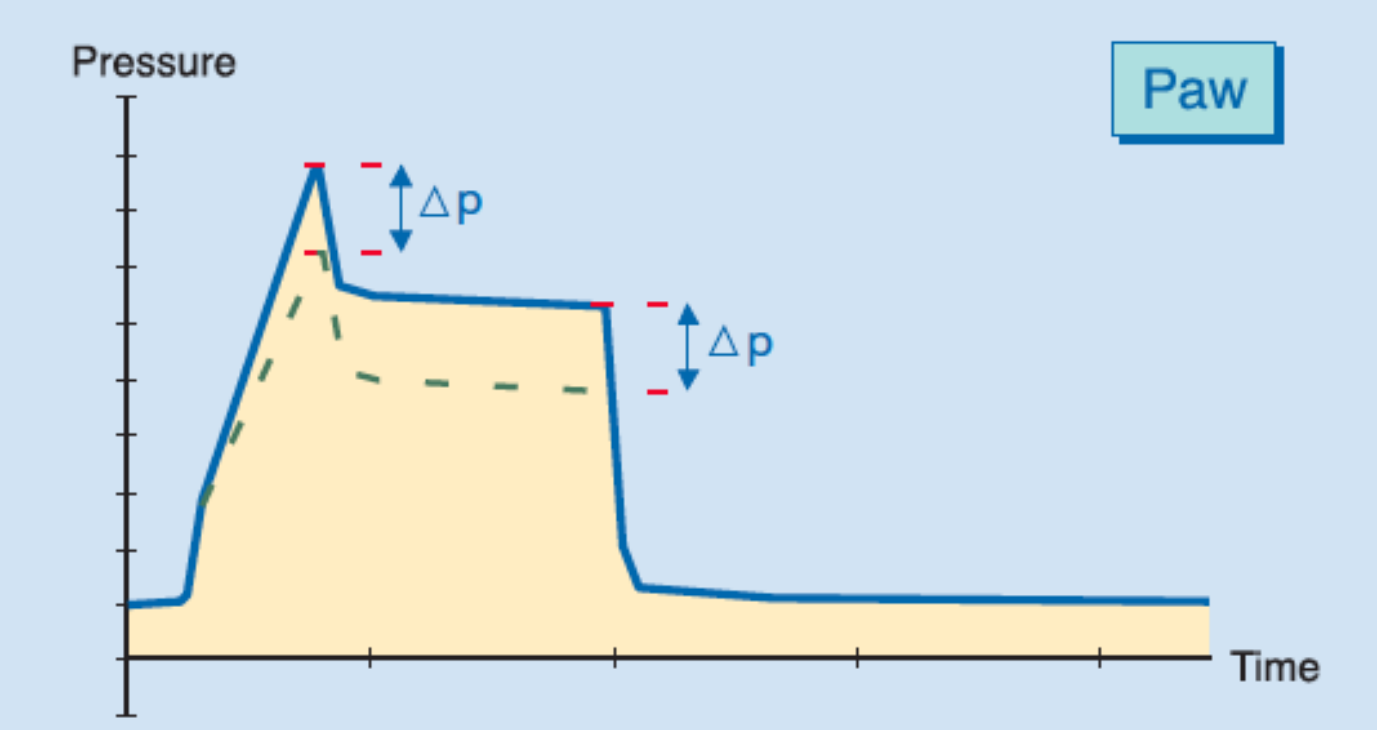


FiO2:60%

	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,27**
paCO2	*35-45 mmHg*	**88**
paO2	*83-108 mmHg*	**72**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**18,9**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-7,6**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**13,9**
Sat.O2	*95-98 %*	**93**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**201**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**33**

Dificuldade em ventilar...

" Não consigo ventilar o doente porque a Ppico sobe e o ventilador limita o volume corrente entregue → Volume minuto baixo"

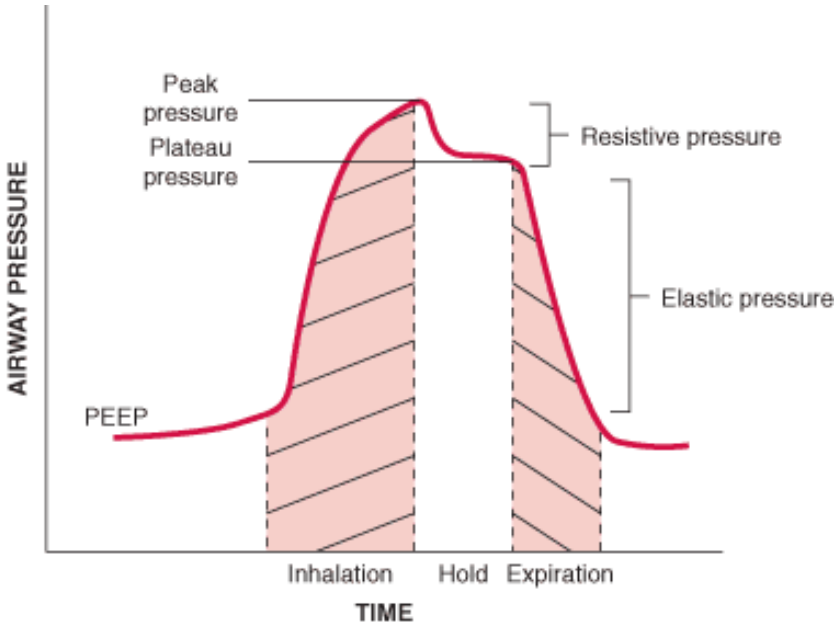


Fisiologia de VM com Pressão Positiva...

- **Avaliar a compliance estática (C_{stat})**

Pplateau – Pressão medida no fim da fase inspiratória, com ausência de fluxo

PEEPt – Pressão total em fim de expiração, perante ausência de fluxo



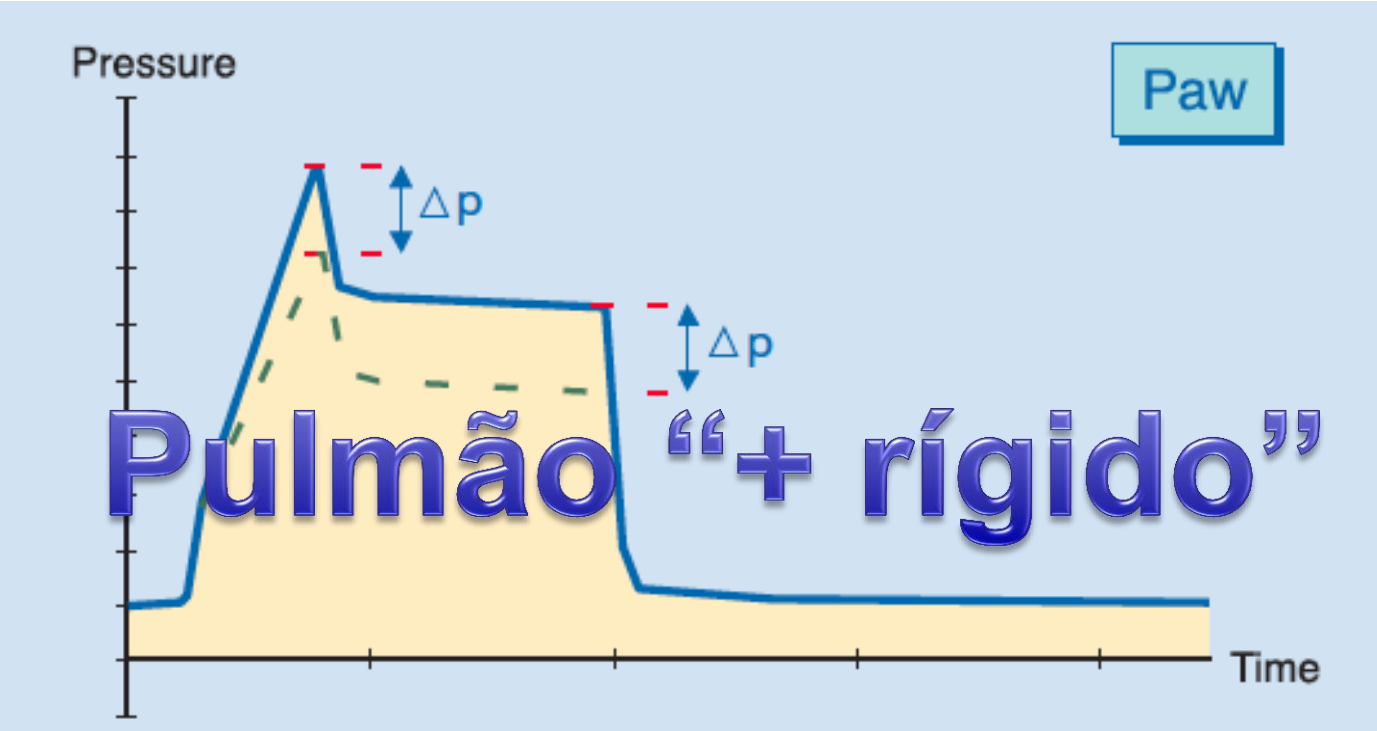
Pplateau- PEEPt = Pressão elástica

- ***Exige pausa exp. + ausência de esforço do doente***

$$C_{stat} = Vt / (Pplateau - PEEPt)$$

Fisiologia Aplicada...

2. Não consigo ventilar o doente porque a Ppico sobe e o ventilador limita o volume corrente entregue → Vminuto baixo



- ↑ Ppico
- ↑ Pplateau
- ↓ Compliance

Causas: Derrame pleural, pneumotórax, Aumento de PIA,...

Fisiologia Aplicada...

1º PADRÃO

Cstat baixa + Raw elevada

- ARDS
- Edema pulmonar
- Fibrose

2º PADRÃO

Cstat baixa + Raw normal

- Pneumotórax
- Derrame pleural
- Atelectasia
- Aumento da PIA
- Obesidade

3º PADRÃO

Cstat normal + Raw elevada

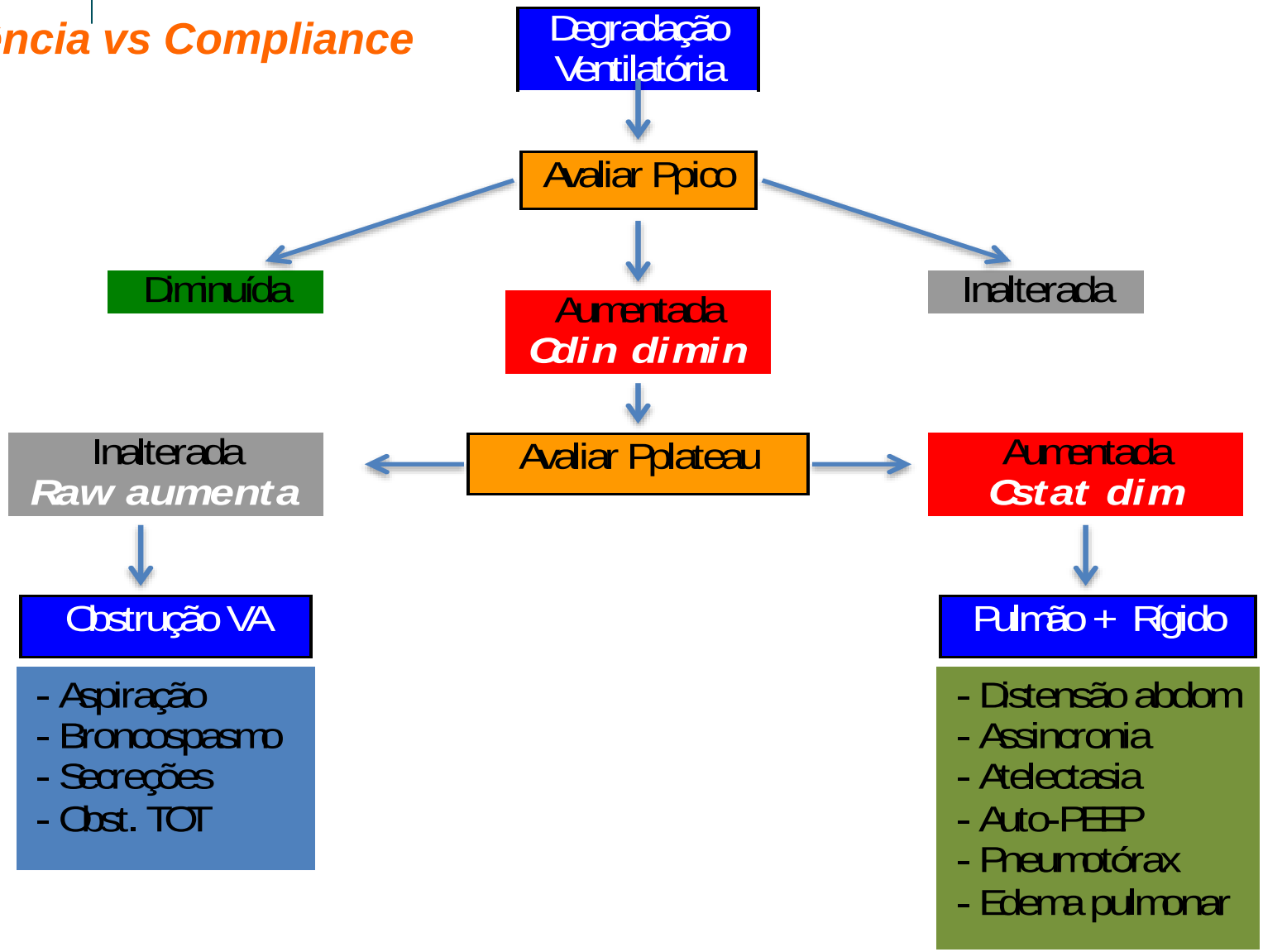
- Obstrução TOT
- Mordedura TOT
- Broncospasmo
- Tosse

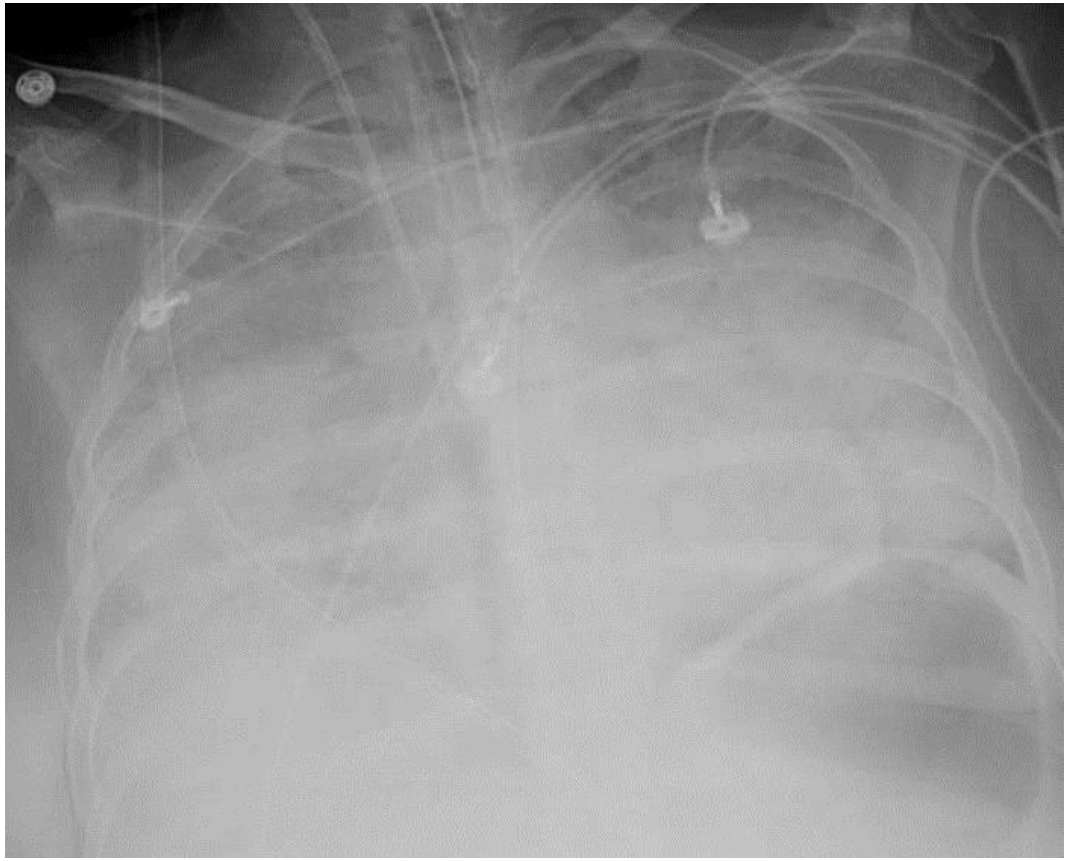
4º PADRÃO

Cstat elevada + Raw normal

- Retalho costal
- Enfisema
- Esternotomia

Resistência vs Compliance

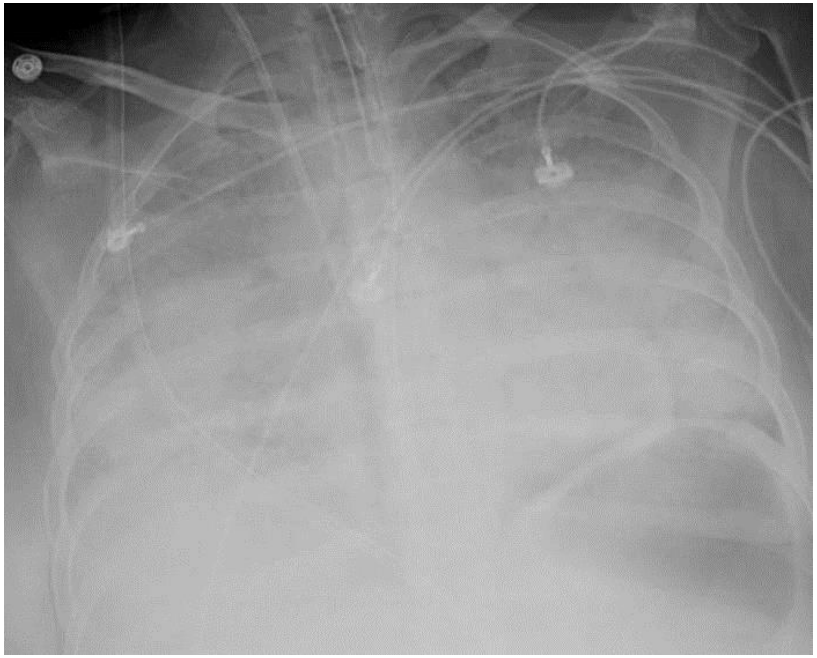




10. O tempo das decisões difíceis...

Clínica…

- Mulher 34 Anos
- Obesidade
- Síndroma gripal +/- 1 sem
- Dificuldade resp. em agravamento



	Valores Normais /Unids.	
pH	*7,35-7,45*	**7,08**
paCO2	*35-45 mmHg*	**101**
paO2	*83-108 mmHg*	**61**
HCO3- st	*21-28 mmol/L*	**17,2**
BE	*-2 a 3 mmol/L*	**-5,6**
Ct Hb	*13,5 – 17,5 g/dL*	**11,1**
Sat.O2	*95-98 %*	**92**
Gluc.	*65 – 95 mg/dL*	**177**
Lact.	*< 18 mg/dL*	**22**
p/F:	*>400*	**61**

Volume Controlado					
Vt	FR	*FiO2*	PEEP	Pplat.	Cstat
430	25	100%	8	28	21,5

Fisiologia Aplicada... Ao doente difícil de oxigenar:

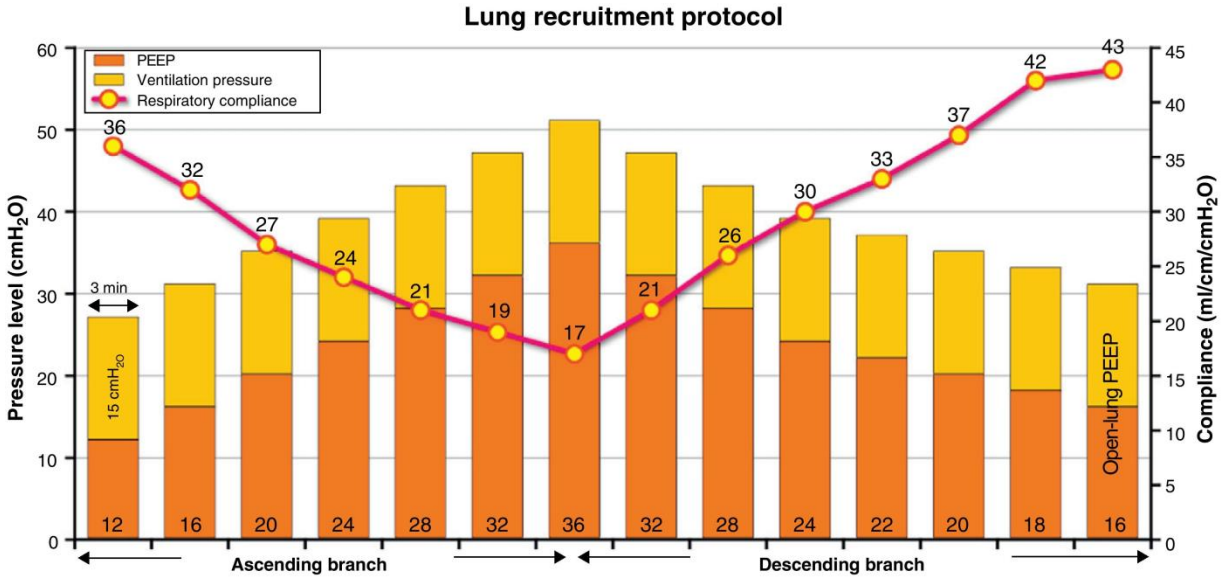
Soluções Possíveis:

1. **Aumento de PEEP**

- impedir colapso de alvéolos → aumentar superf. membrana respiratória

2. Manobras de recrutamento e titulação da PEEP

- Recuperar regiões de shunt
- Risco de transformar outras em espaço morto e lesão alveolar
- Estratégias de titulação "em escada", baseadas na C_{stat}



O Menor de dois males...

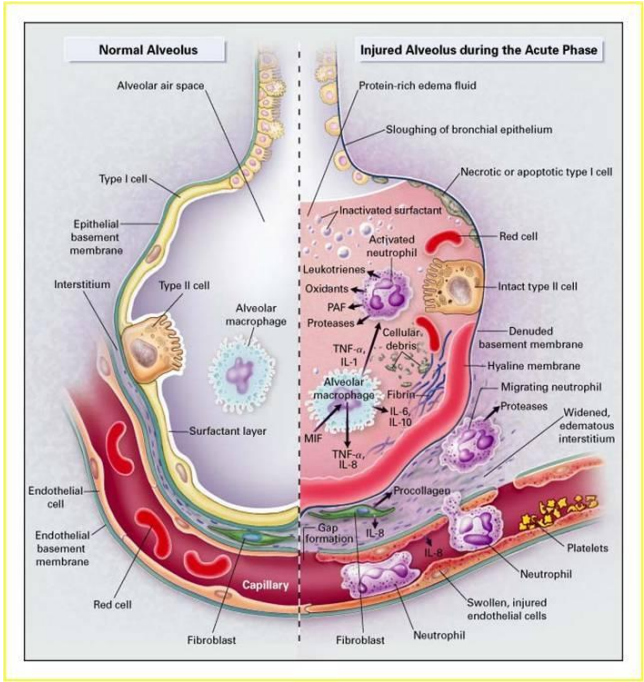
Melhorar a oxigenação...

1. Aumento de PEEP > aumento da Palveolar e oxigenação

Risco:

- Aumento da Pplateau na mesma medida > compromisso da segurança ou

- Diminuir Vt com diminuição da VM e aumento da acidémia



2. Aumento da razão I/E

Risco:

- menor tempo expiratório > risco de hiperinsuflação... Agravamento de acidémia

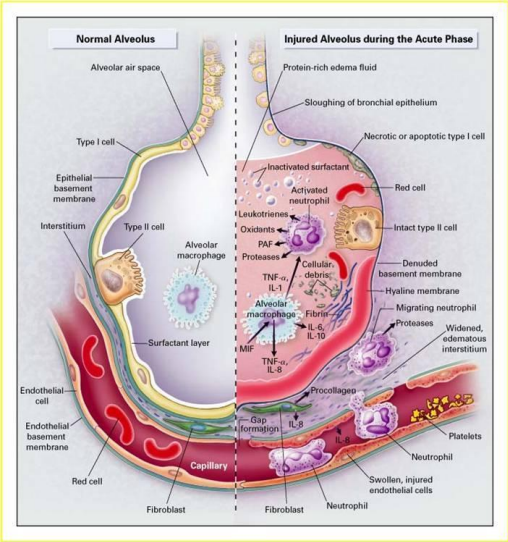
O Menor de dois males...

Melhorar a eliminação de CO_2...

1. Aumento da FR > aumento da VM > diminuição de CO2

Risco:

- Hiperinsuflação dinâmica (tempo exp. insuficiente... CO2 sobe !
- Agravar hipoxémia



Limites de tempo...

- **Compliance X Resistência - Constante de Tempo do Sistema (τ)**

= ***Constante Tempo (τ):*** *Se C_{stat} e R_{aw} forem constantes, o tempo necessário à alteração de volume alveolar*

→ Mede o tempo necessário para encher (ou esvaziar) uma proporção de alvéolos

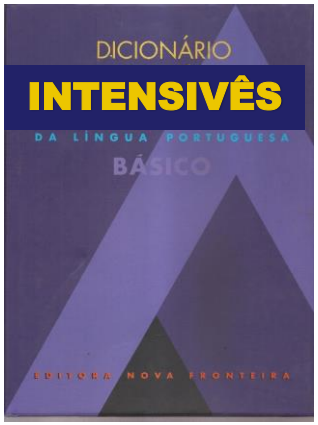
- Necessárias 3 constantes de tempo para preencher +95% dos alvéolos

Interesse Prático...

- Ao programar o **Tinsp** (indirectamente Texp) e a **FR**, deve garantir-se que Tinsp e Texp não sejam inferiores a 3 constantes de tempo → risco de hiperinsuflação dinâmica

Exemplo : Cstat x Raw: **0,2 x 1 → Ct:0,2 seg;**

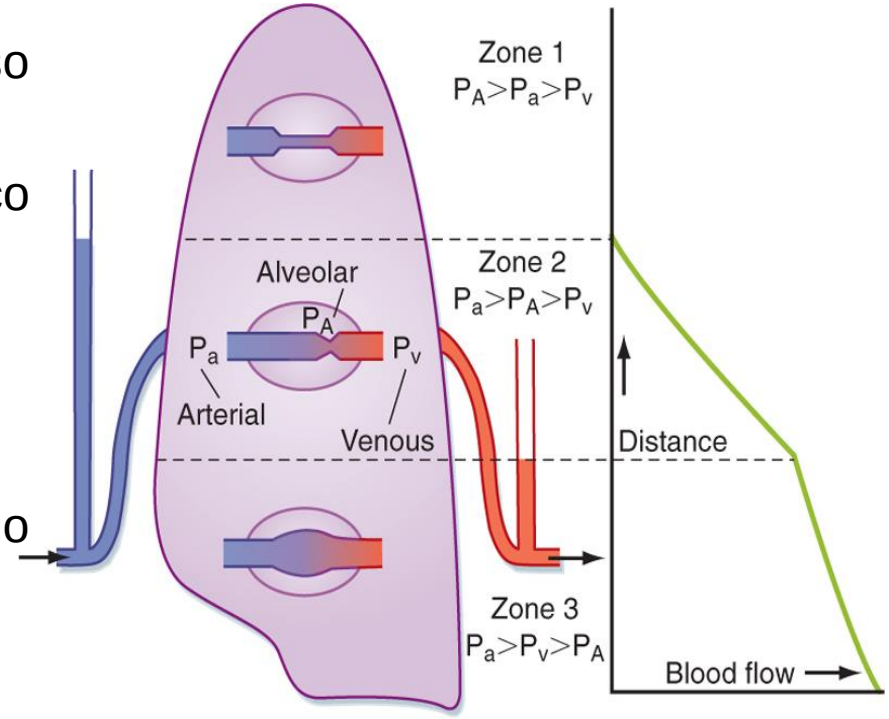
T insp/exp nec= Ct x 3 / → 0,6 seg



Fisiologia na ventilação...hipóxia severa:

Zonas de Ventilação de West:

- **Zona 1**:
  - > Pressão Alveolar (P_{alv})=> Colapso Capilar
  - Predomínio de Ventilação de Espaço Morto
- **Zona 2**:
  - Pressão Arterial (P_a) > P_{alv}
  - Colapso capilar variável (*eg* ciclo respiratório)
- **Zona 3**:
  - Pressão arterial e venosa (P_v) > P_{alv}
  - Shunt dominante



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

Hipoxémia – Decúbito Ventral

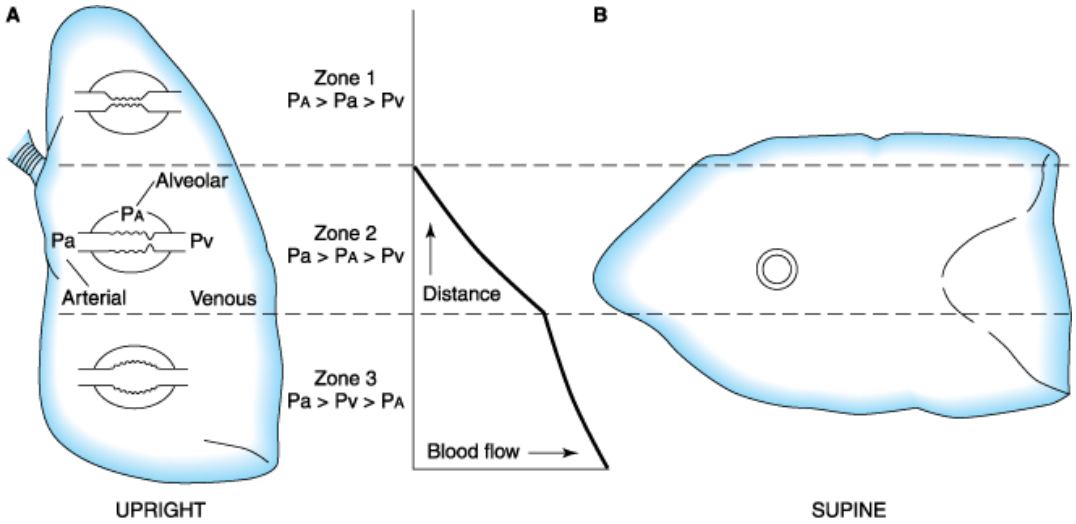
Pressupostos:

A) Doença não é perfeitamente homogénea: zonas de declive mais afectadas

B) PEEP deve ser suficiente para evitar o colapso alveolar com a alteração de posição

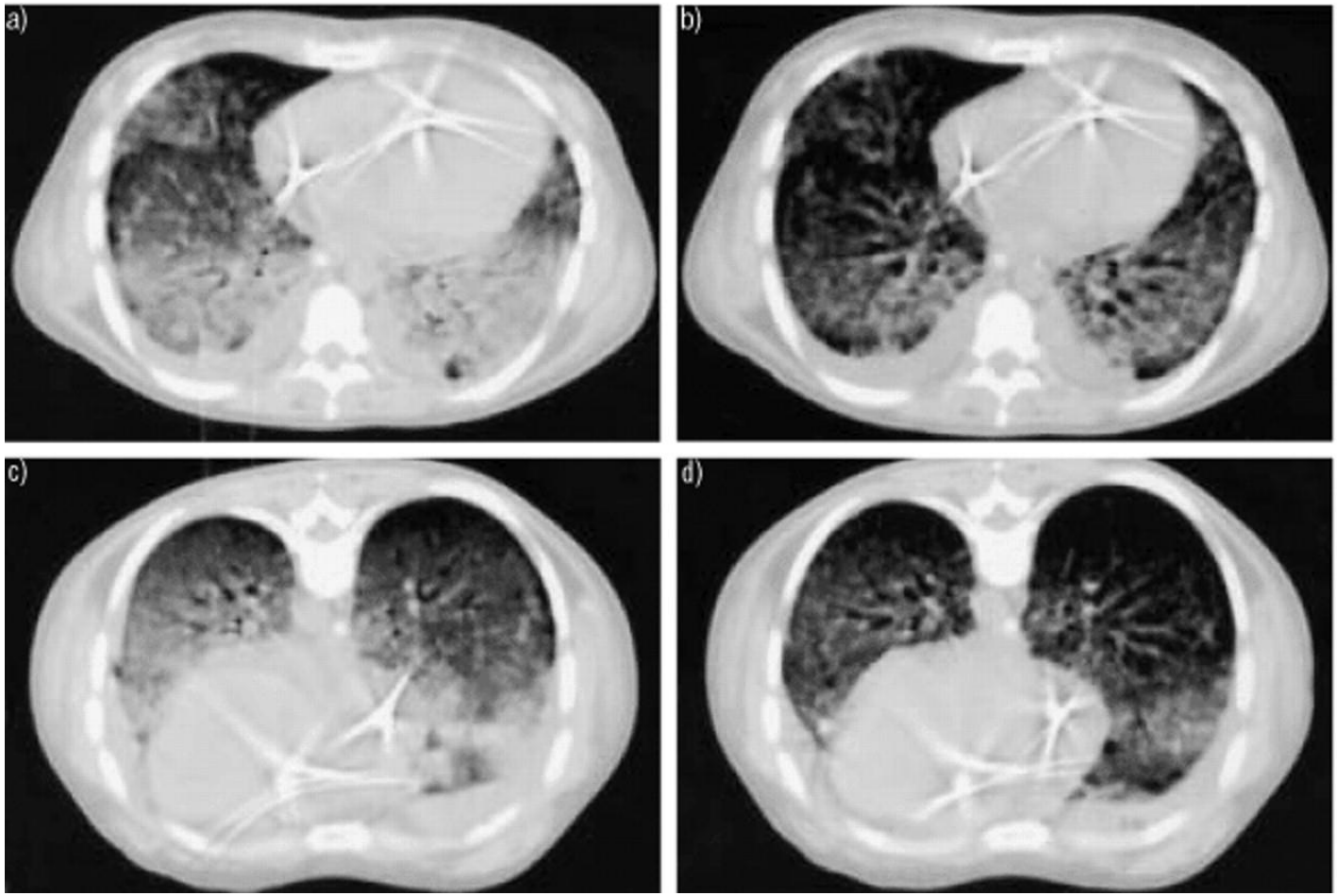
C) Decúbito ventral → melhoria da relação V/Q

D) Alvéolos de "transição" são reabilitados



Copyright ©2006 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

- **Hipoxémia – Decúbito Ventral**

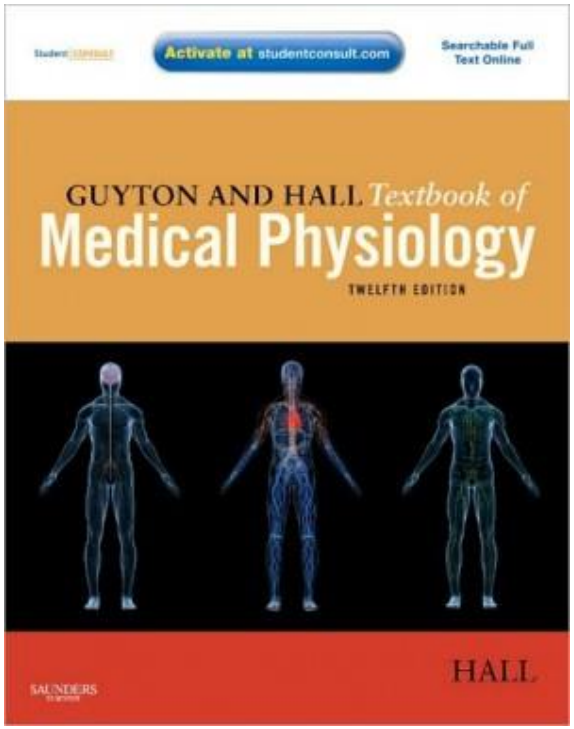


Hipoxémia / Hipercápnia graves

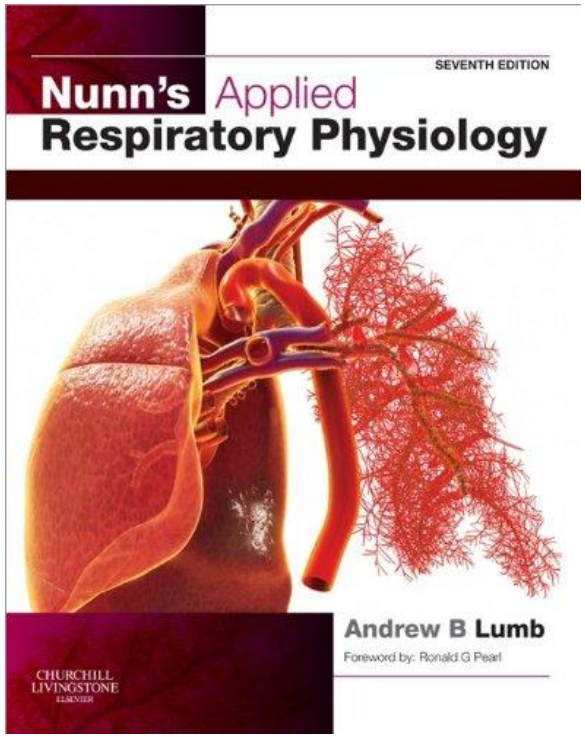
- Privilegiar segurança (Pplat;Volume corrente)
- Tolerar hipercápnia permissiva e/ou hipoxémia moderada
- Considerar recrutamento / decúbito ventral
- Considerar precocemente terapêuticas de resgate (ex.ECMO)

- Paciência e persistência!

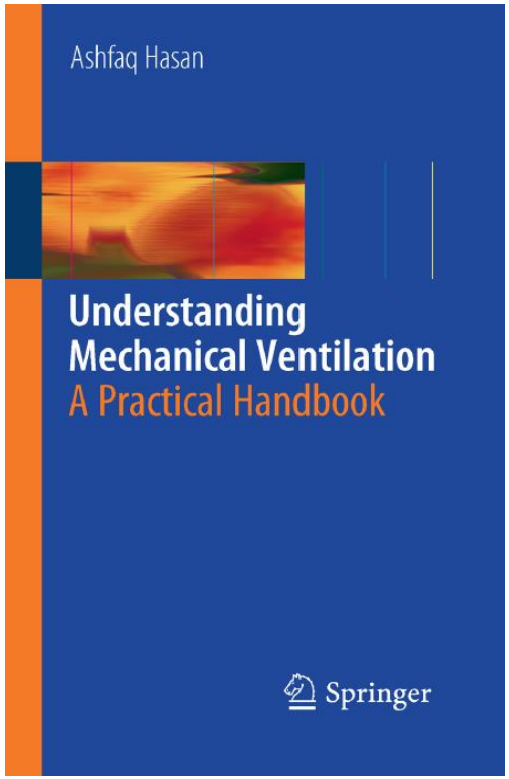
Bibliografia:



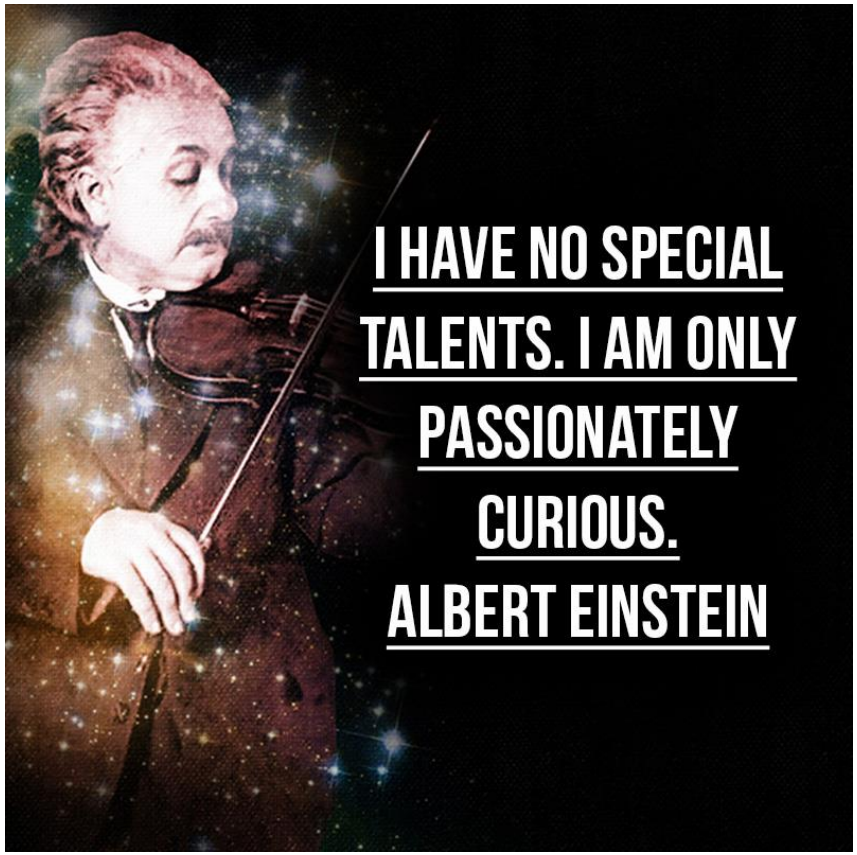
- Fundamentos da fisiologia respiratória… para ler com vagar

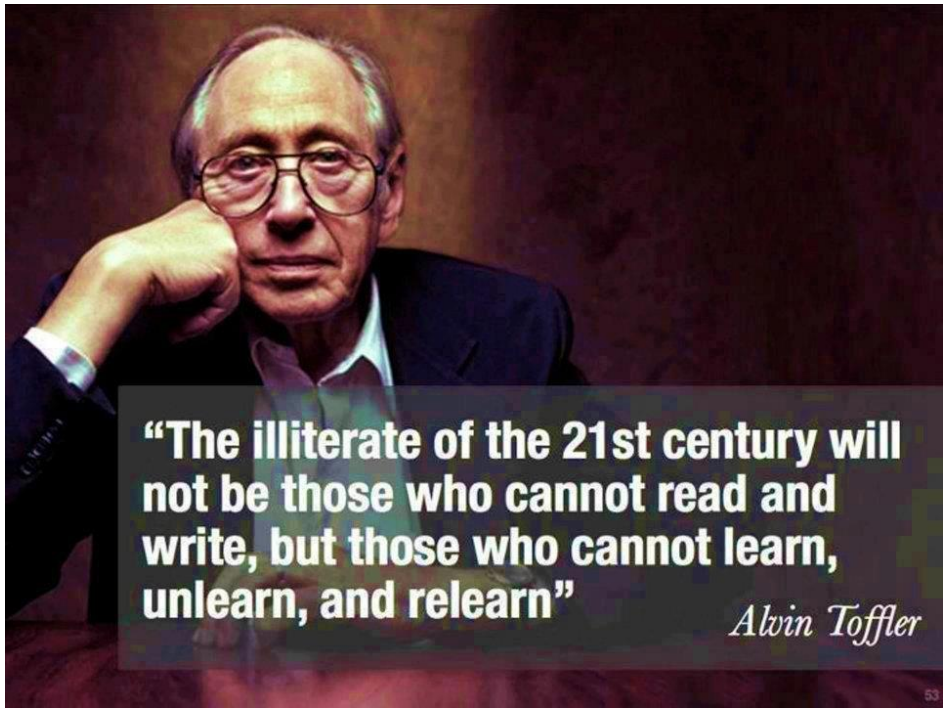


- Pictórico, agradável e de fácil leitura...



- Esquemático e muito voltado para a clínica prática





Obrigado pela vossa atenção !