

CACIFI



Clube do Artigo Científico de
Fisioterapia Intensiva

Prof. Daniel Lago

Encontro 19
09.11.2022

Clinical strategies for implementing lung and diaphragm-protective ventilation: avoiding insufficient and excessive effort

Ewan C. Goligher^{1,2,3}, Annemijn H. Jonkman^{4,5}, Jose Dianti^{1,2}, Katerina Vaporidi⁶, Jeremy R. Beitler⁷, Bhakti K. Patel⁸, Takeshi Yoshida⁹, Samir Jaber¹⁰, Martin Dres^{11,12}, Tommaso Mauri^{13,14}, Giacomo Bellani¹⁵, Alexandre Demoule^{11,12}, Laurent Brochard^{1,5} and Leo Heunks^{4*} 

Intensive Care Med (2020) 46:2314–2326

Abstract

- A ventilação mecânica pode ter efeitos adversos tanto no pulmão quanto no diafragma
- A lesão pulmonar é mediada por estresse e tensão mecânicos excessivos (*stress* e *strain*), enquanto o diafragma desenvolve atrofia como consequência do baixo esforço respiratório e lesão em caso de esforço excessivo
- A abordagem de ventilação mecânica protetora de pulmão e diafragma visa proteger ambos os órgãos simultaneamente, sempre que possível

Abstract

- Esta revisão resume estratégias práticas para alcançar alvos de proteção do pulmão e do diafragma à beira do leito, com foco nas ajustes ventilatórios inspiratório e expiratório, monitoramento do esforço inspiratório ou drive respiratório, gerenciamento de dessincronia e sedação
- Também são discutidas estratégias adjuvantes futuras, incluindo remoção extracorpórea de CO₂, bloqueio neuromuscular parcial e estimulação neuromuscular

Introdução

- **VM protetora pulmonar e diafragmática**
 - abordagem que visa limitar os efeitos colaterais da VM em pacientes críticos
- **Princípio**
 - otimização do esforço respiratório
- **Objetivos**
 - reduzir a duração da VM, aumentar a sobrevida, acelerar recuperação e prevenir a incapacidade a longo prazo



Princípios e justificativa

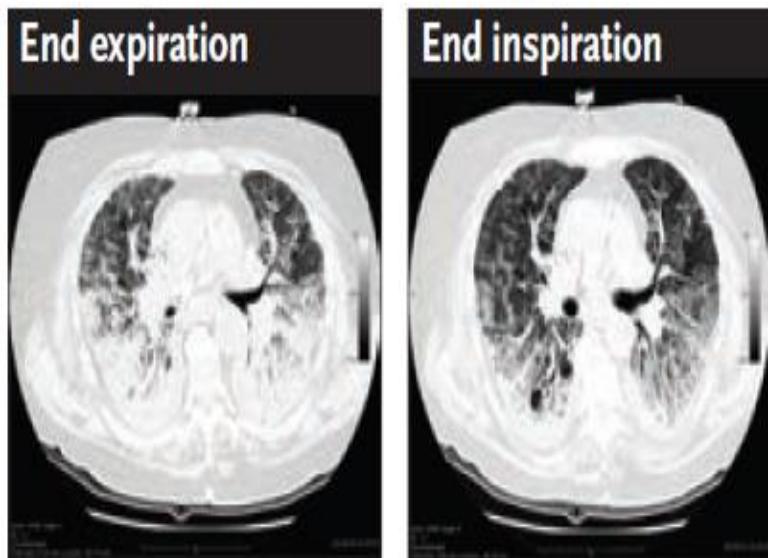
- **Princípios da ventilação pulmonar protetora**

Limitação do estresse mecânico global e regional (pressão aplicada ao pulmão) e tensão (deformação da forma de repouso)

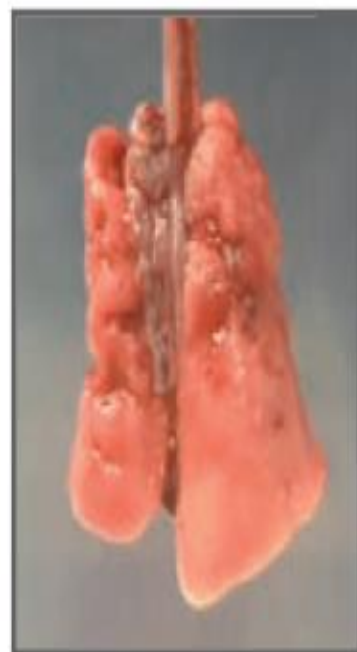
- Hiperdistensão (volutrauma/barotrauma)
- Abertura e fechamento cíclico de alvéolos (atelectrauma)

A lesão pulmonar pode ocorrer independentemente se o ventilador (lesão pulmonar induzida pelo ventilador, VILI), o esforço respiratório do paciente (lesão pulmonar autoinfligida pelo paciente, P-SILI) ou ambos estiverem gerando as forças aplicadas ao pulmão

A Ventilation at low lung volume

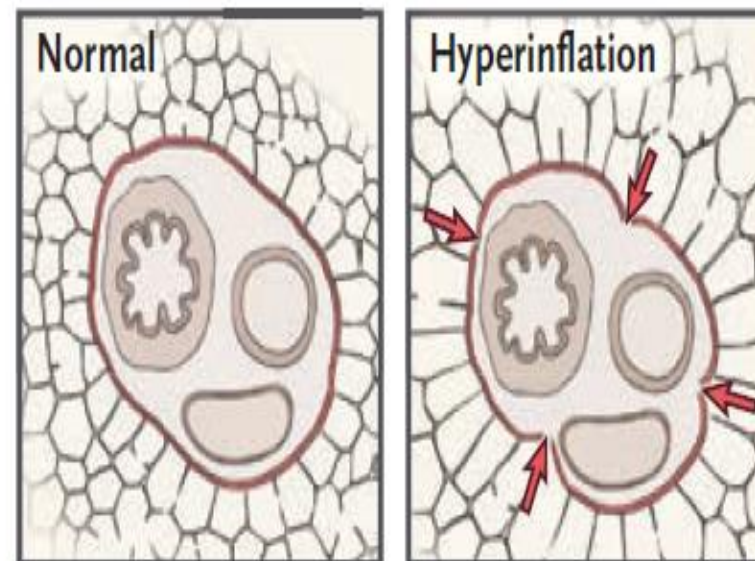


Atelectrauma



Lung inhomogeneity

B Ventilation at high lung volume

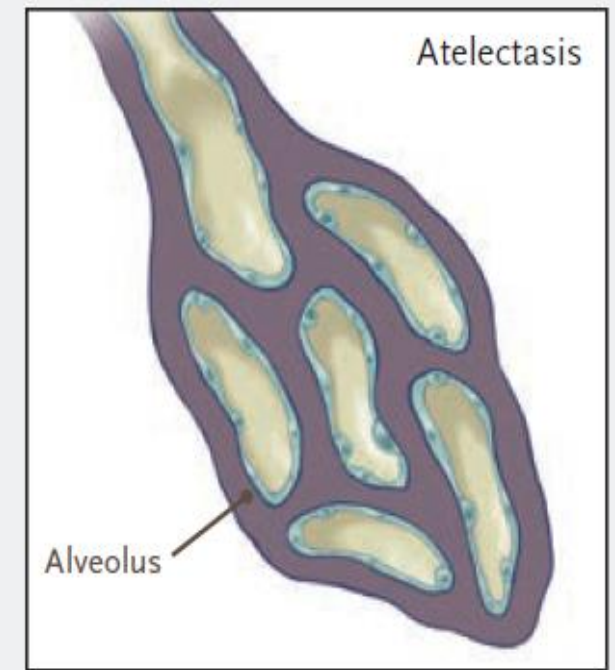
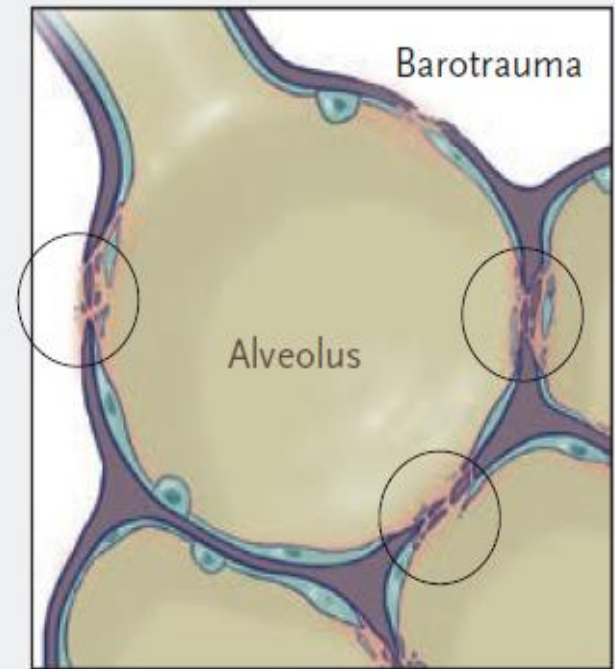
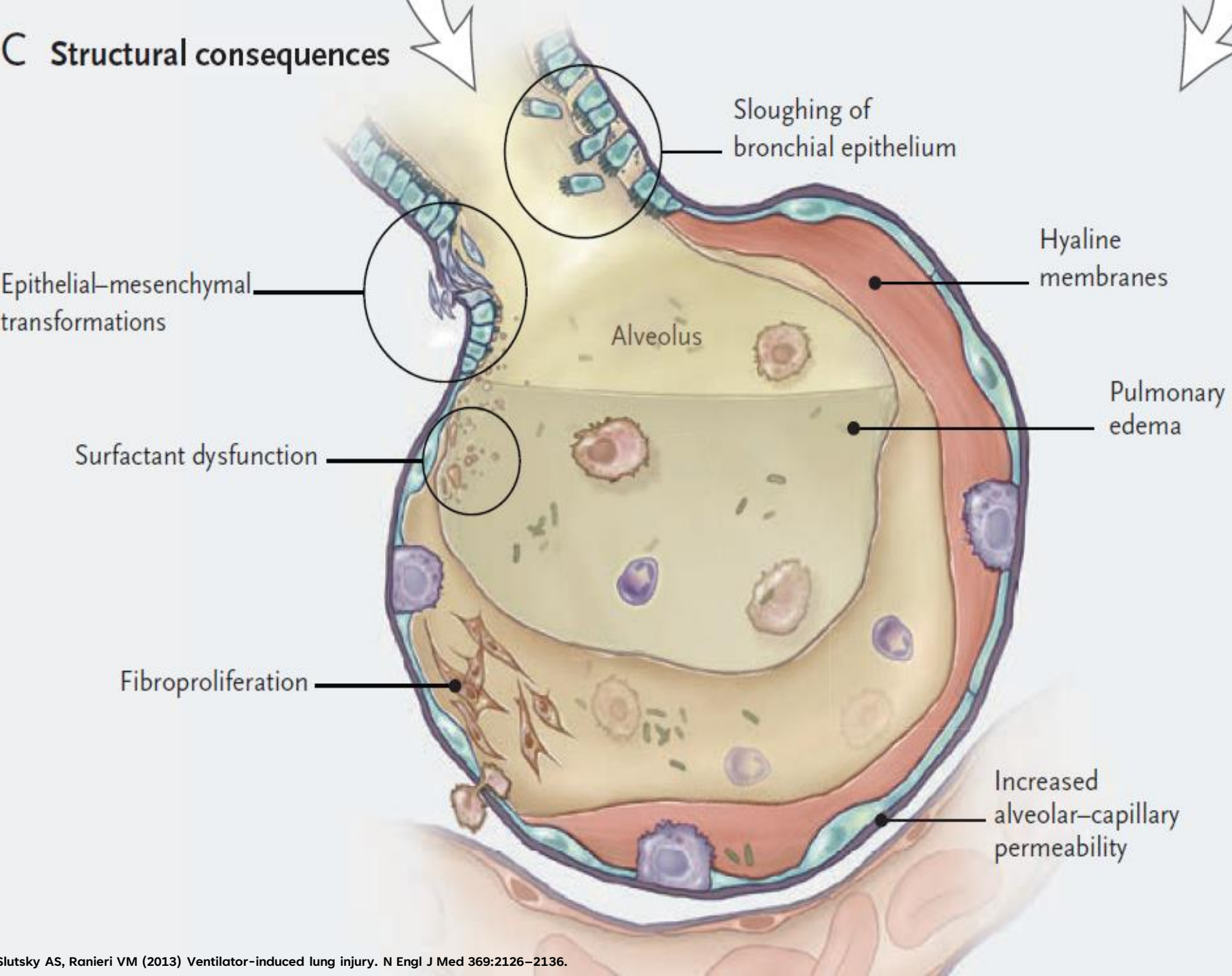


Air leaks



Overdistention

C Structural consequences



Biologic alterations

Increased concentrations of:

- Hydroxyproline
- Transforming growth factor- β
- Interleukin-8

Release of mediators:

- Tumor necrosis factor α (TNF- α)
- β -catenin
- Interleukin-6 (IL-6)
- Interleukin-1 β (IL-1 β)

Recruitment of:

- Pulmonary alveolar macrophages (PAMs)
- Neutrophils

Activation of epithelium and endothelium

Physiological abnormalities

Increased physiological dead space

Decreased compliance

Decreased P_{aO_2}
Increased P_{aCO_2}

Systemic effects

Translocation of:

- Lipopolysaccharides (LPS)
- Bacteria
- Various mediators

Multiple mechanisms
(e.g., increased apoptosis)

Multiorgan
dysfunction

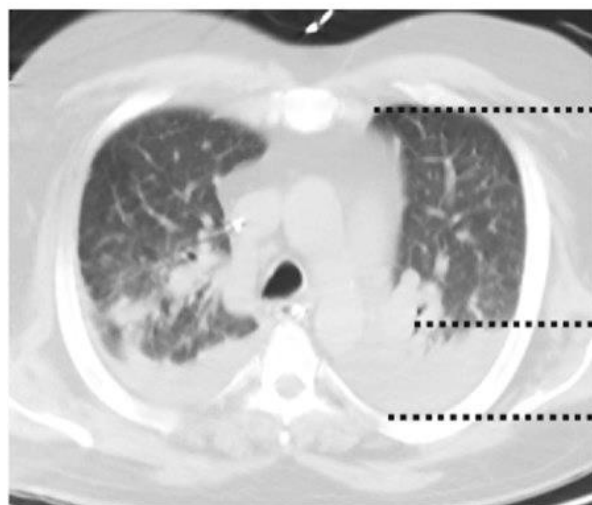
Death

Princípios e justificativa

- **Princípios da ventilação pulmonar protetora**
- **Stress:** alterações na pressão transpulmonar (Palveolar – Ppleural), driving pressure
- **Strain: ?**
 - Difícil individualizar adequadamente os ajustes ventilatórios para maximizar a proteção pulmonar
- **Stress global x stress regional**
 - gravidade no pulmão edemaciado → distribuição do colapso e aeração desigual entre as regiões pulmonares dependentes (atelectasia – recrutamento) e não dependentes (bem ventiladas – alívio da hiperdistensão)

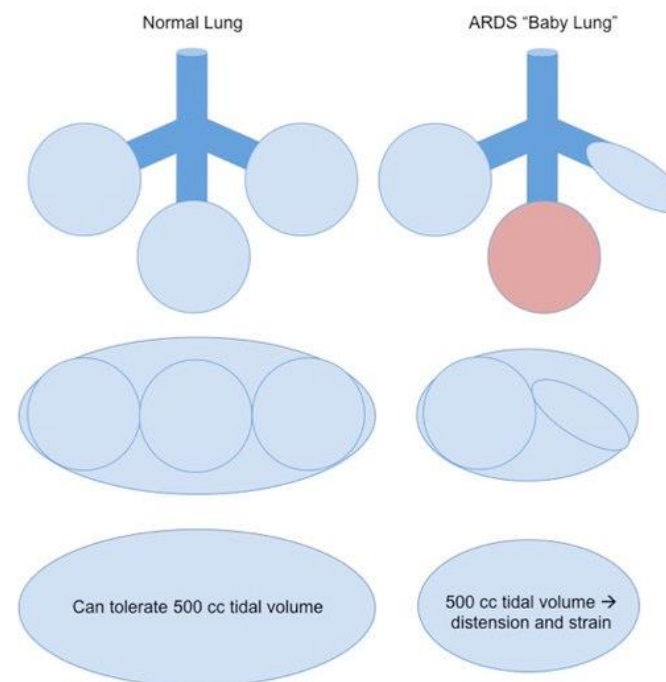
Princípios e justificativa

O VC é rotineiramente dimensionado para o peso corporal previsto, que se correlaciona com o volume pulmonar em indivíduos saudáveis. Essa correlação é muito menos precisa em pacientes com SDRA por causa de “inundação” alveolar e atelectasia, resultando no “baby lung” muito menor do que o volume pulmonar predito



ARDS "baby lung" volume

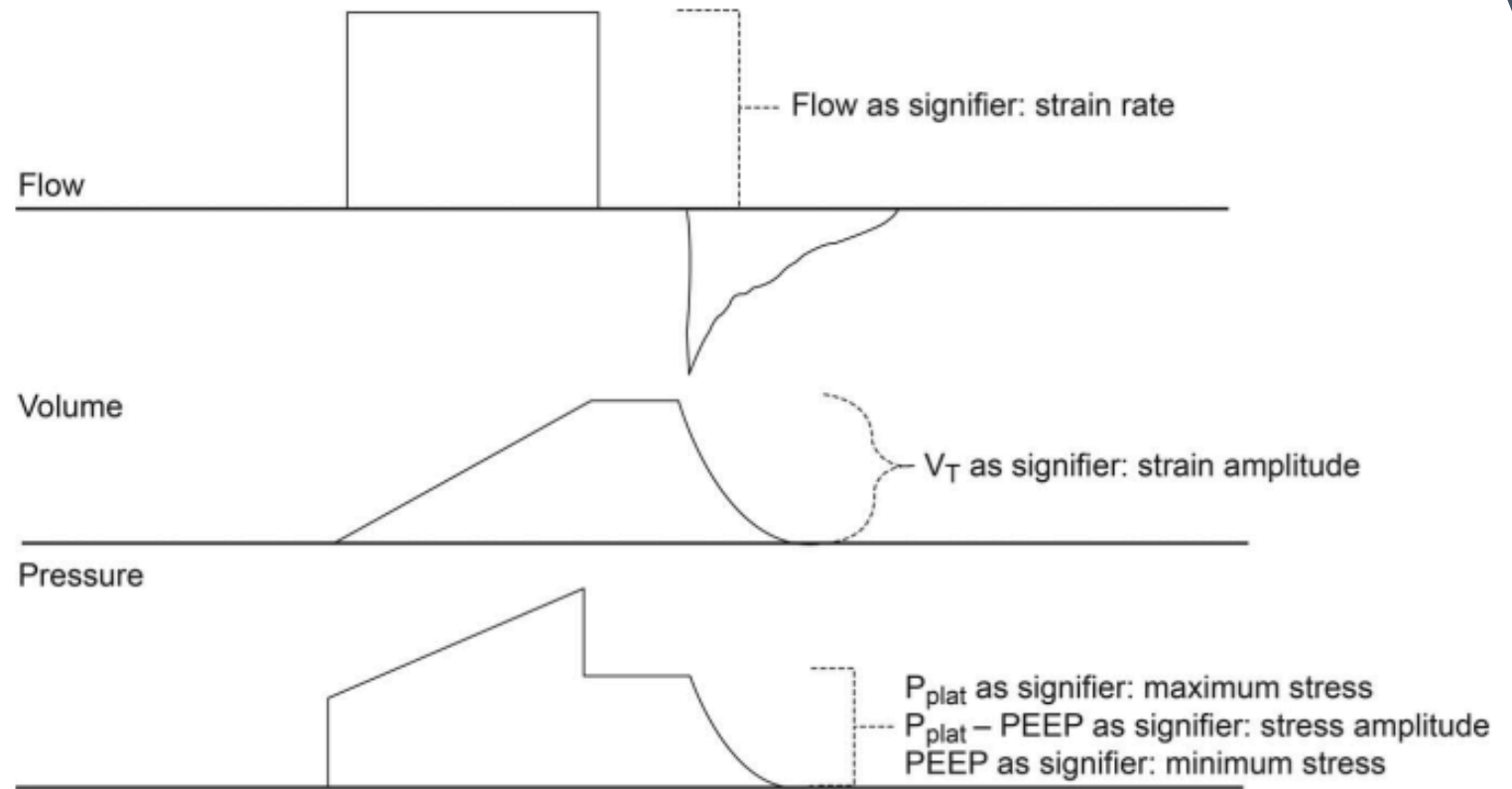
Atelectatic lung



Princípios e justificativa

- Como identificar dados da ventilação pulmonar protetora

$$\Delta P_{aw} = V_T / C_{rs}$$



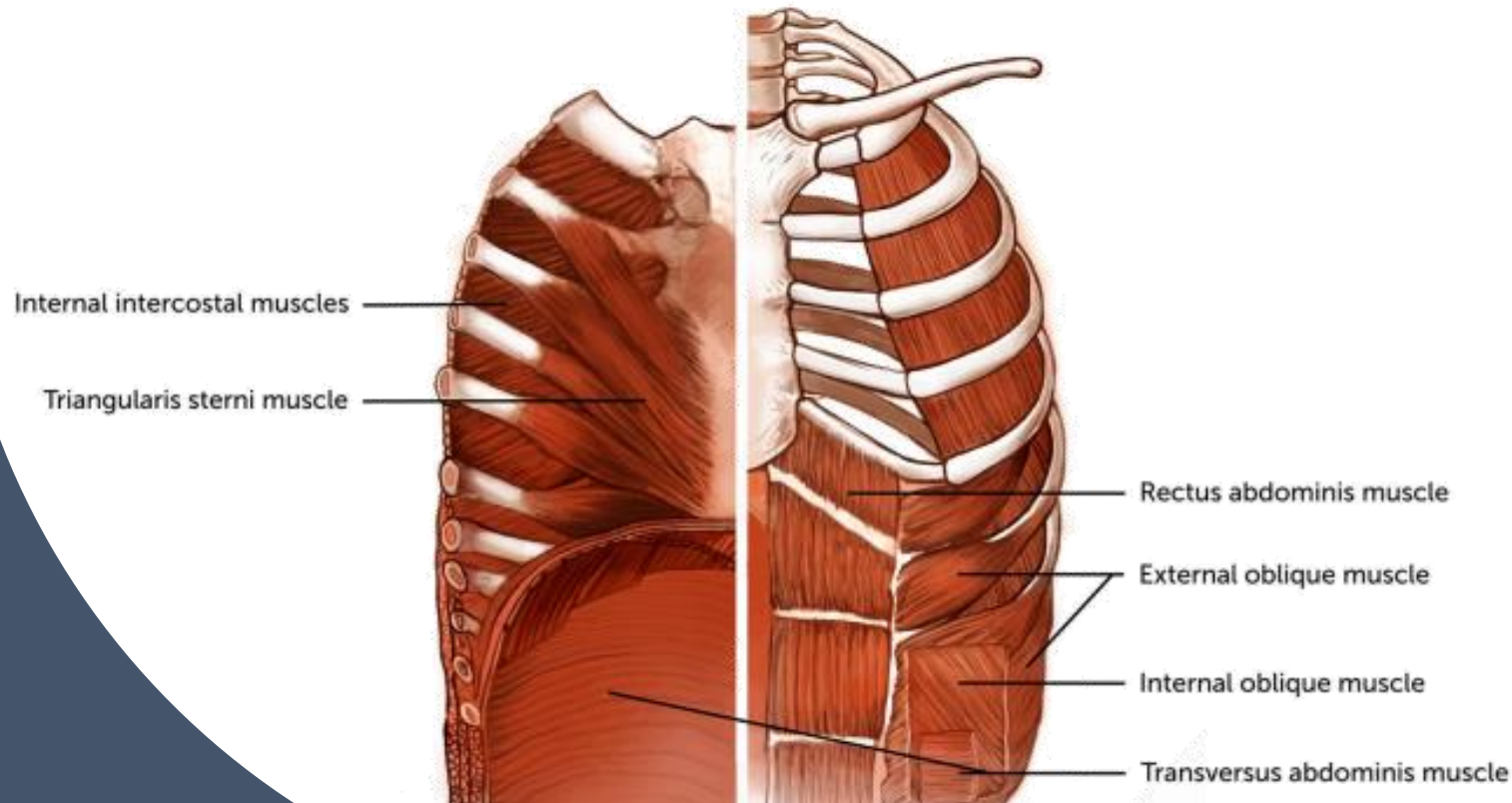
Princípios e justificativa

- **Pressão estática das vias aéreas não é um marcador muito confiável de stress pulmonar, porque reflete contribuições do pulmão e da parede torácica**
- **Pacientes obesos**
 - exemplo de alta pressão intratorácica (e, portanto, pressão de platô mais alta) devido ao peso imposto pela parede torácica
- **Stress pulmonar é preferencialmente medido como pressão transpulmonar (PL):**
 - permite quantificar a contribuição do pulmão e da parede torácica para alterações na pressão das vias aéreas

Princípios e justificativa

- Princípios da ventilação protetora diafragmática

Posterior view of anterior ribcage Anterior view of anterior ribcage

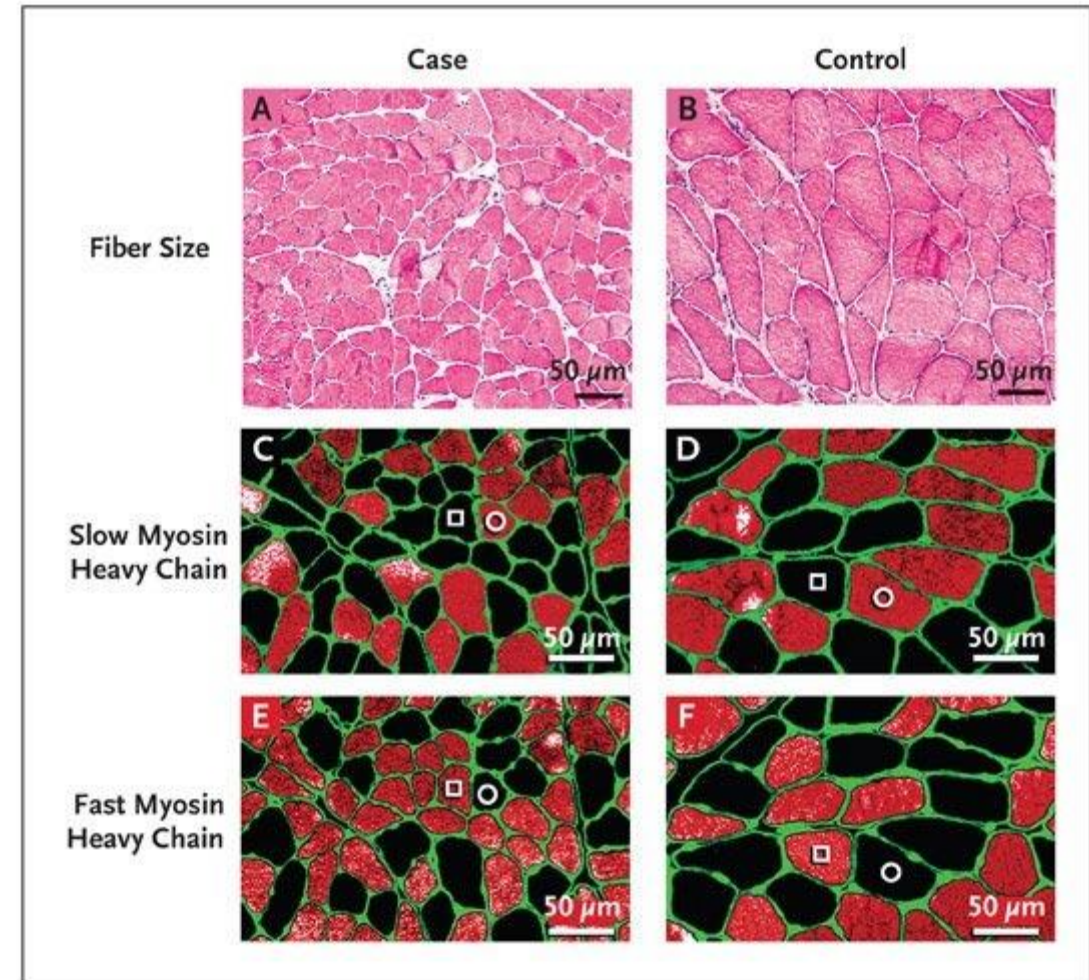


Objetivos da VM

- redução da carga da bomba muscular respiratória
- limitar as consequências do alto esforço respiratório (sensação de dispneia, insuficiência respiratória, possível lesão muscular respiratória)

Princípios e justificativa

- Fraqueza diafragmática
 - 64% dos pacientes após 24 h de VM
 - 80% dos paciente com desmame difícil
 - Esforço excessivo e insuficiente



Princípios e justificativa

Table 3. Potential Therapeutic Targets for Diaphragm Protection

Goal	Potential Therapeutic Target*
Prevent overassistance myotrauma	Any 1 of: Pmus ≥ 3 to 5 cm H ₂ O ΔPdi ≥ 3 to 5 cm H ₂ O ΔPes ≤ −3 to −2 cm H ₂ O P _{0.1} > 1 to 1.5 cm H ₂ O TFdi ≥ 15% EAdi ≥ target value selected on the basis of Pocc-EAdi index and above targets
Prevent underassistance myotrauma	Any 1 of: Pmus ≤ 10 to 15 cm H ₂ O ΔPdi ≤ 10 to 15 cm H ₂ O ΔPes ≥ −12 to −8 cm H ₂ O Pocc ≥ −20 to −15 cm H ₂ O P _{0.1} < 3.5 to 5 cm H ₂ O TFdi ≤ 30% to 40% EAdi ≤ limit value selected on the basis of Pocc-EAdi index and above targets
Prevent eccentric myotrauma	Avoid ineffective triggering and reverse triggering Avoid premature cycling Minimize expiratory braking

Princípios e justificativa

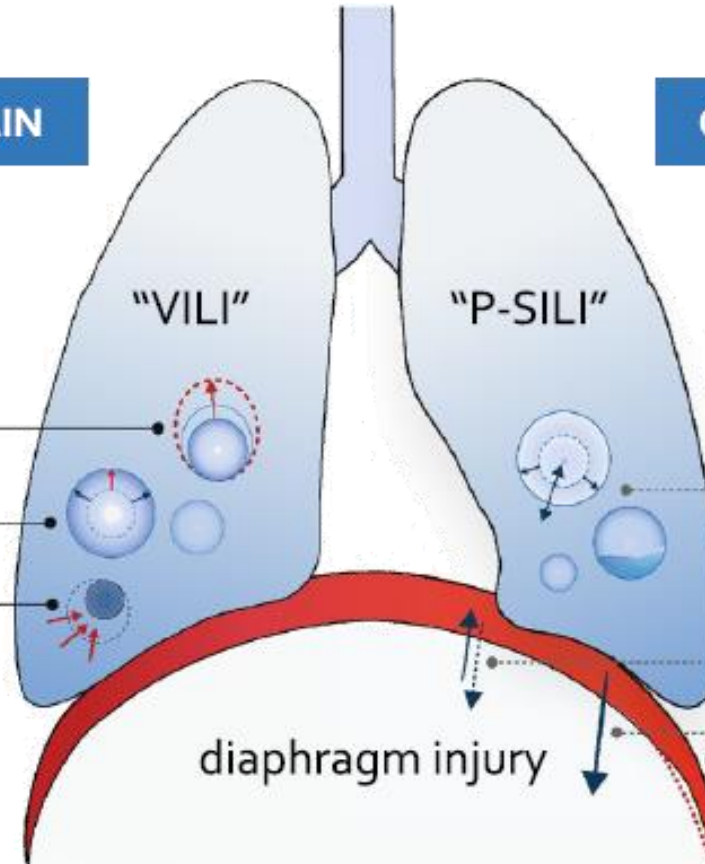
MINIMIZING (BABY) LUNG STRESS & STRAIN

breath-stacking dyssynchrony

excessive inspiratory assist → high V_T , ΔP

excessive PEEP → overdistention

insufficient PEEP → derecruitment



OPTIMIZING DIAPHRAGM EFFORT & SYNCHRONY

insufficient assist, high effort/drive

injurious efforts

eccentric injury ← expiratory dyssynchrony

longitudinal atrophy ← excessive PEEP

disuse atrophy ← excessive assist, low effort/drive

Estratégias de monitoramento

- Volume corrente

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Marcador indireto de risco de VILI VCexp pode ser usado para detectar volumes entregues acima do definido no modo VCV	Prontamente disponível	$\text{Strain} = \text{VC} / \text{EELV}$ VC sozinho não é uma medida precisa do strain pulmonar Não reflete o estresse pulmonar e não se adequa ao tamanho do “baby lung”	4-8 ml/kg PBW

Estratégias de monitoramento

- Driving pressure

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Monitora o stress e o strain pulmonar resultantes da insuflação com VC	Prontamente disponível	Não reflete o stress regional quando o esforço respiratório é alto Superestima a PL se a elastância da parede torácica estiver aumentada e na presença de atividade muscular expiratória	< 15 cmH ₂ O

Estratégias de monitoramento

- Curvas de pressão e fluxo

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Permite detectar diversas dissincronias paciente-ventilador	Prontamente disponível Detecta prontamente fome de fluxo, empilhamento de ar e ciclagem prematuras	Algumas dissincronias podem não ser imediatamente evidentes sem uma inspeção minuciosa e monitoramento adicional do esforço	Manter a sincronia paciente-ventilador

Estratégias de monitoramento

- Pressão de oclusão nos primeiros 100 ms da inspiração (P0.1)

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Monitorar o drive respiratório e detectar presença de esforço respiratório baixo ou Elevado	Não invasivo Medição automatizada disponível na maioria dos ventiladores	O drive respiratório elevado nem sempre resulta em esforço respiratório elevado (ou seja, na presença de fraqueza muscular respiratória ou tempo inspiratório curto)	-1 a -4 cmH2O

Estratégias de monitoramento

- Delta de pressão de oclusão (ΔP_{occ})

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Avaliar esforço respiratório excessivo e estresse pulmonar	Não invasivo Facilmente medido à beira do leito Pode prever o esforço muscular respiratório (P_{mus}) e oscilação da pressão transpulmonar ($\Delta P_{L,dyn}$) Detecta apneia auto-disparo Diferenciar diferentes formas de dissincronia	Embora sensível e específico para alto esforço respiratório e estresse pulmonar dinâmico, a técnica não é suficientemente precisa para substituir a medição direta	P_{mus} 5–10 cmH₂O P_{occ} 8–20 cmH₂O $\Delta P_{L,dyn} < 15–20$ cmH₂O

Estratégias de monitoramento

- Pressão esofágica (Pes) e pressão transpulmonar (P_L)

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Mede e monitora diretamente o esforço respiratório e o stress pulmonar	Minimamente invasivo Fornece informações padrão ouro sobre o stress pulmonar (ΔP_L) e esforço respiratório (ΔP_{es} , PTP_{es})	Requer equipamento e treinamento O balão deve ser calibrado antes cada medição Valores absolutos de Pes tem utilidade incerta	ΔP_{es} 3–15 cmH ₂ O (proteção diafragmática) $\Delta P_{L,dyn} < 15–20$ cmH ₂ O (proteção pulmonar)

Estratégias de monitoramento

- Swing de pressão transdiafragmática (ΔP_{di}) e swing de pressão gástrica (ΔP_{ga})

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Mede e monitora diretamente o esforço diafragmático e esforço expiratório	Minimamente invasivo Fornece medição direta de esforço diafragmático Fornece informações sobre a atividade muscular expiratória	Requer equipamento e treinamento O balão deve ser calibrado antes cada medição Sem calibração para Pga Difícil avaliação pós esforço inspiratório (carga excêntrica)	ΔP_{di} –15 cmH ₂ O

Estratégias de monitoramento

- Fração de espessamento inspiratório do diafragma(TFdi)

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Avaliação não invasiva do contratilidade mecânica do diafragma	Fornece um índice de esforço diafragmático durante a ventilação mecânica (tidal TFdi) Fornece um índice de função diafragmática (TFdi máximo)	Requer equipamento e treinamento O monitoramento contínuo não é viável	TFdi 15–30%

Estratégias de monitoramento

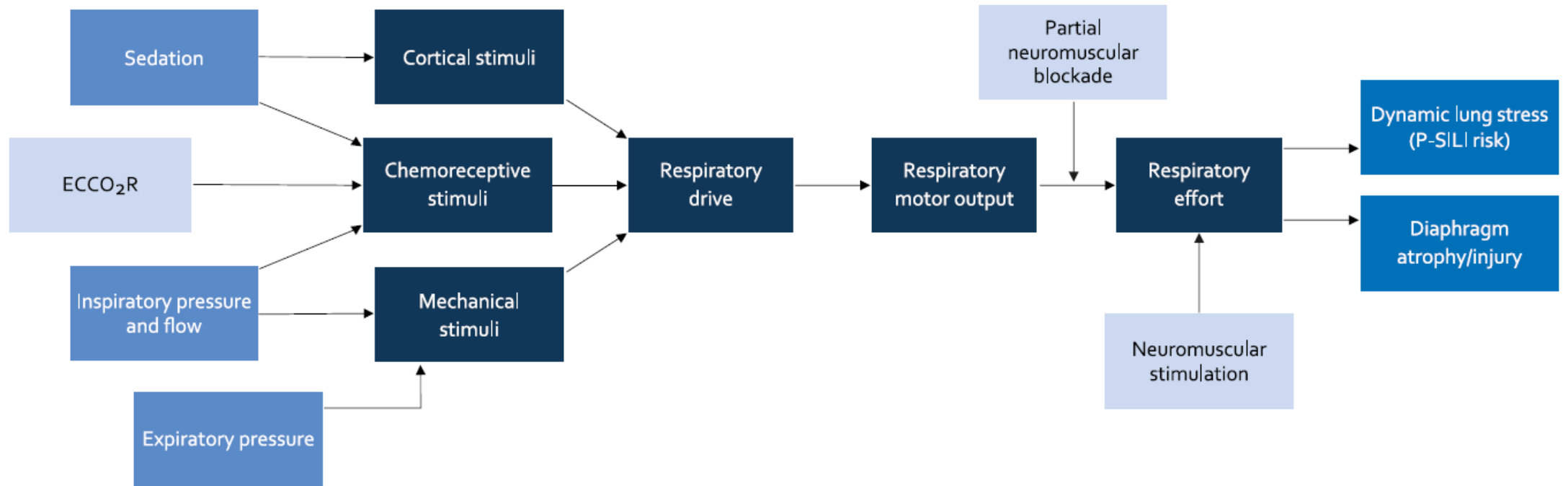
- Atividade elétrica do diafragma (EAdi)

Uso	Vantagens	Desvantagens	Alvo sugerido
Monitorar a atividade elétrica do diafragma	Minimamente invasivo Informação contínua A variação no EAdi se correlaciona com a variação do esforço respiratório	Requer equipamento e treinamento Sem valores de referência	Normalize a EADi alvo com base no Pocc, ΔP_{di} ou ΔP_{es}

Estratégias de monitoramento

- Embora a estimativa da pressão pleural com balão esofágico pareça ser a técnica preferida para quantificar o estresse pulmonar e o esforço respiratório, atualmente não é amplamente implementada
 - o impacto potencial nos desfechos precisa ser determinado em estudos clínicos
- **Sugerimos o monitoramento de rotina:**
 - Limitar lesão pulmonar: VC, Pplato e DP
 - Monitorar o drive respiratório e prevenir esforço inadequado: P0.1

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática



Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- **Ajustes ventilatórios inspiratórios**

- 1) modular o esforço inspiratório do paciente
- 2) minimizar o estresse pulmonar dinâmico
- 3) prevenir ou corrigir dissincronia paciente-ventilador ou qualquer forma de incompatibilidade entre as necessidades e o suporte

Requer compreensão do controle da respiração sob ventilação mecânica, reconhecendo que o controle do sistema respiratório responde às mudanças nas demandas ventilatórias modificando o esforço inspiratório (e, portanto, o volume corrente) em maior extensão do que a frequência respiratória

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- **Ajustes ventilatórios inspiratórios**

- Em pacientes com respiração espontânea, o aumento da pressão ou volume aumentará o volume corrente fornecido e reduzirá o esforço inspiratório (já que o drive respiratório depende principalmente da controle quimiorreflexo do pH arterial)
- A assistência excessiva, resultando em VC maior do que a demanda do paciente, pode quase abolir o esforço inspiratório e promover atrofia diafragmática

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- **Ajustes ventilatórios inspiratórios**

- O aumento do suporte inspiratório pode não atenuar o esforço inspiratório na presença de drive respiratório elevado devido a outros estímulos além do pH/PaCO₂:
 - Dor
 - Ansiedade
 - Estimulação de receptores pulmonares periféricos por edema ou inflamação pulmonar
- A PL e o stress pulmonar dinâmico podem aumentar progressivamente com o aumento do suporte inspiratório

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- **Ajustes ventilatórios inspiratórios**

- VCV: esforço modificado pelo VC e padrão de entrega do fluxo (tipo de onda e pico)
- PCV e PSV: esforço inspiratório é influenciado pela pressão inspiratória, tempo de subida, critério de ciclagem e propriedades mecânicas do sistema respiratório

Independentemente do modo de assistência, o VC fornecido e o esforço respiratório determinarão juntos o estresse pulmonar global e regional, dependendo das propriedades mecânicas do sistema respiratório

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- Ajustes ventilatórios inspiratórios



- Aumento da assistência inspiratória reduzirá a atividade elétrica do diafragma (e vice-versa) em uma ampla faixa de demanda respiratória e, conseqüentemente, o volume corrente permanece relativamente estável
- A inatividade do diafragma devido à assistência excessiva é improvável no NAVA, pois a baixa atividade do diafragma reduzirá imediatamente a assistência inspiratória

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- **Ajustes ventilatórios expiratórios – PEEP**

- Em pulmões recrutáveis, reduz a quantidade de pulmão "sólido" atelectático promovendo distribuição mais homogênea do swing de pressão pleural em toda a superfície pulmonar após uma contração diafragmática
- A distribuição uniforme do estresse dinâmico inspiratório pode diminuir a insuflação assimétrica prejudicial associada ao esforço espontâneo (ou seja, pendelluft), reduzindo o estresse pulmonar regional em regiões pulmonares dependentes

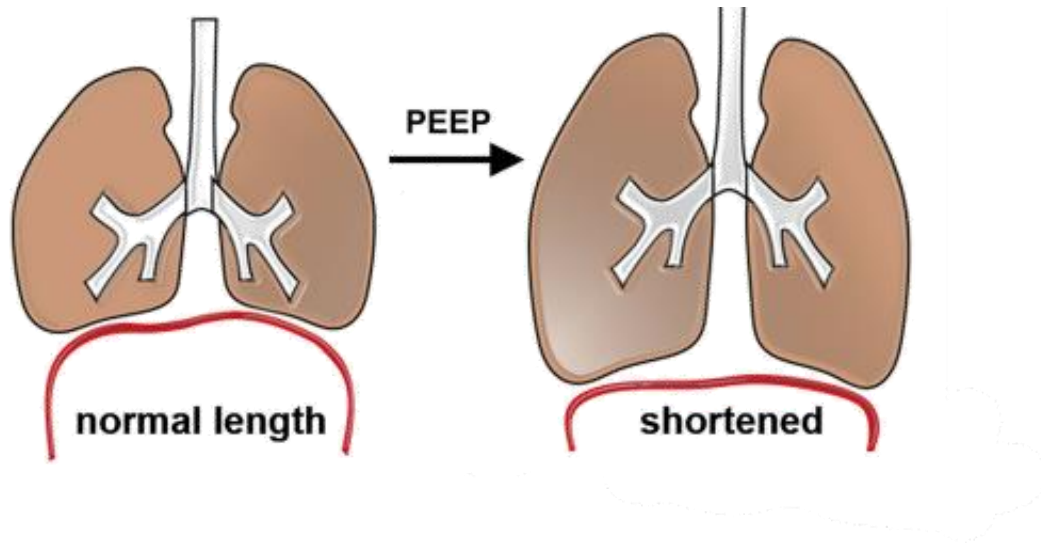
Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- **Ajustes ventilatórios expiratórios – PEEP**

- Aumentando o EELV, forçando o diafragma a atuar em um comprimento menor e, assim, prejudicando o acoplamento neuromuscular, o aumento da PEEP pode atenuar a força gerada pela contração diafragmática
- Vários estudos clínicos fornecem evidências para sugerir que PEEP mais alta pode tornar o esforço espontâneo menos prejudicial em pacientes com insuficiência respiratória aguda antes da intubação, em pacientes com SDRA e em crianças com m lesão pulmonar

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

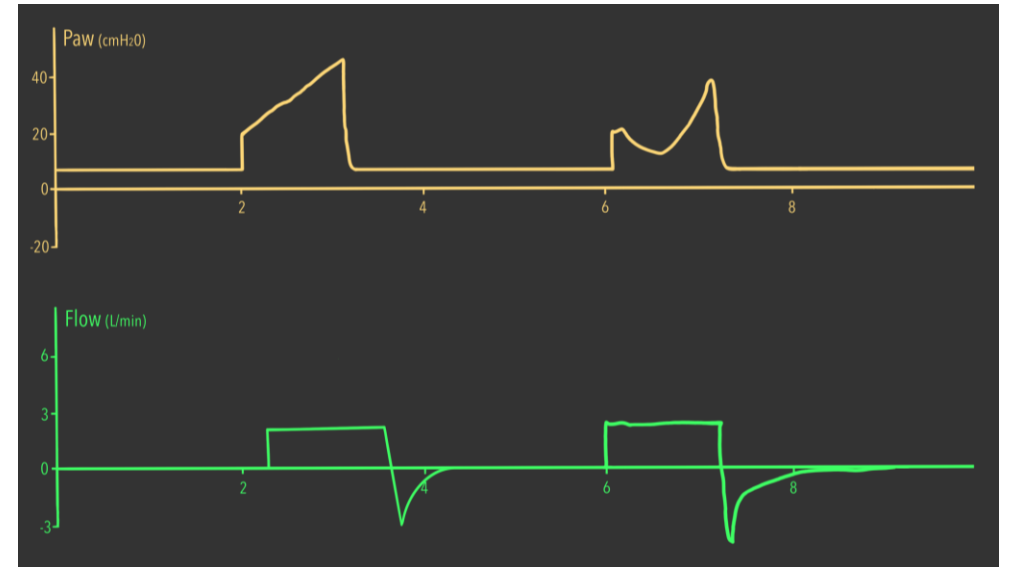
- Ajustes ventilatórios expiratórios – PEEP



- Se o diafragma for mantido em um comprimento menor, as fibras musculares podem se adaptar ao comprimento reduzido absorvendo sarcômeros em série (atrofia longitudinal)
- Pode resultar em alongamento excessivo das fibras com a liberação de PEEP durante um TRE em tubo T ou após a extubação
- A possibilidade de fraqueza do diafragma resultante do excesso de PEEP deve ser considerada

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- Resolvendo as dissincronias
 - Durante a inspiração: fluxo insuficiente, ciclagem precoce, ciclagem tardia, disparo reverso
 - Durante a expiração: auto disparo, esforço ineficaz
 - Durante a inspiração e expiração: disparo reverso e disparo duplo



Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- Estratégias de sedação



- Pode facilitar a ventilação protetora reduzindo o esforço respiratório excessivo
- Pode contribuir para a atrofia do diafragma por desuso
- Abordagem criteriosa da sedação é fundamental e o monitoramento do drive e esforço respiratório pode ser útil na seleção da estratégia de sedação que facilita a ventilação protetora

Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- Estratégias de sedação

- Drive elevado ou dissincronia:

- 1) Ajustes ventilatórios
- 2) Tratar fatores que aumentam o drive, como acidose metabólica ou dor

Confiar apenas na sedação para melhorar a interação paciente-ventilador sem abordar essas questões pode paradoxalmente exacerbar a dissincronia, prolongar a ventilação mecânica e exacerbar a disfunção do diafragma



Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

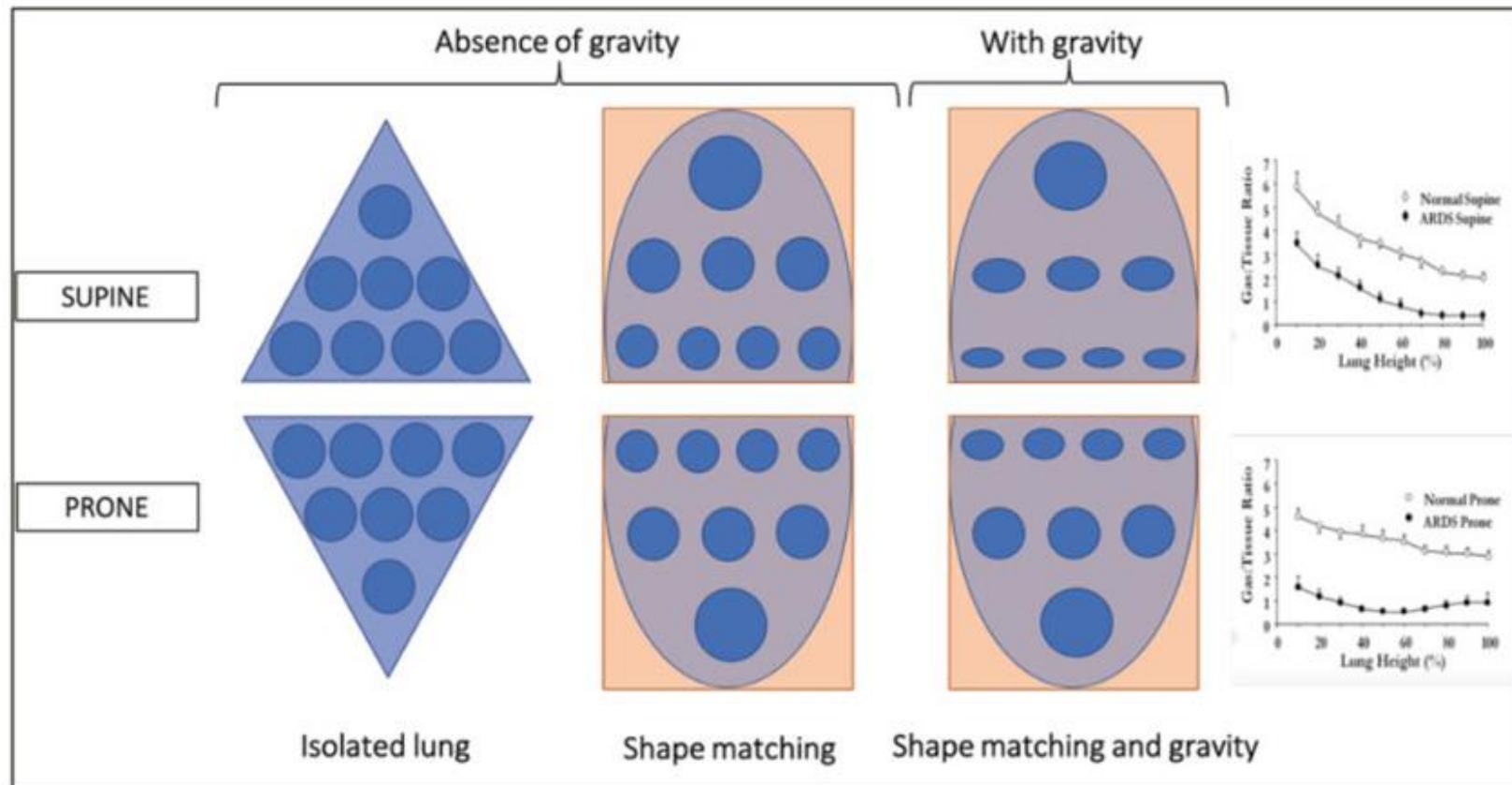
- Estratégias de sedação

Table 2 Effect of sedation on respiratory drive, effort and breathing pattern

Drug class	Inspiratory effort and tidal volume	Respiratory rate	Ventilatory response to hypercapnia and hypoxemia	Effect on diaphragm function and patient-ventilator interaction
Benzodiazepines	↓	↔ or ↑ ↓ at high doses	↓	Delay restoration of diaphragm activity
Propofol	↓	↔ or ↑ ↓ at high doses	↓	May ↑ dyssynchrony (i.e., ineffective efforts because of lower respiratory effort)
Opioids	↔ or ↑	↓	↓	May ↓ dyssynchrony (i.e., fewer ineffective efforts because of slower, deeper respiratory efforts)
Dexmedetomidine	↔	↔	↔	↓ dyssynchrony by decreasing agitation/delirium

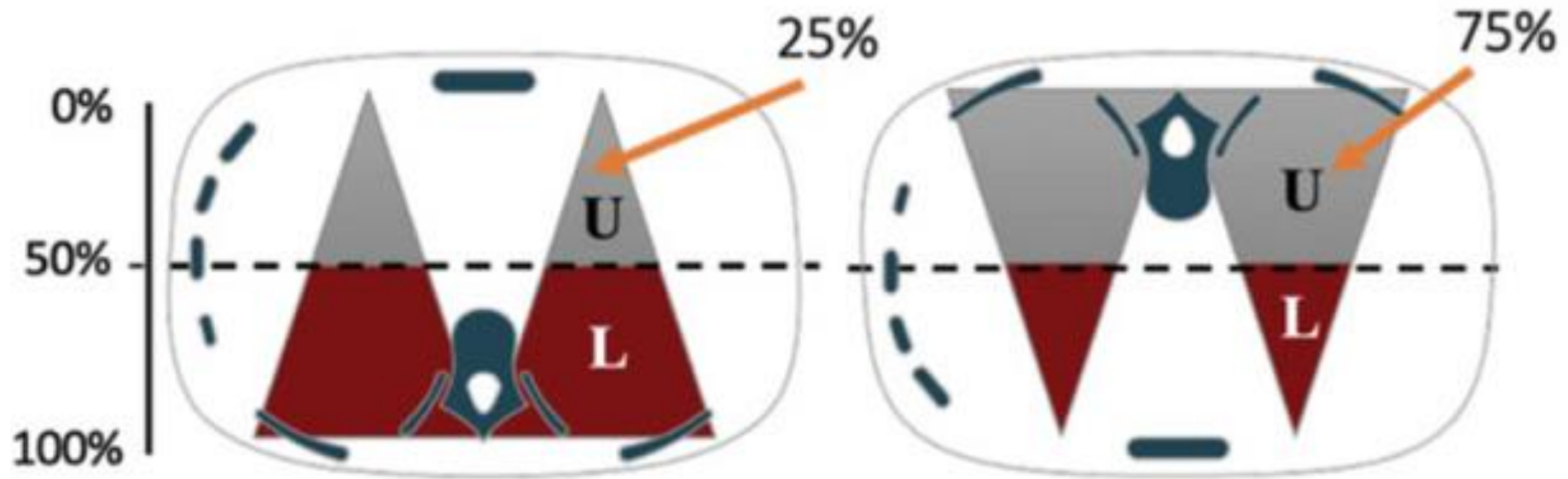
Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- Posição prona



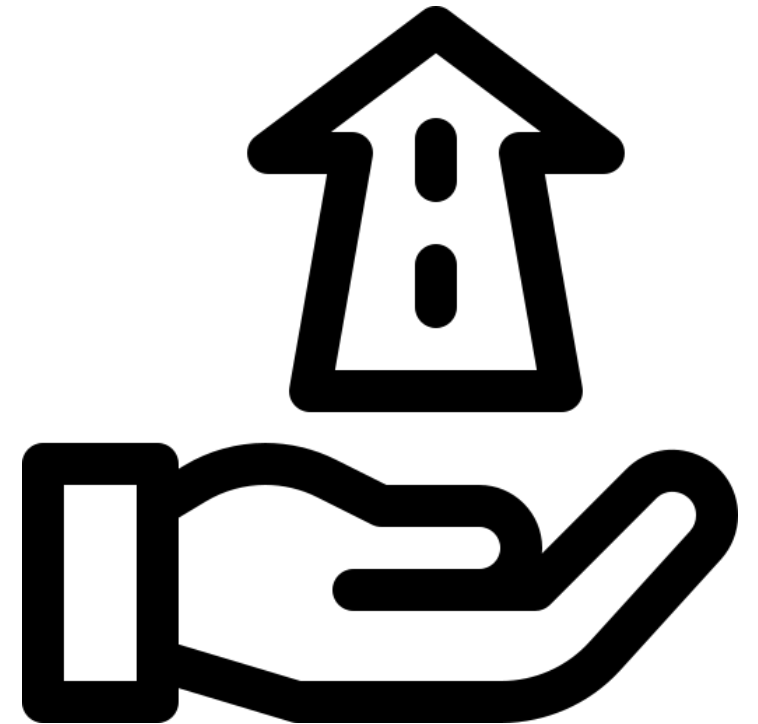
Estratégias clínicas para facilitar a ventilação protetora pulmonar e diafragmática

- Posição prona

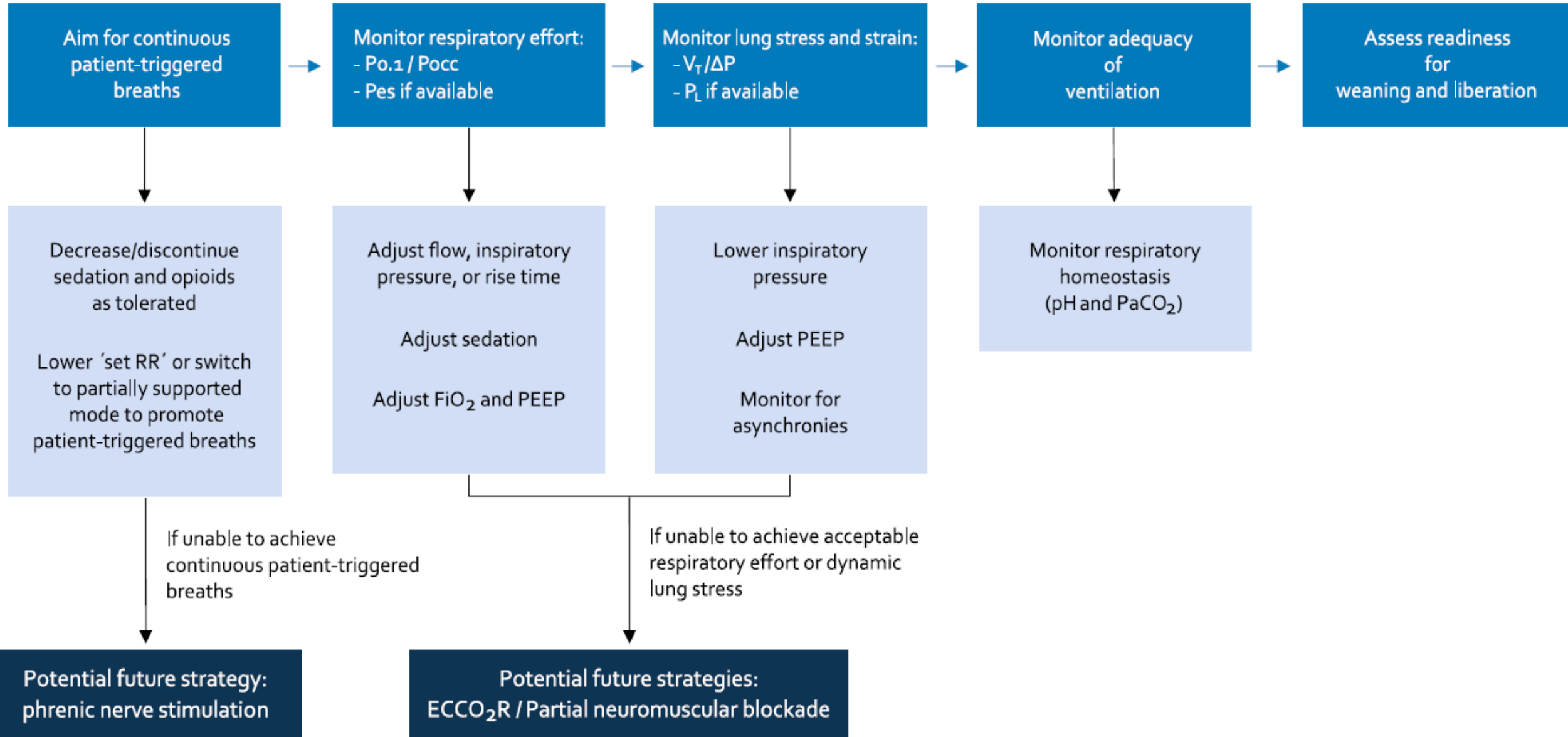


Abordagens futuras

- Remoção extracorpórea de CO_2 (ECCO₂R)
- BNM parcial
- Estimulação elétrica: pacing e nervo frênico



Resumo e direções futuras



Obrigado

