

重症肺病変における人工換気の 新しいモード

ジュゼッペ・A・マラロ, MD

gmarraro@picu.it

www.picu.it

小児集中治療部麻酔科・ICU部長

ファテベネフラッテリ・眼科病院

ミラノ イタリア

人工換氣

- 補助
- 損傷
- 保護



プレッシャー・コントロール・ベンチレーション Pressure Control Ventilation

- ピーク吸気圧のコントロール
- 肺胞圧 < 25-30 cm H₂O
- PEEP 2-5 cm H₂O
- 一回換気量を制御できない



1970 - PEEP

- 新生児生存の改善
- 呼気終末における細気管支開通の維持
- 機能的残気量(FRC)と肺容量の増加



ECMO: “肺の休息”

人工換気による肺損傷からの保護の
必要性



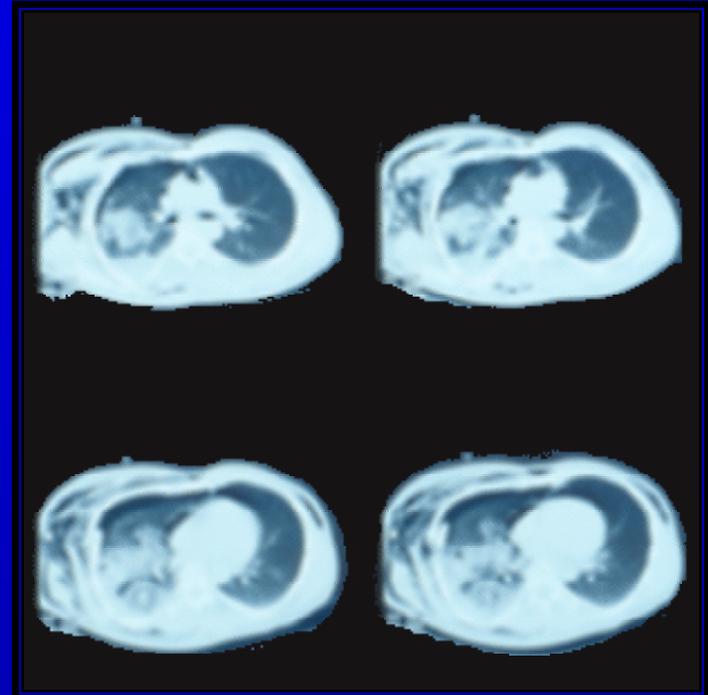
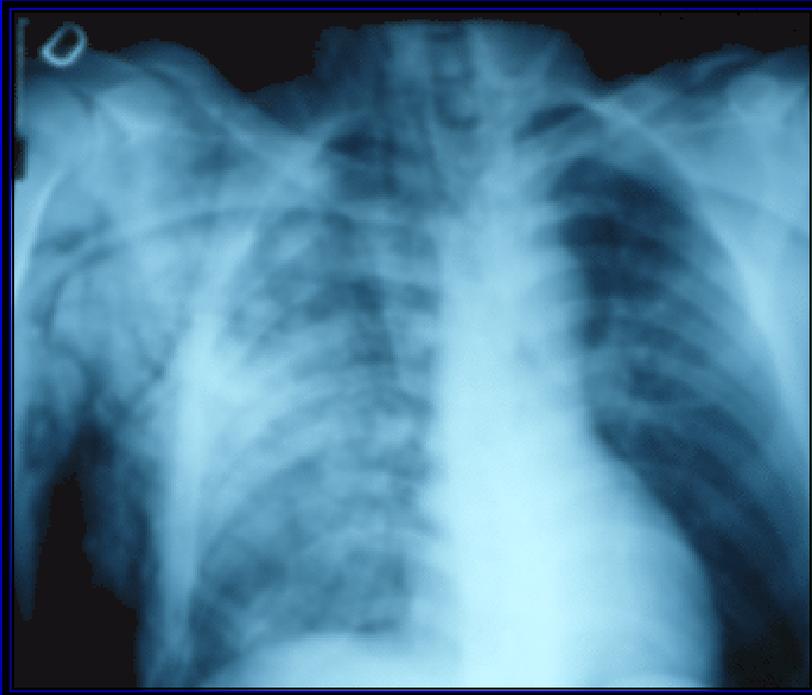
不均一な肺病変

- ガス交換を得るための高容量、高圧の過膨張により、病変の少ない部位がより障害される。



片側性の肺病変

- 重症の右胸部外傷の胸部レ線およびCT



From: G. Marraro



片側性の肺病変



From: G. Marraro



別々の肺の換気

効果

- より損傷した肺でのみ機能的残気量、換気の増加
- 損傷のより少ない肺での過換気の抑制
- それぞれの肺での選択的なPEEPの使用
- 感染した肺野からの喀痰排出を別々に行う



人工換気療法による肺損傷 Ventilation-Induced Lung Injury (VILI)

- 圧損傷 (barotrauma = バロトラウマ) よりむしろ換気量による肺損傷 (volutrauma = ボリュトラウマ)
- 酸素毒



人工換気療法による肺損傷

Ventilation-Induced Lung Injury (VILI)

- 肺内を通過する際に圧が上昇することによる高肺容量
- 肺胞の過拡張
- 低い終末呼気容量による繰り返す肺胞の虚脱と再開通

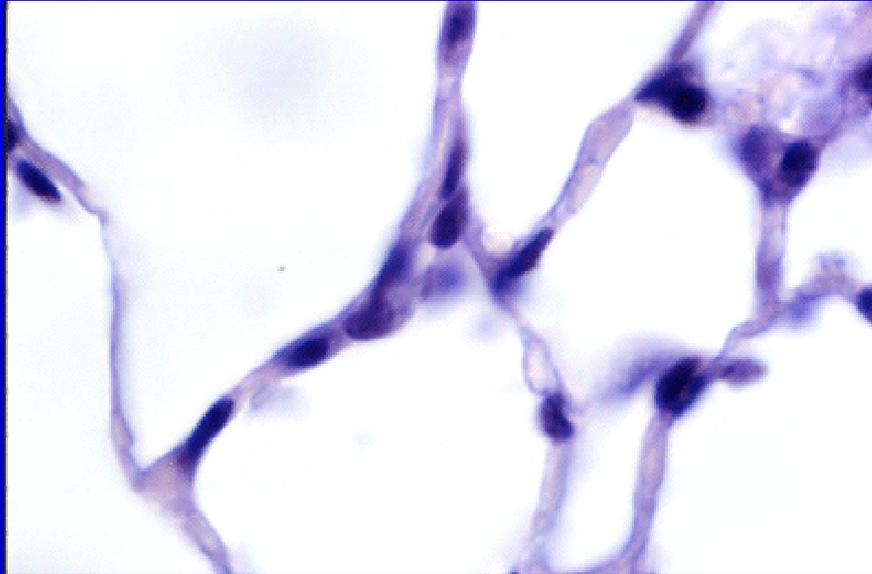


VILIに関する別の要因

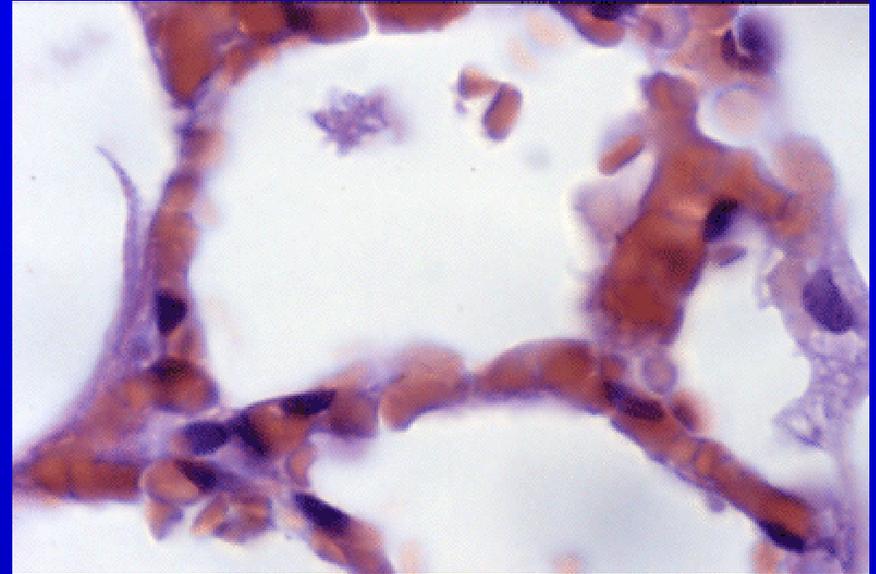
- すでに存在する肺損傷/炎症
- 高濃度の吸気酸素濃度
- 炎症性メディエーターの局所産生と組織的放出



酸素毒



正常肺胞



$FiO_2 = 1$ で人工換気後、1時間後の病的肺胞

From: G. Marraro



人工換気

効果

- 両肺の換気を適正化し肺病変を改善
- 酸素化を改善し
高炭酸ガス血症を軽減する
- 呼吸性の疲労、酸素消費を減少させる
- 気管分泌物排出を適正化する



人工換気

副作用

- 気道への侵襲性
- 鼻、咽頭フィルターの欠如
- 肺圧損傷、換気容量による損傷

- 深鎮静または筋抑制の必要性



肺を開くアプローチ

肺を開き維持する



肺を開くアプローチ

- いくつかの手技を合わせる目的
 - 呼吸に関わる部分を最大に開くように維持
 - 完全な呼吸サイクルの間、回復した部分が持続的に開いているように維持



肺を開くアプローチ

- 徒手による換気
- 吸気時間の延長と休止
- うつ伏せ位
- 深呼吸 (sigh)
- 部位選択的気管内挿管



うつ伏せ位



うつ伏せ位



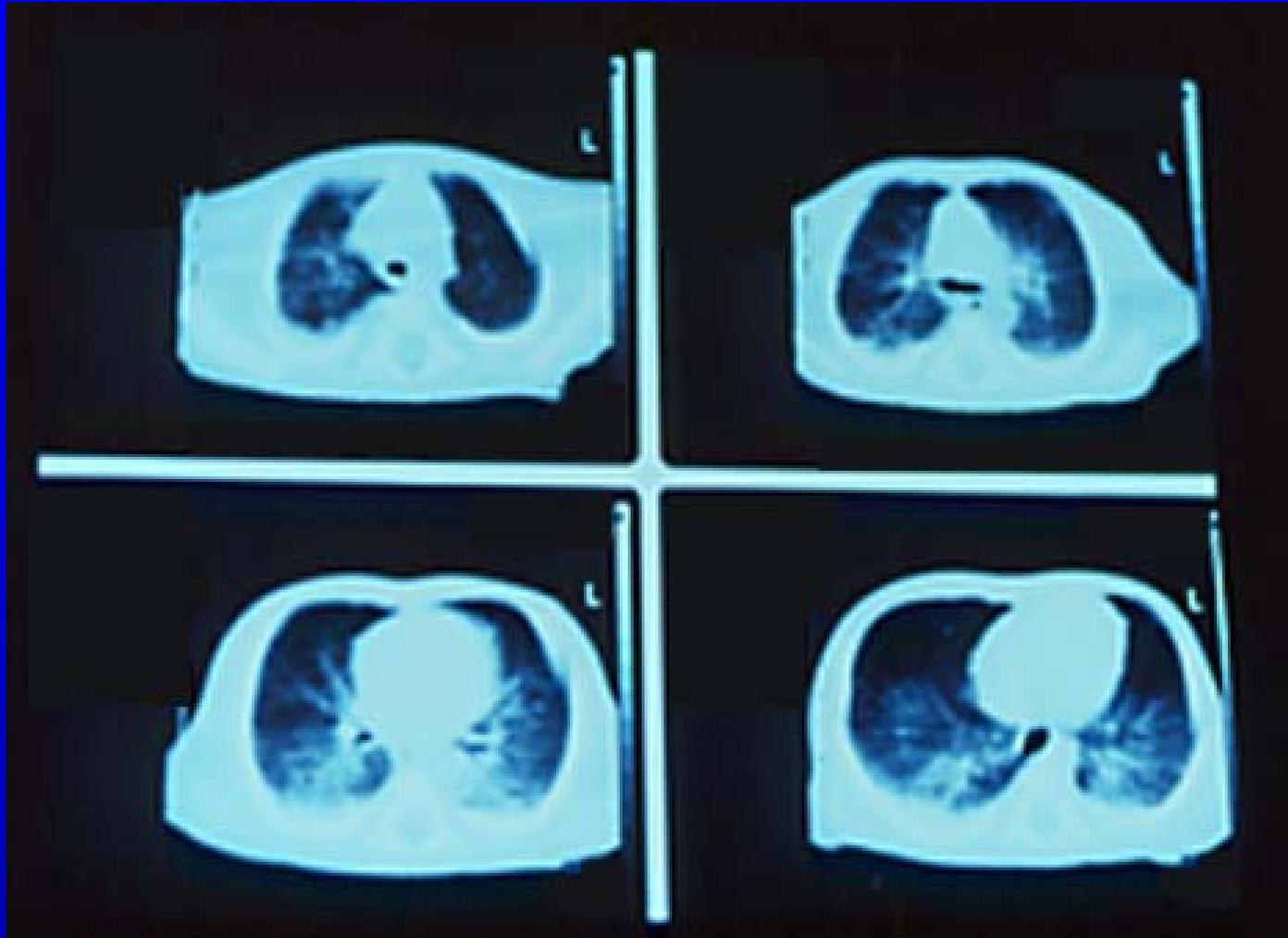
うつ伏せ位

利点

- 背側肺の回復と換気を増大
- 酸素化の改善と換気血流比の均等化
- 上になっている肺の部分からの分泌物排出を増大



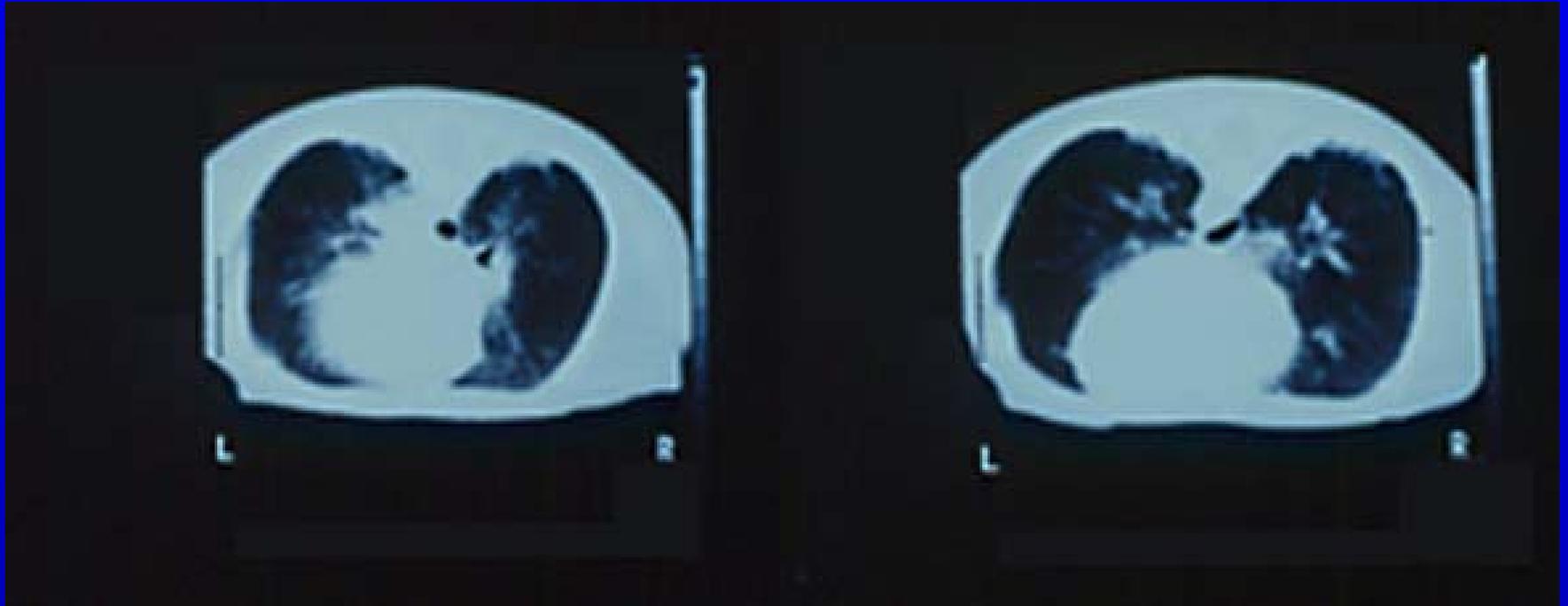
仰臥位



From: G. Marraro



仰臥位



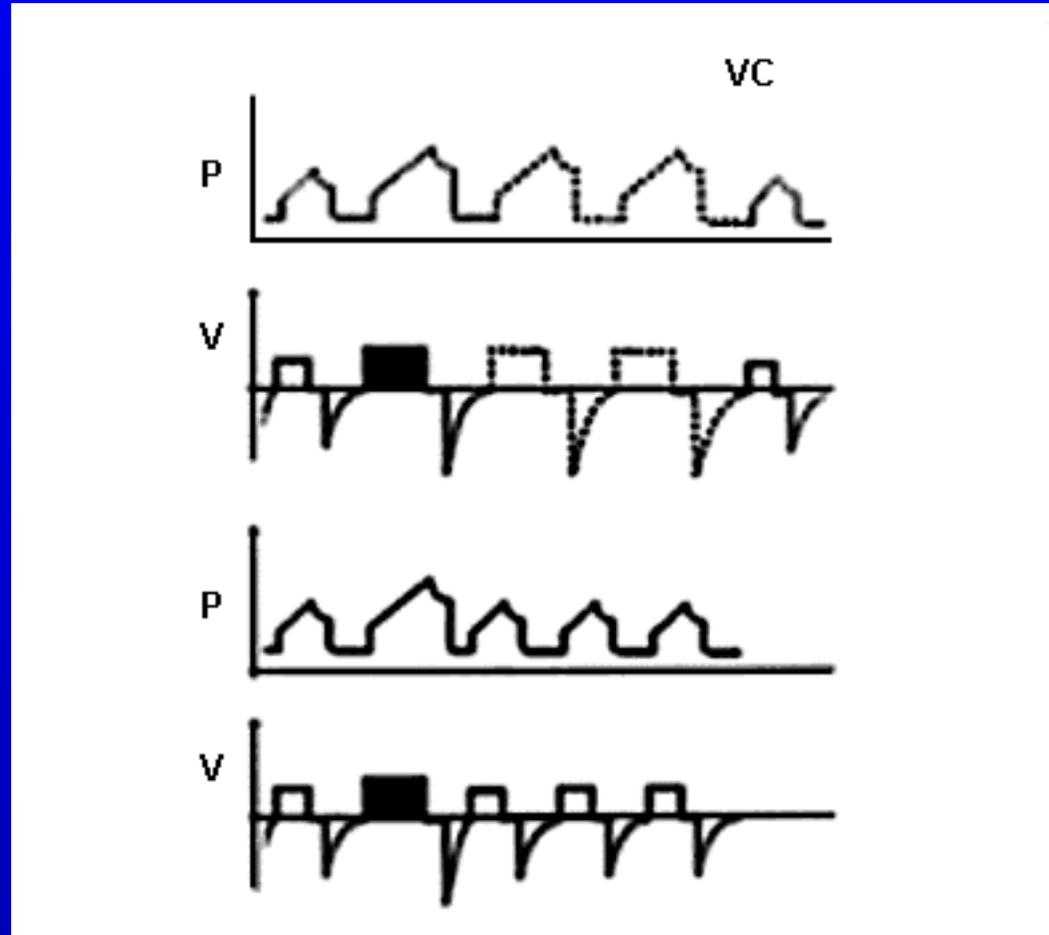
From: G. Marraro



肺を開く方法

器械による深呼吸

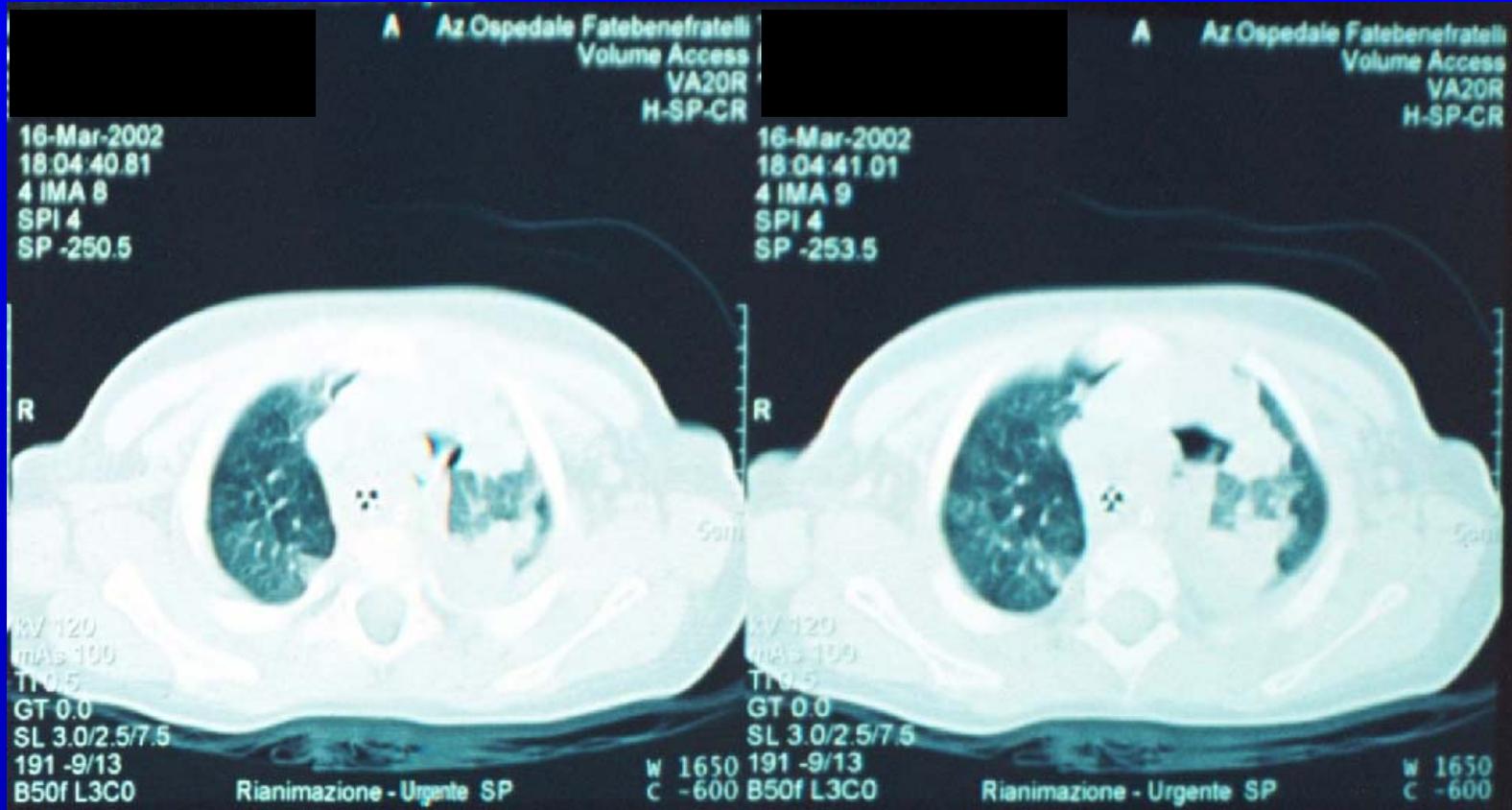
- あらかじめ
一回換気量の2倍
量で
間欠的に



From: G. Marraro



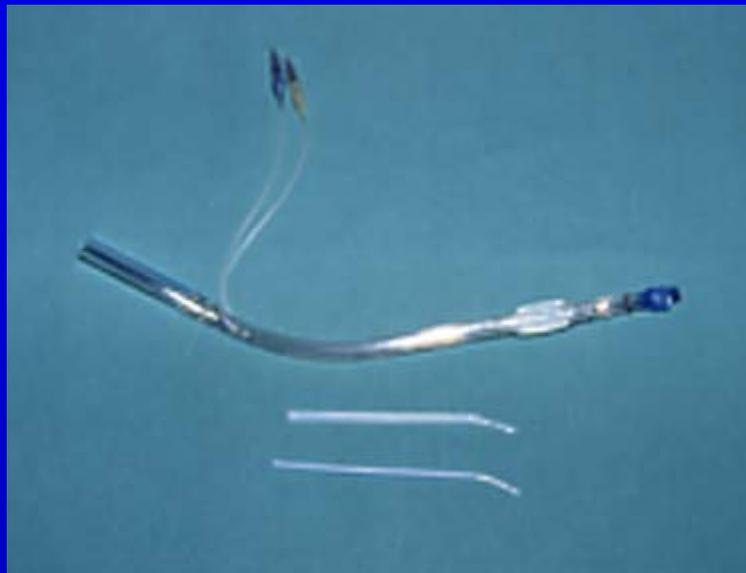
片側肺の病理



From: G. Marraro



片側肺の病理



部位選択的気管内挿管のための
ダブルルーメン気管内チューブ



片側肺の病理

部位選択的気管内挿管と肺の回復



From: G. Marraro

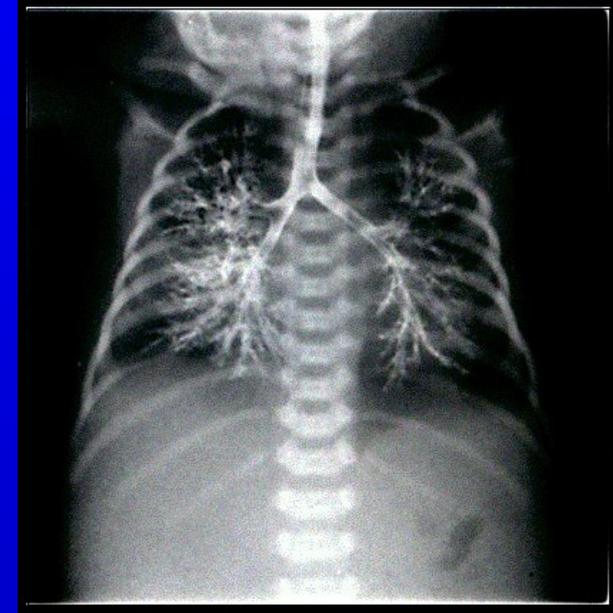


肺を開くアプローチ

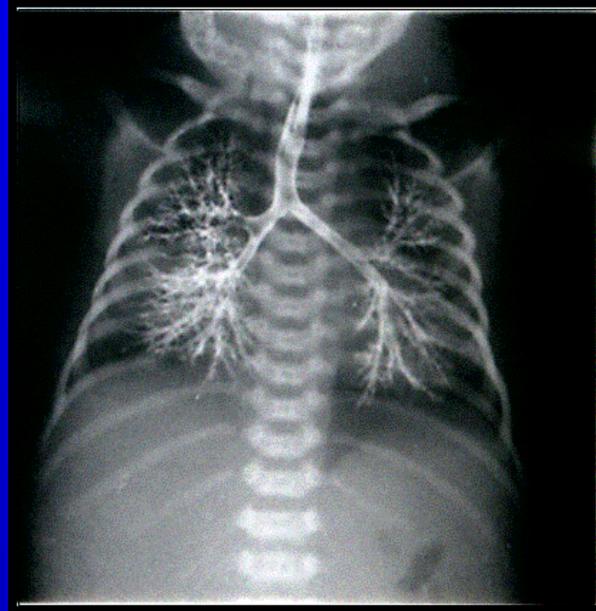
肺を開き、そして
その開きを維持する



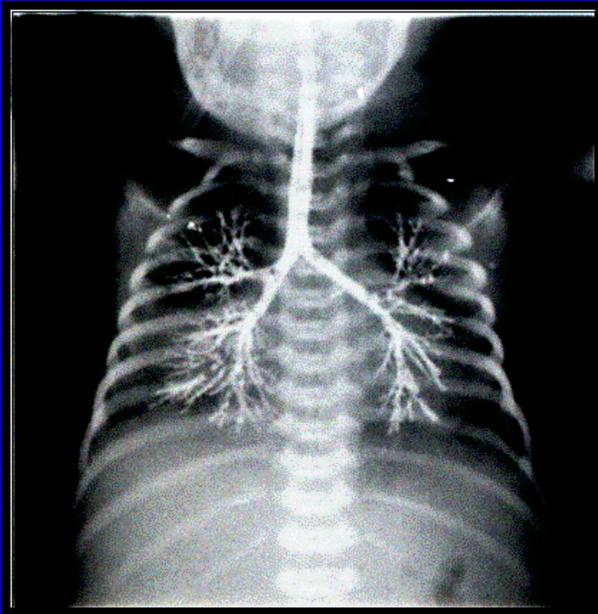
PEEPの活用



PEEP = 10 cm H₂O



PEEP = 5 cm H₂O

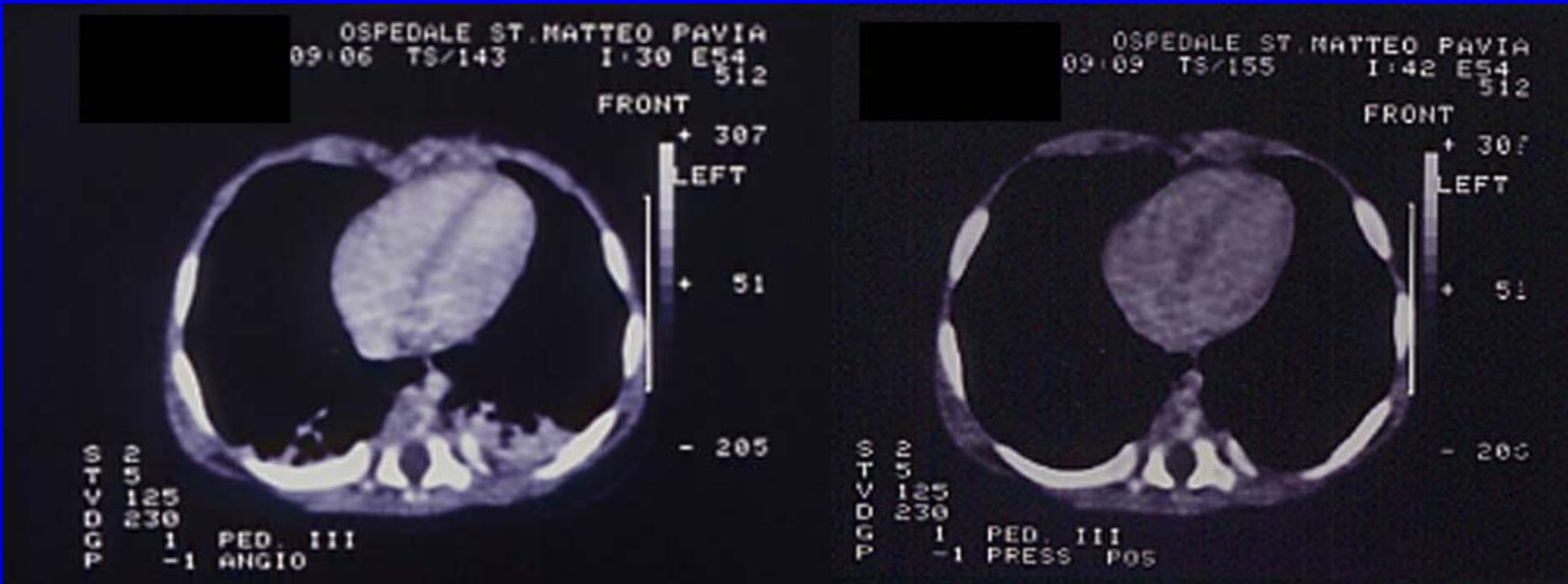


ZEEP

From: G. Marraro



PEEP: 效果



From: G. Serafini

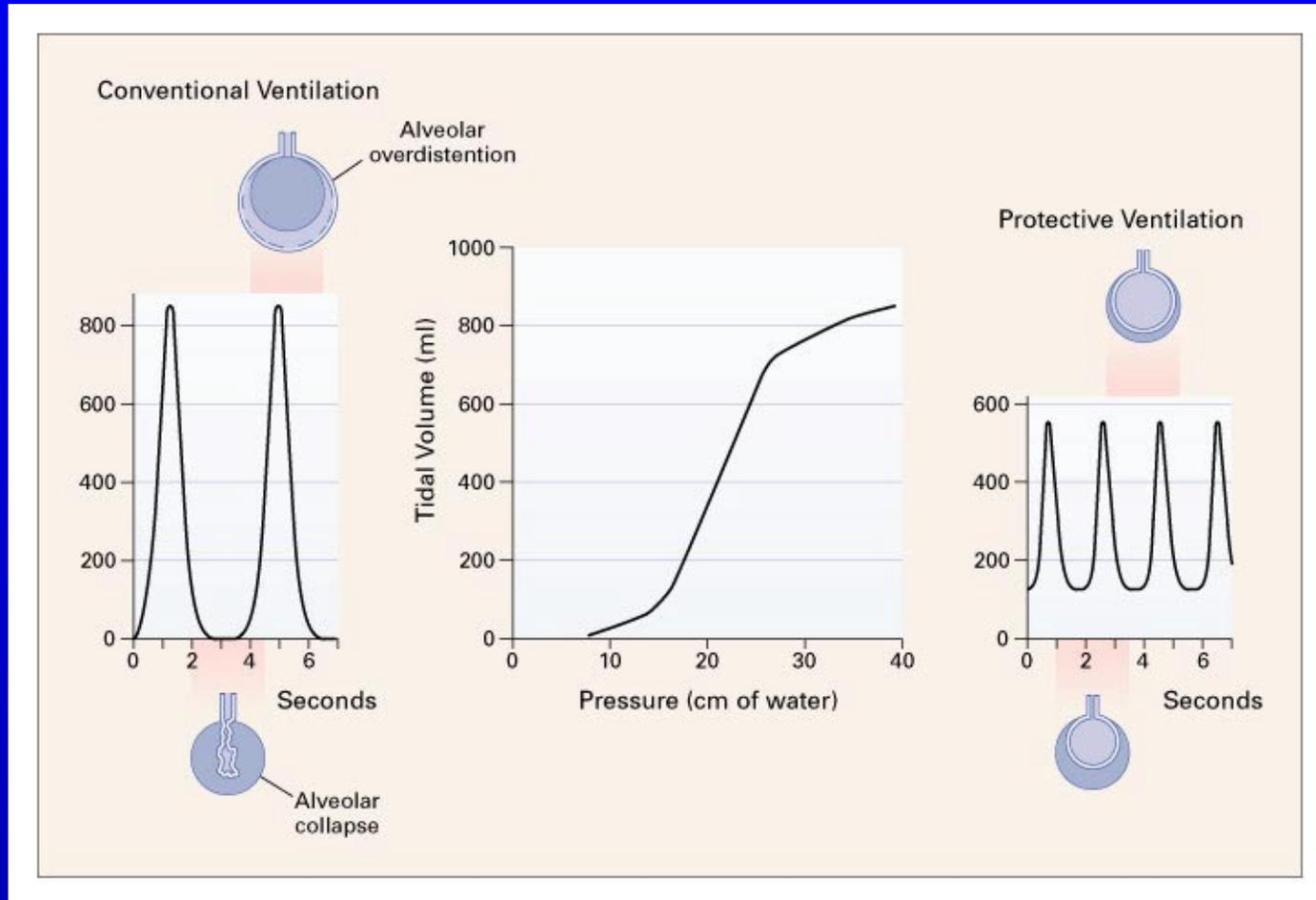


肺を保護する方法

- 呼吸サイクルを通しての肺胞の開通性の維持
- 一回換気量、ピーク圧を制限することにより、肺胞過膨張を避ける
- PEEPの活用により、肺胞の虚脱とFRCの減少を避ける
- 中等度までの高炭酸ガス血症を許容する (45-50 mmHg位まで)

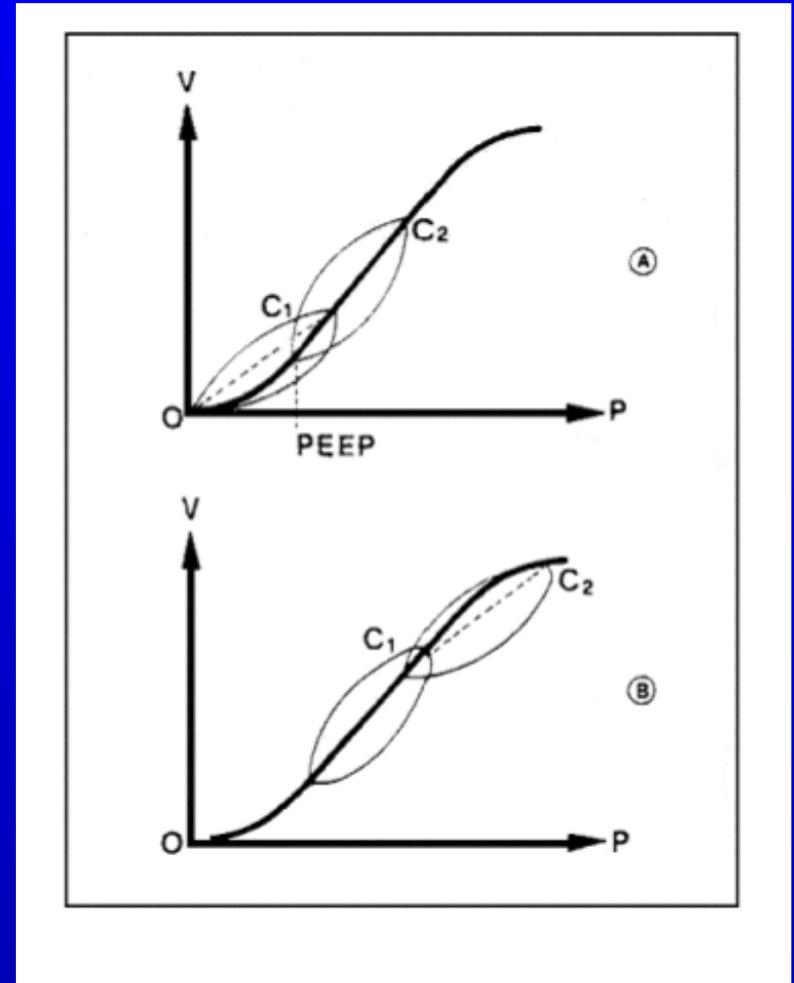


保護の方法



肺を保護するような換気補助

- ❖ PEEP: $>$ inferior flex point
(呼気から吸気への転換相)
- ❖ PIP: $<$ superior flex point
(吸気から呼気への転換相)



人工呼吸

➤ 気管内挿管による人工呼吸

➤ 非侵襲的人工呼吸

➤ ガスの代わりにリキッドを用いた人工呼吸



人工呼吸の進歩

- 肺の過膨張を軽減する方法

 - ボリューム・コントロールド・ベンチレーション (VCV)

- 最大吸気圧を下げる方法

 - プレッシャー・レギュレイトド・ボリューム・コントロールド・ベンチレーション (PRVC)

- 自発呼吸をサポートする方法

 - プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)
 - ボリューム・サポート・ベンチレーション (VSV)

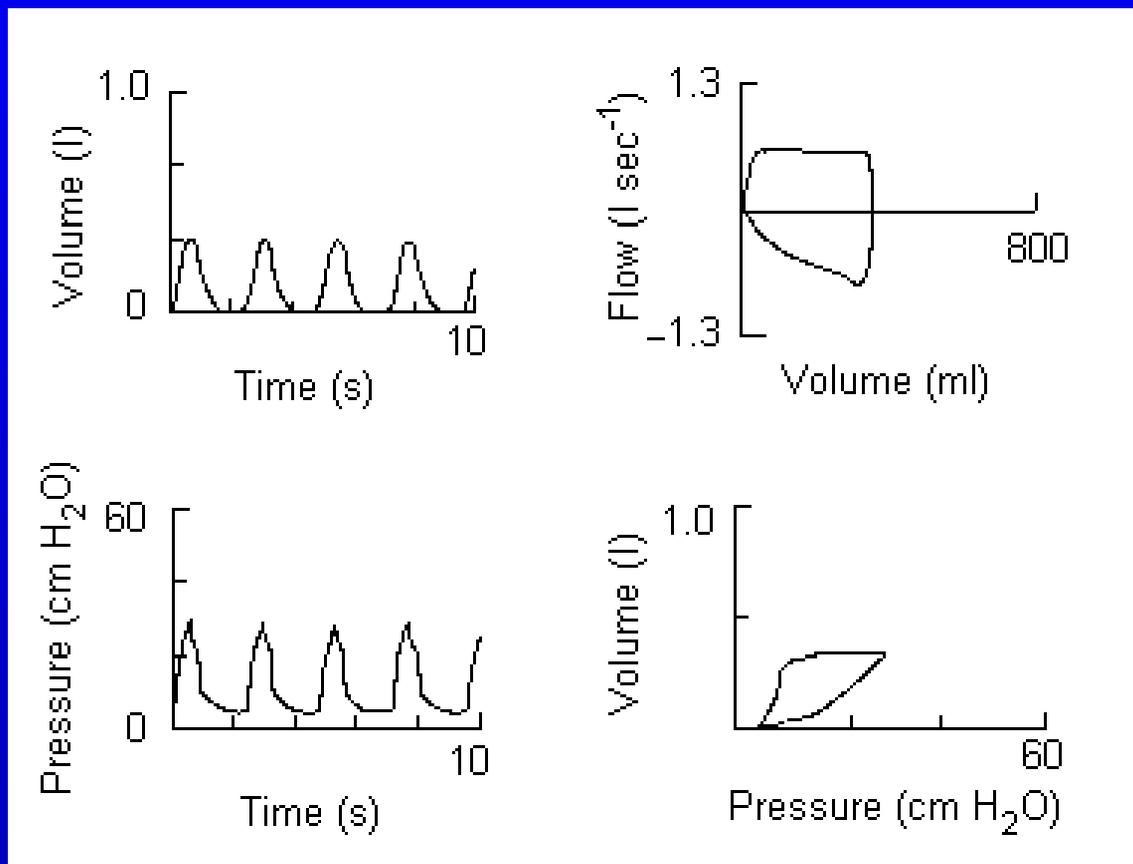


肺を保護する人工呼吸

- 少ない一回換気量 (6-8 mL/kg か場合によってはそれ以下)
- 一回換気量のコントロール
- CO₂を正常に保つような高い換気回数
- 適切な PEEP レベル (肺の虚脱と再開放を避ける)



肺を保護する人工呼吸



コンティニュアス ポジティブ プレッシャー ベンチレーション
(continuous positive pressure ventilation=CPPV)

From: G. Marraro



肺を保護する人工呼吸

- 一回換気量の制限
- 高い換気回数
- しかし
- 呼吸回数の調節だけでは効果的に肺胞分時換気量を正常化できない
- 肺容量の低下
- 低換気 (死腔換気)



高炭酸ガス血症の許容



高炭酸ガス血症の許容

高炭酸ガス血症によるアシドーシスの副作用

- 心筋の収縮力と心拍出量の減少
- 脳血管の拡張
- けいれんの閾値の低下
- 高カリウム血症



高炭酸ガス血症の許容

禁忌

- 頭蓋内圧上昇
- 肺高血圧



人工呼吸の進歩

- 肺の過膨張を軽減する方法
 - ボリューム・コントロールド・ベンチレーション (VCV)
- 吸気圧ピークを低下する方法
 - プレッシャー・レギュレイトド・ボリューム・コントロールド・ベンチレーション (PRVC)
- 自発呼吸をサポートする方法
 - プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)
 - ボリューム・サポート・ベンチレーション (VSV)

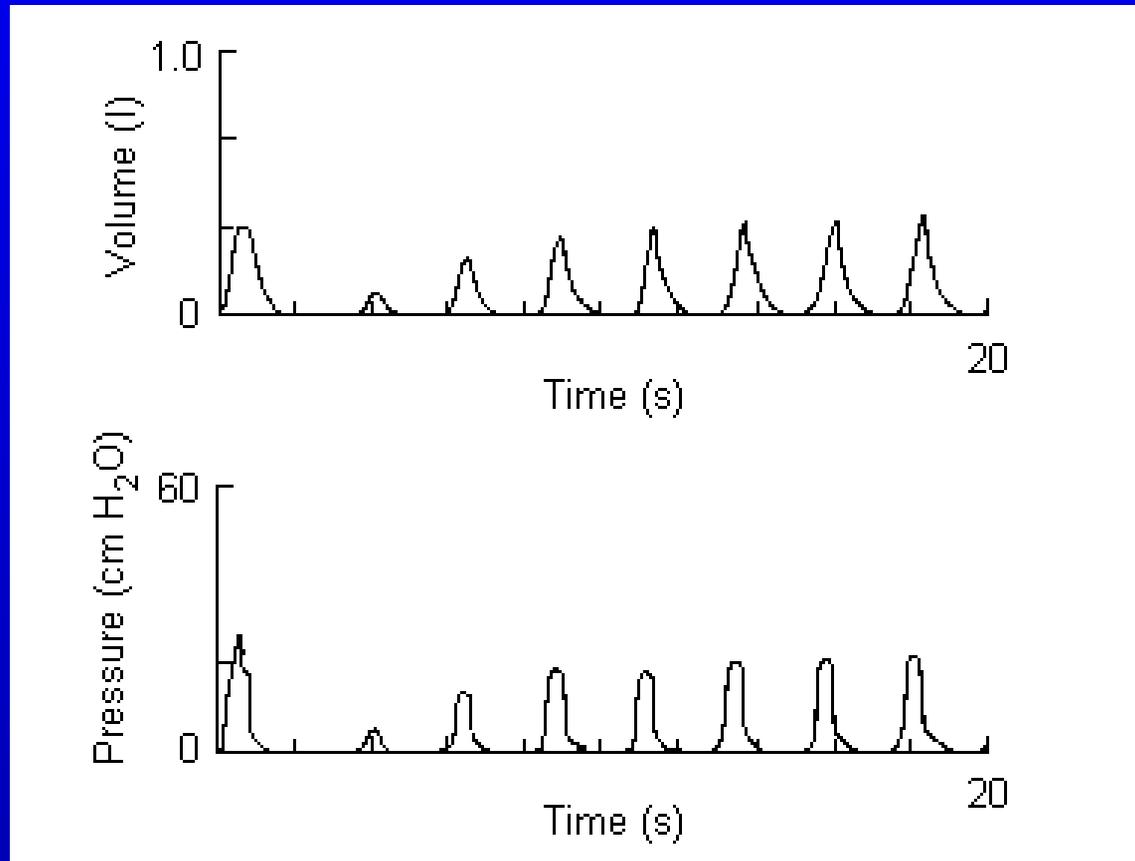


Pressure regulated volume control (PRVC) ventilation

- 圧リミットを設定して一回換気量と分時換気量をコントロールする
- できるだけ低い圧、吸気相での一定圧



PRVC



From: G. Marraro



PRVC の有用性

- 高い吸気圧から肺を保護
- ピーク圧は常に肺コンプライアンスに適応する



PRVC の適応

- 肺コンプライアンスと抵抗は急速に変化するLung compliance and resistance varying rapidly
- 肺のある部位を再び開くために最初に高いフローが必要 (無気肺など)
- 高いピーク圧で換気することを軽減 (肺気腫、未熟児など)



PRVC の適応

- 開通していない肺胞や気管支が、薬物の投与などにより再び開いたときに換気圧を調整するため (テオフィリン, NO, サーファクタント投与)
- 気管支・細気管支の攣縮のある時 (気管支喘息, 細気管支炎など)



PRVCの問題点

- 一度つぶれてしまった肺野の再開放の
難しさ



Innovative practices on artificial ventilation

- Method to reduce lung overdistension
Volume Controlled Ventilation (VCV)
- Methods to reduce Peak Inspiratory Pressure
 - Pressure Regulated Volume Control ventilation (PRVC)
- 自発呼吸をサポートする方法
 - プレッシャー・サポートベンチレーション (PSV)
 - Volume Support Ventilation (VSV)



プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)

- 吸気時に自発呼吸をサポート
- 付加されるガスの流速は、あらかじめ設定されたレベルまで吸気圧を作り出す



プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)

- 不均衡な換気のもとで、PSVは肺の病的部分に影響なく、換気状態の良い部分をさらに広げることができる



プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)

PSVの最も良い適応

- 人工呼吸からの離脱のため
- チューブの抵抗による呼吸仕事量の軽減のため
- 血行動態の安定効果のため



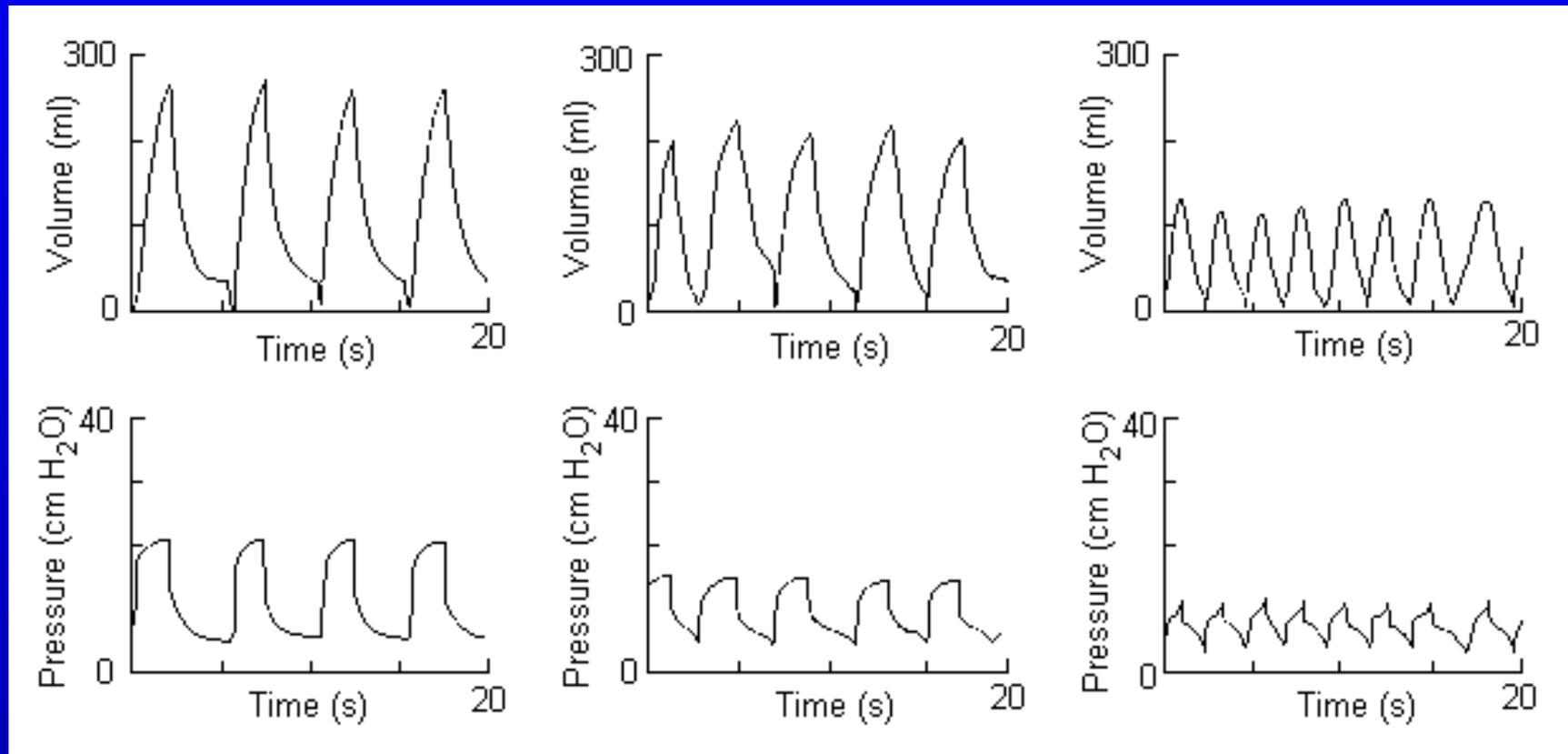
プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)

結果

- 高いサポート圧の使用
 - 一回換気量の増大
 - 呼吸回数の減少
- ★ 肺の圧損傷 (barotrauma)
- 弱いサポート圧の使用
 - 一回換気量の減少
 - 呼吸数の増加
- ★ 筋疲労と酸素消費量の増大



プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)



From: G. Marraro



プレッシャー・サポート・ベンチレーション (PSV)

- 肺の圧損傷と筋疲労と酸素消費量増大を少なくするために、常に徒手による順応を得る必要がある
- 無呼吸に対応しない



人工呼吸の進歩

- Method to reduce lung overdistension
Volume Controlled Ventilation (VCV)
- Methods to reduce Peak Inspiratory Pressure
 - Pressure Regulated Volume Control ventilation (PRVC)
- Method to support spontaneous breathing
 - Pressure Support Ventilation (PSV)
 - ボリューム・サポート・ベンチレーション (VSV)

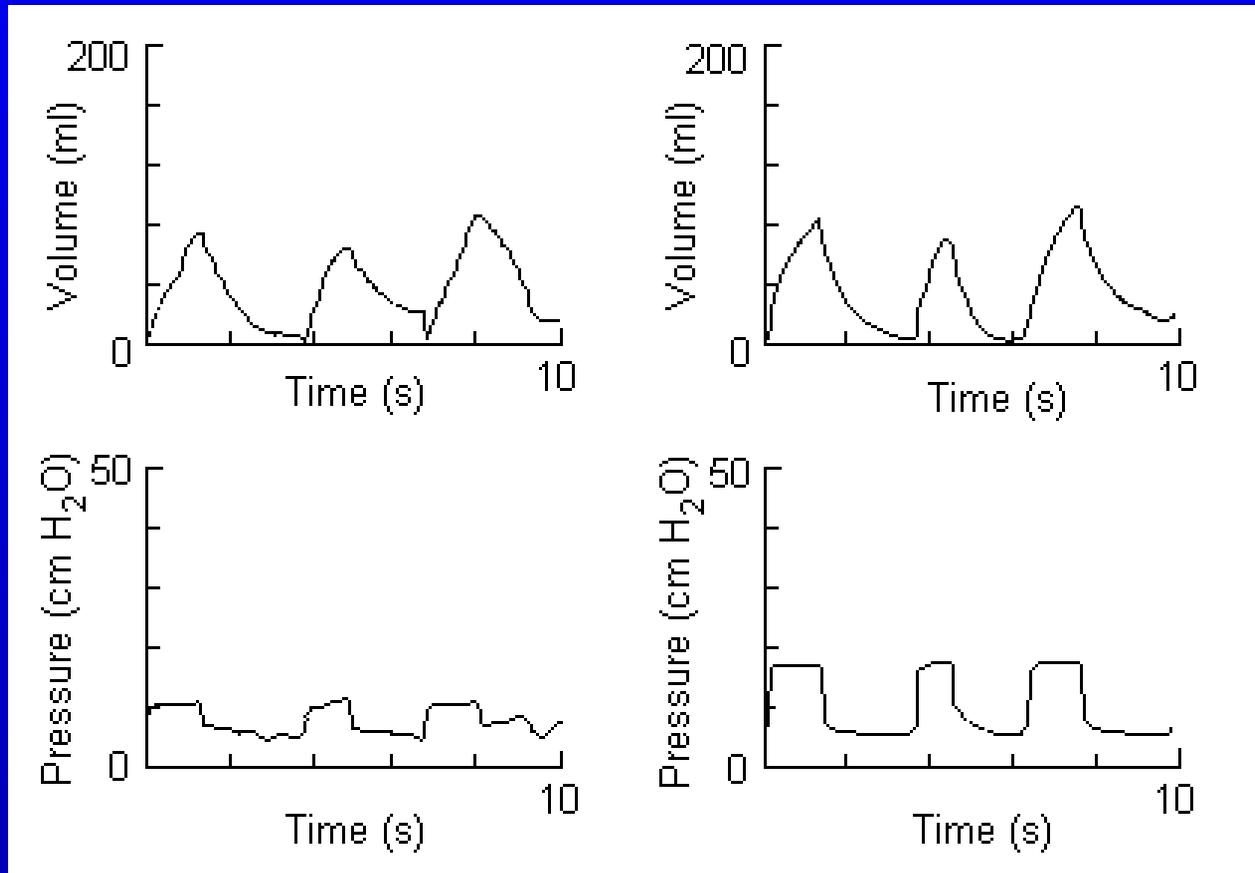


ボリウム・サポート・ベンチレーション (VSV)

- 自発呼吸を補助
- あらかじめ設定した一回換気量/分時換気量になるような最低の圧を使用
- 無呼吸の問題を回避
- 徒手による順応が不要



ボリュウム・サポート・ベンチレーション (VSV)



From: G. Marraro



VSV 適応

- 人工呼吸器からの離脱
- COPD患者の人工呼吸器からの離脱
- 呼吸筋のトレーニングを促進
- 自発呼吸の維持または再賦活化
- 気管内挿管チューブの抵抗を代償



VSV 禁忌

- 深い鎮静と筋弛緩の使用時
- CNSの神経異常のある時



VSV 対 PSV

VSVの利点

- 無呼吸のコントロール
(人工呼吸器は自動でPRVCにスイッチ)
- 肺への過剰な吸気流入と圧損傷のコントロール
- ベッドサイドで圧レベルの調整は不要



人工呼吸

➤ 気管内挿管による人工呼吸

➤ 非侵襲的人工呼吸

➤ ガスの代わりにリキーツドを使用



気管内挿管をしない人工呼吸

以下のことを避けるために:

- 気道損傷
- 鼻や咽頭のフィルター機能の欠如
- 肺の圧損傷とボリューム損傷
- 感染 (肺炎, 副鼻腔炎など)



非侵襲的人工呼吸

Special indications

- 人工呼吸器から離脱 (気管内挿管チューブを使っている時間の軽減)
- 気管内挿管抜管後にハイリスクとなる患者



非侵襲的人工呼吸

人工呼吸器のタイプ

- 陽圧のベンチレーター
- ボリュームをあらかじめ設定したベンチレーター
- ネガティブ/ポジティブのオシレーター



NPPV選択のクライテリア

- 呼吸補助筋と腹部のパラドキシカルな動きによっても中等度から高度の呼吸困難
 - 中等度から重度アシドーシス (pH 7.30-7.35) と高炭酸ガス血症 (PaO_2 45-60mmHg)
 - 呼吸数 > 25 回/分 (年齢と病態による)
- ❖ 少なくとも2つのクライテリアが必要



非侵襲的人工呼吸療法

Bi-PAPの利点

- 肺循環への影響が少ない
- 酸素化改善
- 高炭酸ガス血症の軽減
- 呼吸筋萎縮の回避



非侵襲的人工呼吸

問題点

- PEEP使用の困難さ
- 気管・気管支の気道分泌物の排出困難
- 気道分泌物がかたくなる
(加湿や加温の必要性)
- 気道サクシヨンの難しさ



非侵襲的換気療法

最も一般的な合併症

- 鼻根部の皮膚の褥瘡
- 加湿の不足
- 胃への空気流入
- 閉所恐怖症



非侵襲的人工呼吸

一般に証明されてはいない利点

- 肺野の開通
- 気道分泌物の可動性とクリアランスの維持
- 上気道からの肺炎や副鼻腔炎の軽減
- ICU滞在時間の軽減
- 死亡率の減少



NPPVの禁忌

- 血行動態の不安定性
- 気道の保護的機構の欠如
- 意識がよくない
- 非常に粘稠な口腔や気管内の分泌物



非侵襲的人工呼吸

RTX Respirator (ハイアック・オシレーター)



非侵襲的人工呼吸

RTX Respirator (ハイアック・オシレーター)

効果

- 呼吸困難の軽減
- 気管内挿管の頻度減少
- マスクは不要
- 肺の分泌物の可動性とクリアランス
- 呼吸筋萎縮を回避



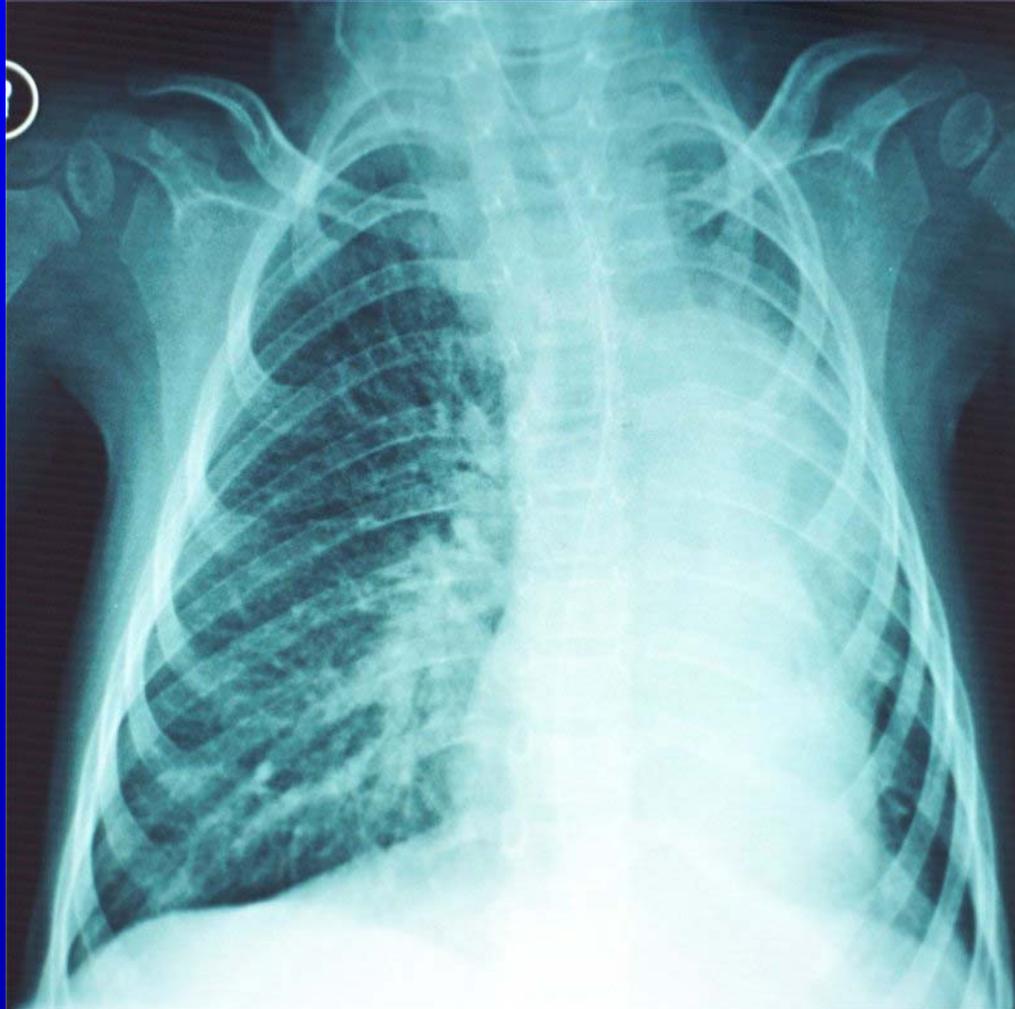
非侵襲的人工呼吸

問題点

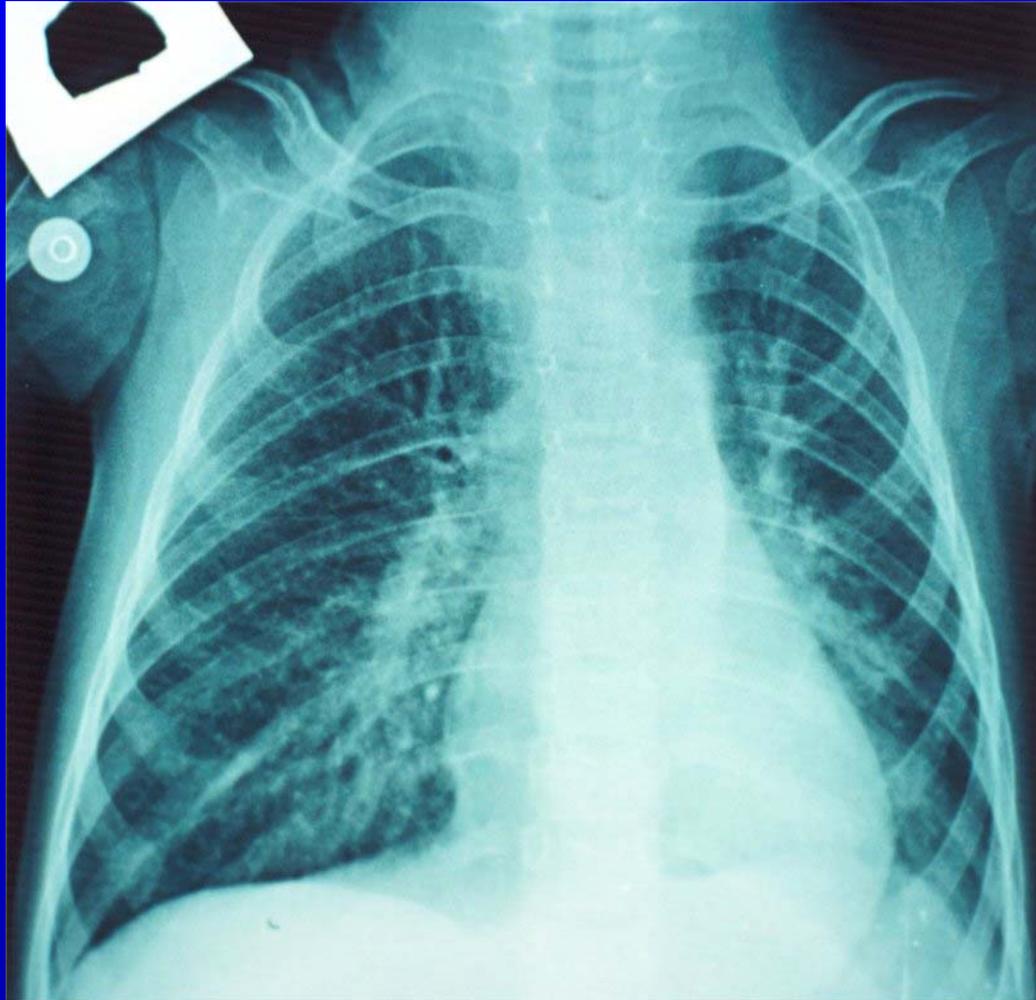
- ナースによるケア
- 食べること
- 食道胃逆流と誤嚥



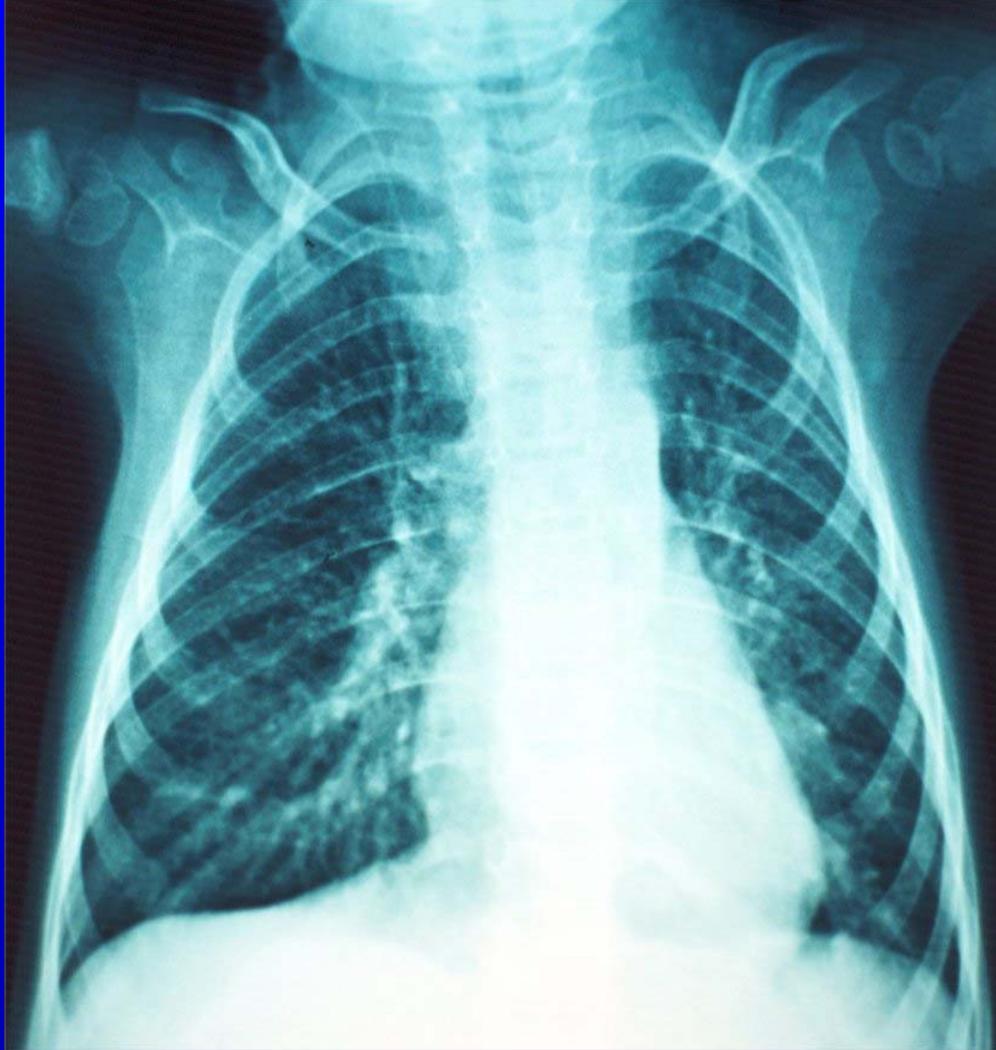
症例



症例



症例



人工呼吸

➤ Intubation and mechanical ventilation

➤ Non-invasive ventilation

➤ ガスの代わりにリキッドによる人工呼吸



リキッド・ベンチレーション

- ▶ ガス交換の代わりにリキッドを使用



リキッド・ベンチレーション

perfluorocarbon (PFC) の特徴

- 透明, 無色で無臭
- 室温保存でき、オートクレーブ可能
- 水や脂質に溶けない
- O_2 , CO_2 や他のガスには非常によく溶解する



リキッド・ベンチレーション

Perfluorocarbonsの特徴

- 生態系には溶解性があまりない
- 表面張力は低い
- 肺や皮膚に急速に蒸発する



リキッド・ベンチレーション

PFC 投与方法

- トータル・リキッド・ベンチレーション (TLV)
- パーシャル・リキッド・ベンチレーション (PLV) または (P.A.G.E.)



トータル・リキッド・ベンチレーション

- ガスの代わりにPFCでガス交換
- 一回換気量: 15-20 ml/kg of PFC
- 呼吸数: 4-5 呼吸/分
- PFCは肺から自然に蒸発する



パーシャル・リキッド・ベンチレーション

- 通常のガスを用いた換気のうち、PFCを機能的残気量(FRC)を満たすために使用



PLV 対 TLV

LVに対してのPLVの利点

- 通常の器械換気と同じ機器を使用できる
- 特別な設備を必要としない
- 循環器系の安定性が高い、血行動態への悪影響や pH の変化が少ない



トータル・リキッド・ベンチレーション

利点

- 酸素化改善
- 換気血流比の改善
- 肺胞組織と毛細血管のリクルート
- 肺胞表面張力を減らす
- 肺の中にある全てのものを動かす
- 肺の圧損傷を減らす



トータル・リキッド・ベンチレーション

適応

- 未熟児の呼吸促迫症候群 (RDS)
- Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS)
- 胎便吸引症候群
- Cystic fibrosis (腭臓線維症) と蛋白症
- 局所的な薬の投与, 加熱した肺葉



リキッド・ベンチレーション

PFC使用の問題点

- 乳酸アシドーシスの持続
- 少ない換気回数でCO₂除去しなければならない
- PFCの重さによる気道の拡張



リキッド・ベンチレーション

LVの一般的な合併症

- 長期治療により、気管と気管支の変形
- 肺の圧損傷 (肺気腫と気胸)
- 毒性 (?)



新生児と未熟児のLVの臨床治験

以下の理由で中断されている

- 治療プロトコルが正しくない
- 最初の結果が期待はずれであった



ARDSでのLVの治験

- 米国, カナダとヨーロッパなど56のセンター、311の成人対象
- PFCの投与量は2種類
(10 and 20 mL/kg)



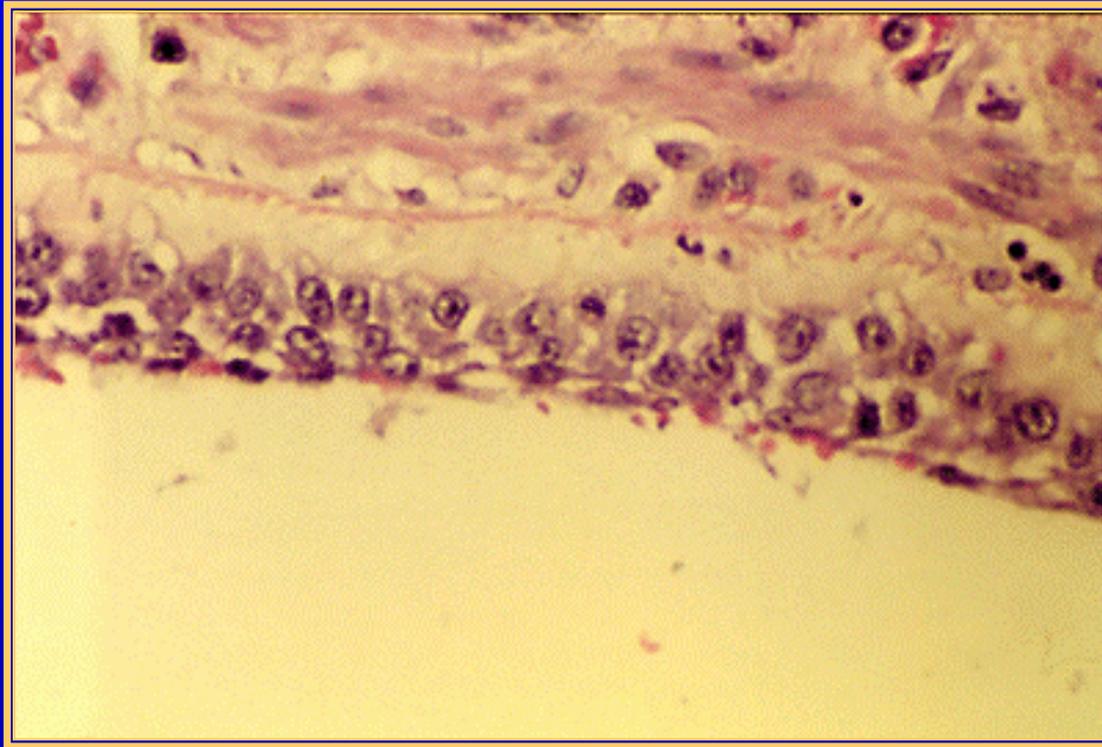
結果

- PFCは安全に使用できることが証明された



結果

- 24時間後の健常肺におけるPFC

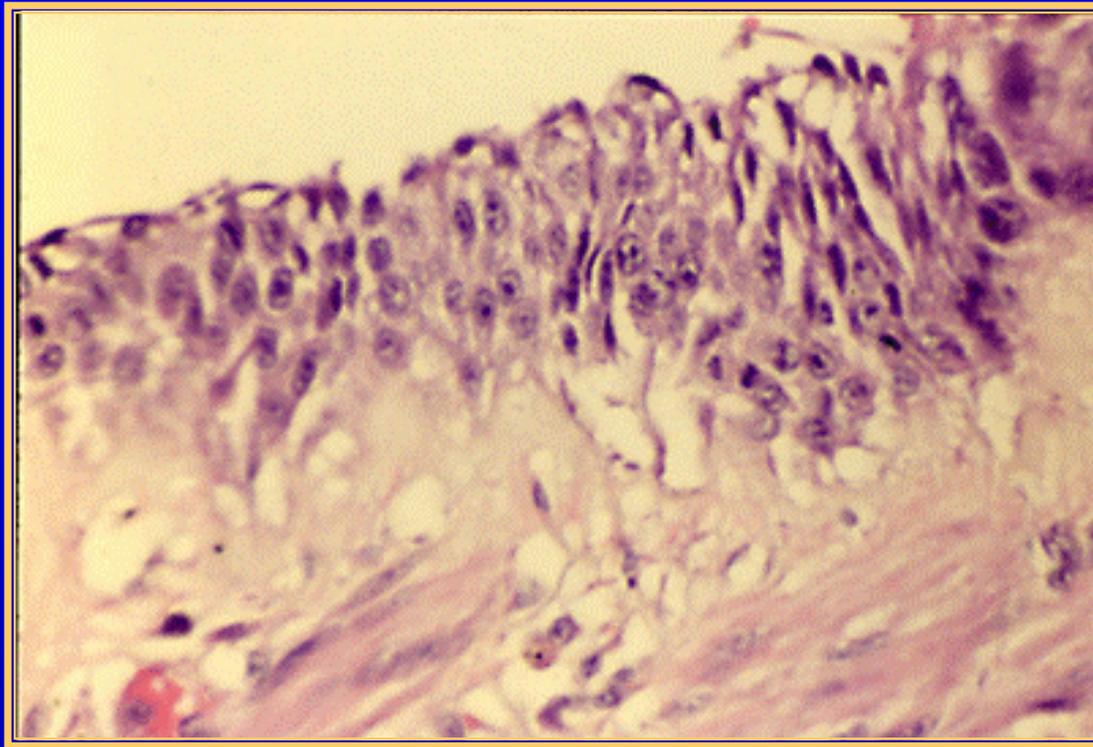


From: G. Marraro



Results

- 24時間後の健常肺におけるPFC



From: G. Marraro



Results

➤ PFCの安全性は証明された

しかし

➤ PLVでの死亡率はむしろ高率であった

➤ 不均等な肺の病理の存在における
重症な低酸素血症

➤ 気胸の発生率が増加

➤ 通常的人工呼吸に戻りにくい



解決しなければならない点

- 治療の安全性
- PFCの取り込みと代謝
- 長期のLV後に通常的气体による人工呼吸に戻るときの問題点
- どのくらいの期間が最適な治療期間なのか



Thank you for your attention

Giuseppe A. Marraro, MD

gmarraro@picu.it

www.picu.it

Director Anaesthesia & Intensive Care Department

Pediatric Intensive Care Unit

Fatebenefratelli & Ophthalmiatric Hospital

Milano - Italy

Hokkaido - May 18 2003