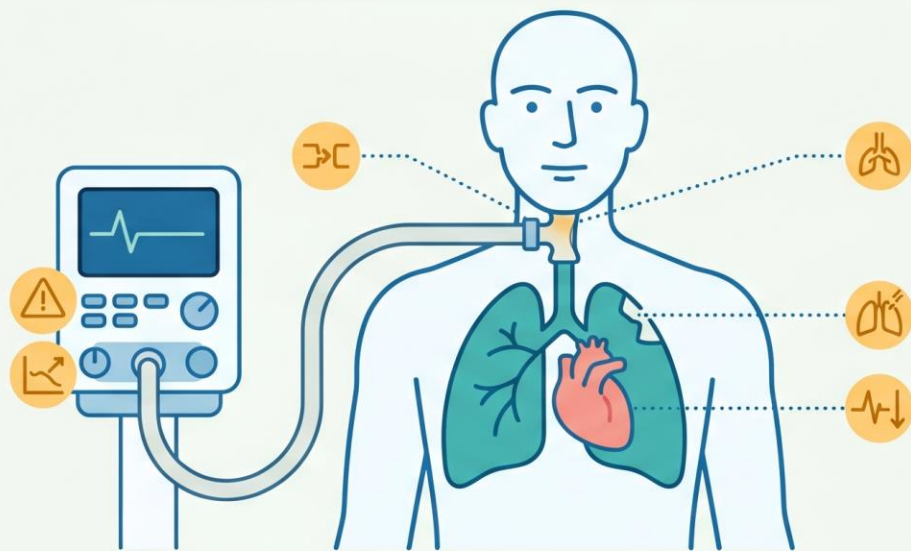


Trouble shooting for patients with mechanical ventilation



課程大綱 (Agenda)

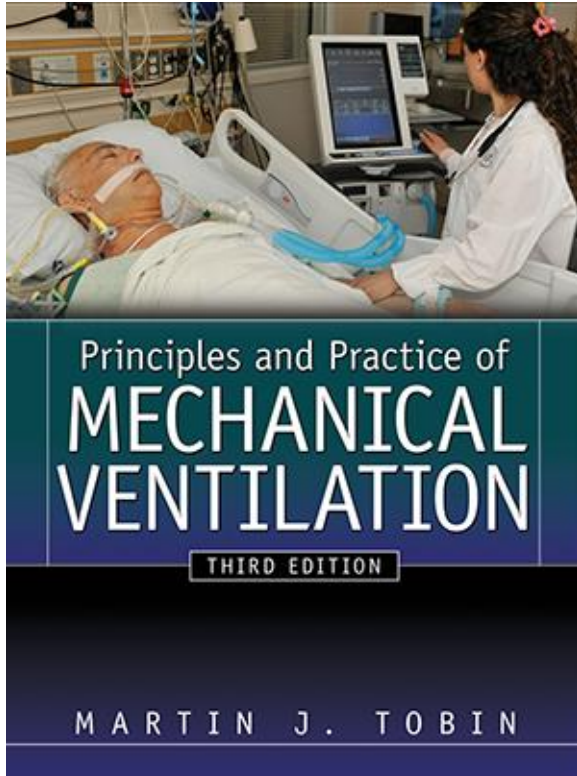
01 急症處置與基礎力學

02 致命急症排查 (DOPES 原則)

03 破解人機不協調 (Asynchrony)

04 Auto-PEEP 實戰管理 (Auto-PEEP in COPD/Asthma)

05 ARDS 進階保護性通氣



Principles and Practice of Mechanical Ventilation, 3e

Martin J. Tobin

Copyright © 2013 by The McGraw-Hill Companies

課程大綱 (Agenda)

01 急症處置與基礎力學

02 致命急症排查 (DOPES 原則)

03 破解人機不協調 (Asynchrony)

04 Auto-PEEP 實戰管理 (Auto-PEEP in COPD/Asthma)

05 ARDS 進階保護性通氣

黃金法則：Disconnect and Bag

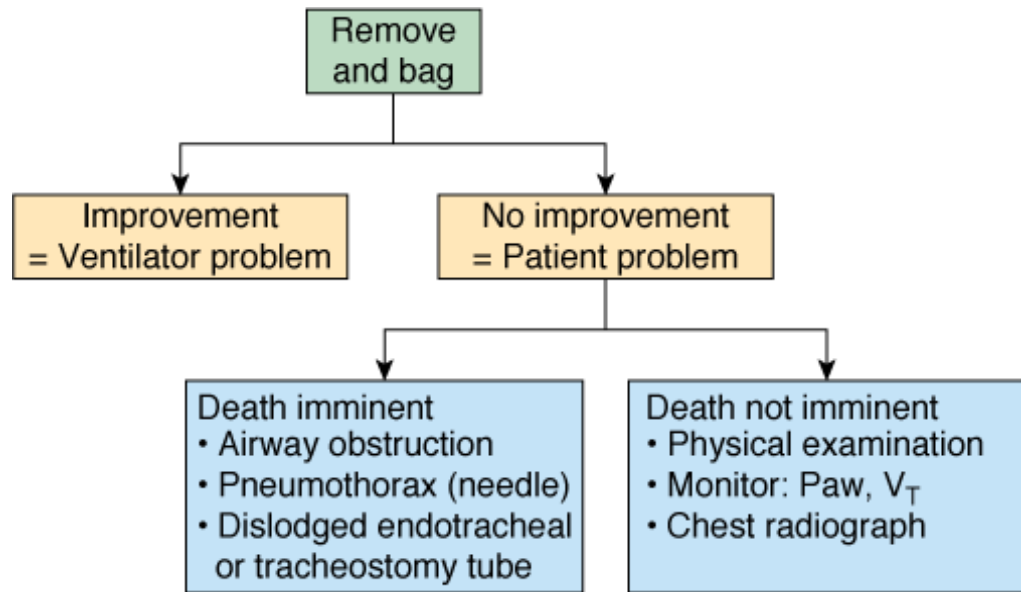
The Golden Rule

第一步：脫離呼吸器 → 100% O₂
Ambu Bag

窘迫緩解 → 問題在呼吸器端

窘迫持續 → 問題在病人端

診斷 與 治療 必須同步進行



波形判讀：看出病人的 Air Hunger

Airway Pressure Waveform

吐氣末 Spike

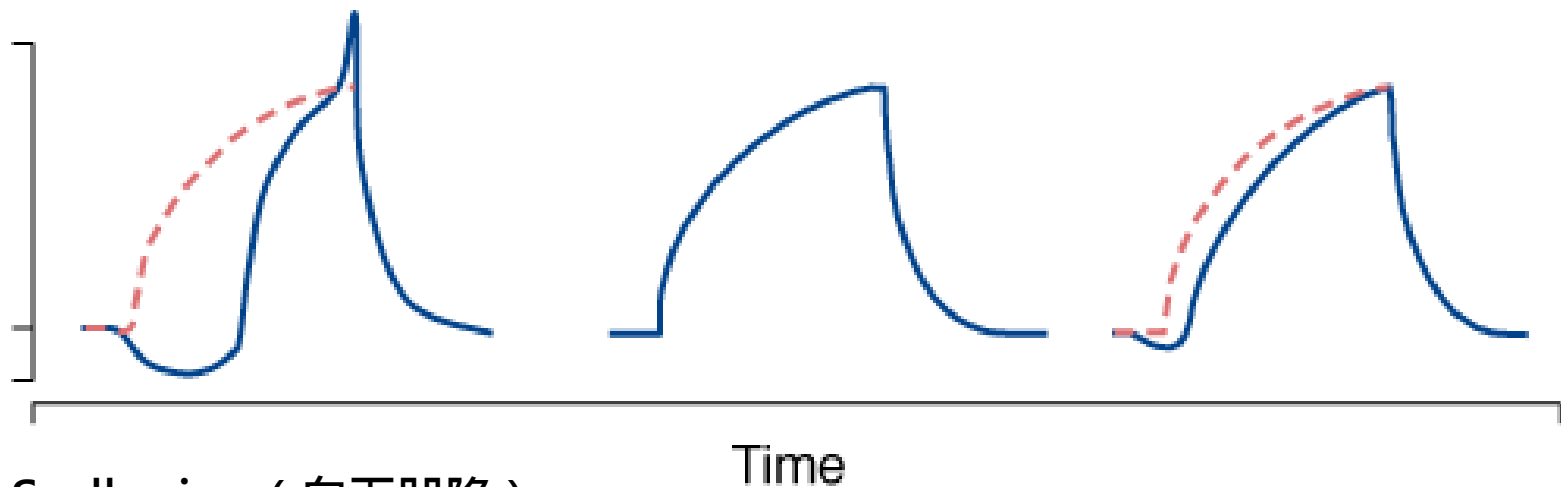
→ 極高的吐氣作功

Convex (平滑凸面)

→ 被動通氣，病人幾乎沒出力

呼吸開始時微小下陷

→ 適當呼吸功



Scalloping (向下凹陷)

→ 流速不足，病人費力吸氣

破解高壓警報：End-Inspiratory Hold

Resistance vs. Compliance

Peak Pressure = 氣道阻力 + 順應性

Plateau Pressure = 順應性

氣道阻力問題 (Resistance ↑)

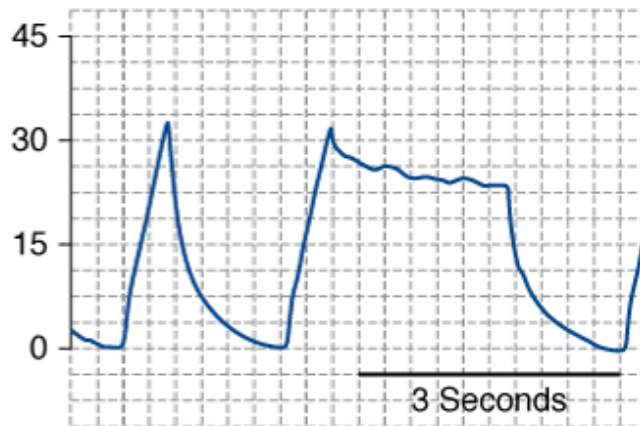
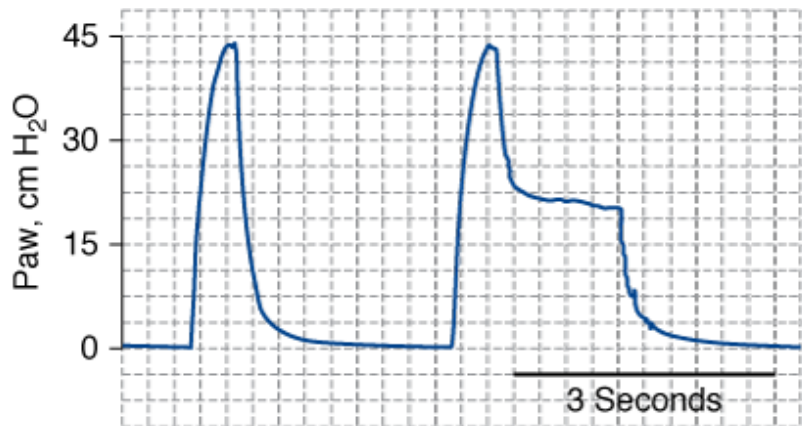
順應性下降 (Compliance ↓)

Peak ↑ + Plateau →

管路凹折、痰液、支氣管痙攣

Peak ↑ + Plateau ↑

氣胸、肺水腫、Auto-PEEP



課程大綱 (Agenda)

01 急症處置與基礎力學

02 致命急症排查 (DOPES 原則)

03 破解人機不協調 (Asynchrony)

04 Auto-PEEP 實戰管理 (Auto-PEEP in COPD/Asthma)

05 ARDS 進階保護性通氣

致命窘迫的 DOPES 快速排除法

Systematic Approach

- D** **Displacement** 管路移位 (過深或滑脫)
- O** **Obstruction** 管路阻塞 (痰液、氣囊、咬管)
- P** **Pneumothorax** 氣胸 (張力性氣胸)
- E** **Equipment / Events** 設備故障或突發急症
- S** **Stacked Breaths** 氣體堆疊 (Auto-PEEP)

若 Disconnect & Bag 無法緩解 → 立刻依序排除 DOPES

D — Displacement : 管路滑入主支氣管

Right Main-stem Intubation

最常滑入：右主支氣管

(角度較平直)

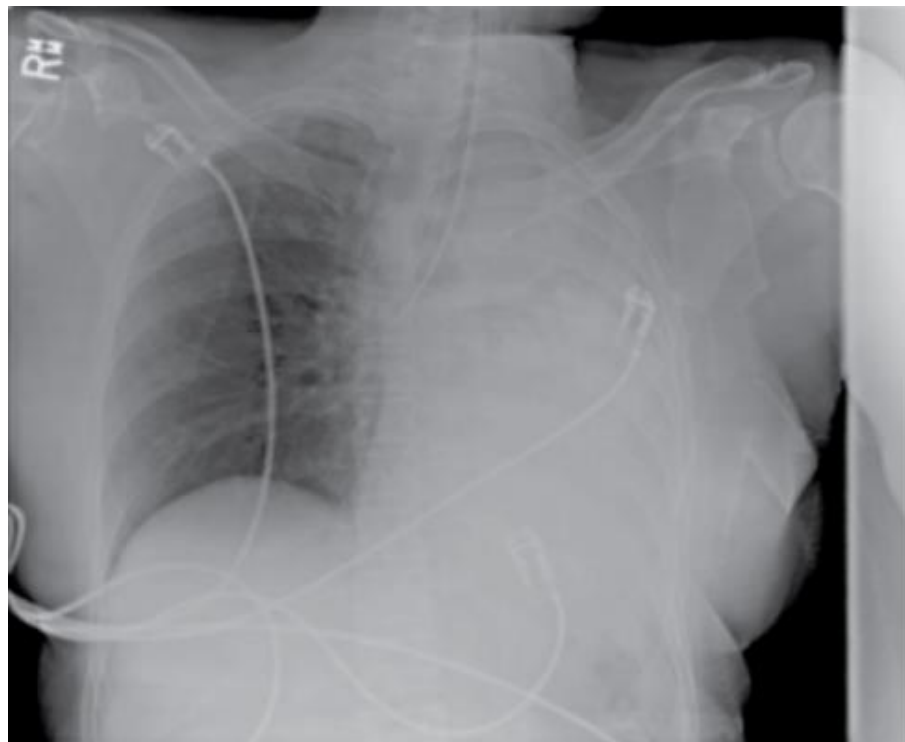
後果：

左肺塌陷 → Shunting → 低血氧

理學檢查：

兩側胸廓起伏不對稱

單側呼吸音減弱



D — Displacement : 食道插管與 EtCO₂

Esophageal Intubation

發生時機：

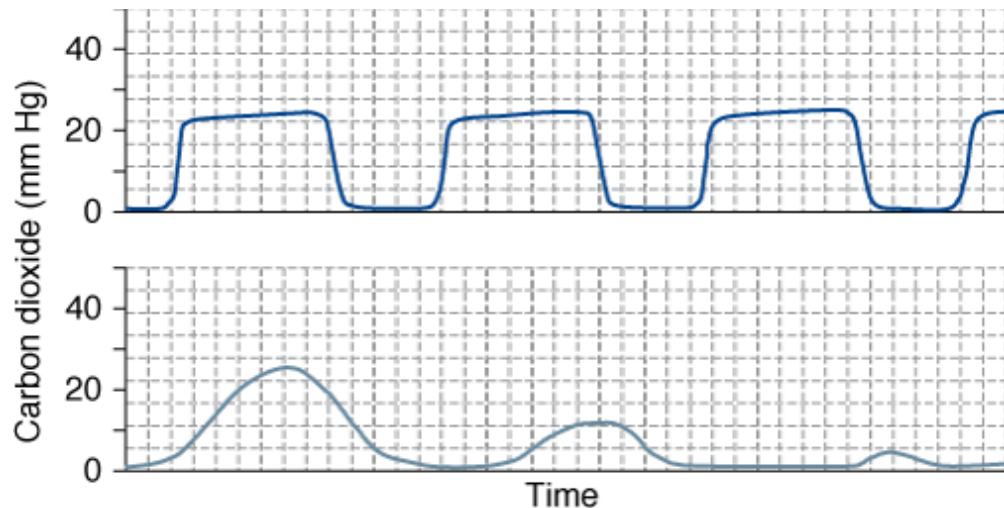
搬動、翻身、盲目推管

臨床線索：

無法送入 VT、胃部脹大、口鼻漏氣

黃金監測工具：

EtCO₂ 突然歸零！



○ — Obstruction : 管路反折 (Kinking)

Endotracheal Tube Kinking

常見原因：

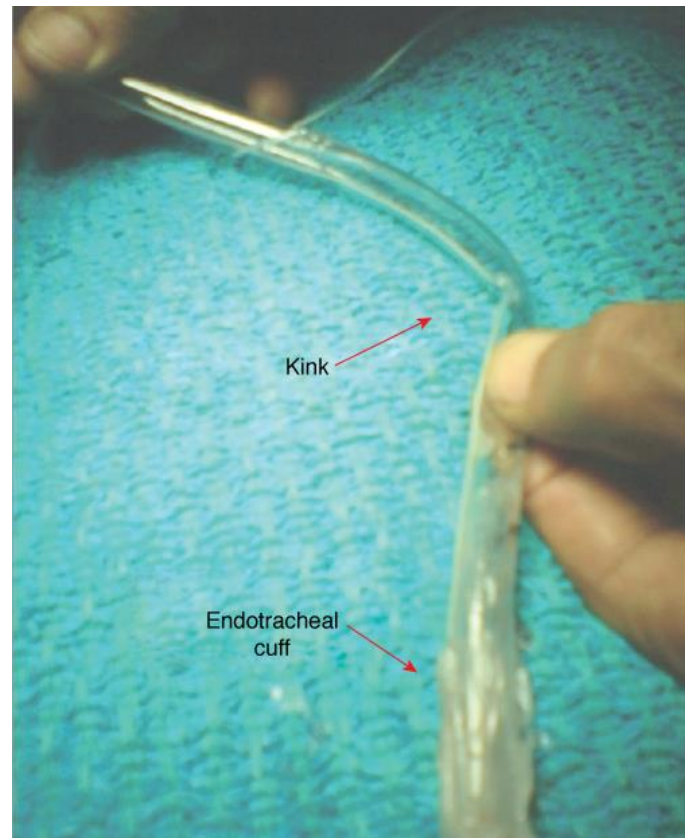
頭頸位置改變、加熱潮濕器軟化

最常見外部阻塞：

病人咬管

臨床測試：

抽痰管無法順利推入末端



O — Obstruction : Cuff Herniation

Cuff Over-inflation

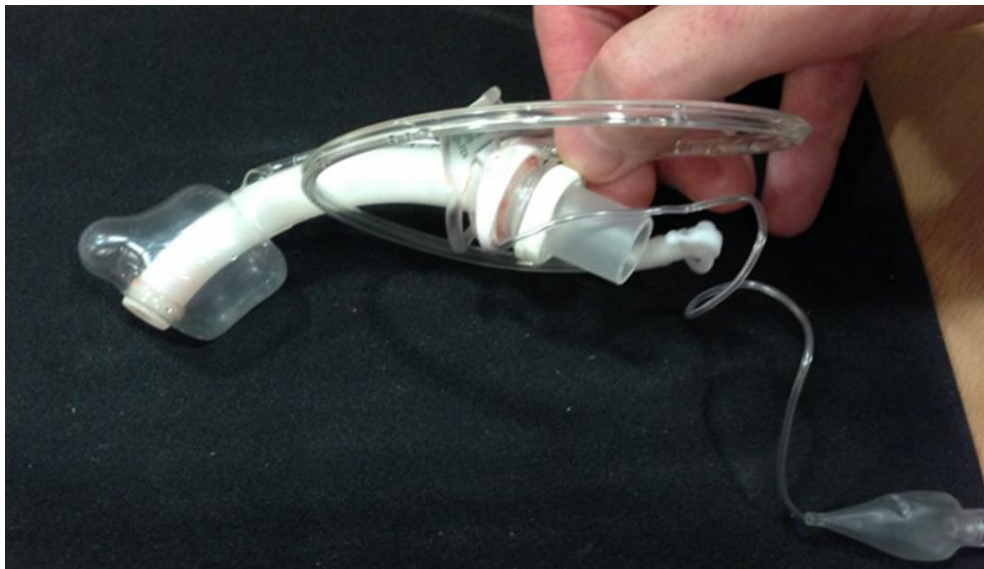
機轉：

Cuff 脫垂覆蓋管口
過度充氣壓迫管腔

線索：

手動通氣阻力極大
抽痰管推不進去

處置： Cuff Deflation → 立即緩解



○ — Obstruction : 何時該抽痰？

Secretion Obstruction & Waveform

分泌物阻塞

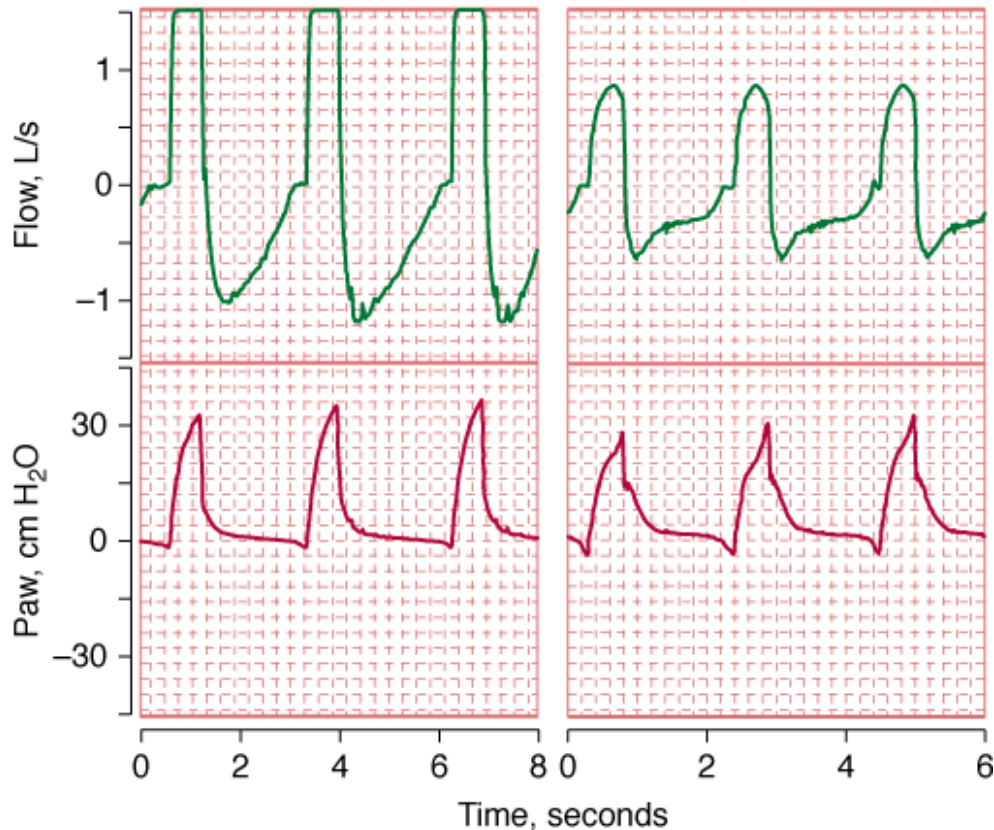
→ 氣道阻力 ↑ → 肺塌陷

Flow-time 波形特異性指標：

鋸齒狀 (Sawtooth)

截斷 (Clipped / Pinned)

→ 比聽診器更準確！立刻抽痰！



P — Pneumothorax : 為什麼會破？

Mechanism of Barotrauma

關鍵：容積過度擴張 ≠ 單純高壓

機轉 (Macklin Effect) :

肺泡壓 >> 血管鞘壓



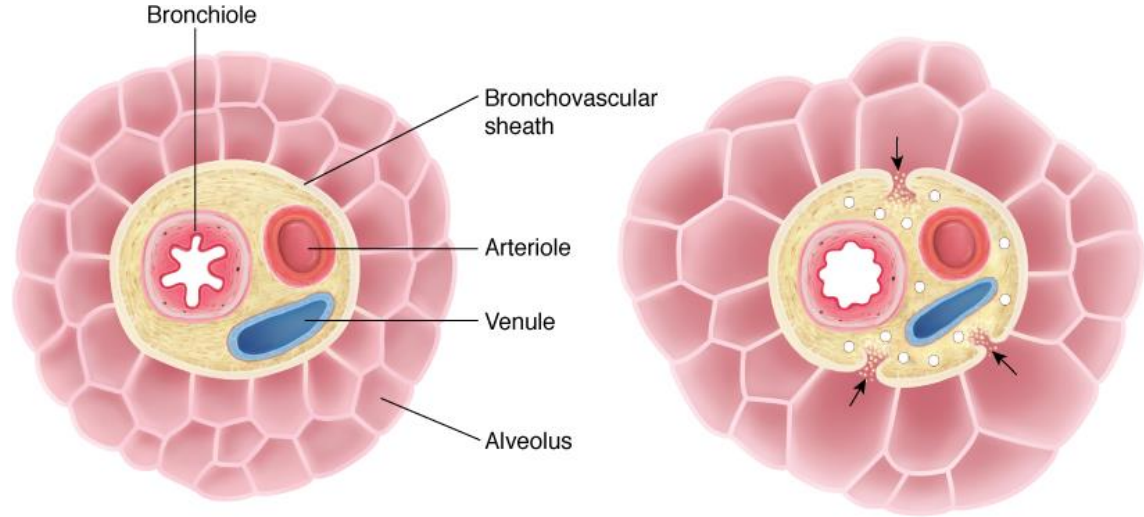
肺泡壁底部破裂



氣體灌入間質 → PIE



竄升至縱膈腔或肋膜腔



P — Deep Sulcus Sign (深溝徵象)

仰臥位氣胸的隱形殺手

ICU 仰臥位 X光 ≠ 站立位

氣體聚集在胸腔前下方

→ 看不見典型外側氣胸線

唯一線索：

單側肋骨橫膈角異常深陷

下肺野透亮度增加



P — Tension Pneumothorax

Emergent Decompression

呼吸器上氣胸 → 60-90% 變張力性！

壓力變化：

Peak ↑ + Plateau ↑ 同時飆升

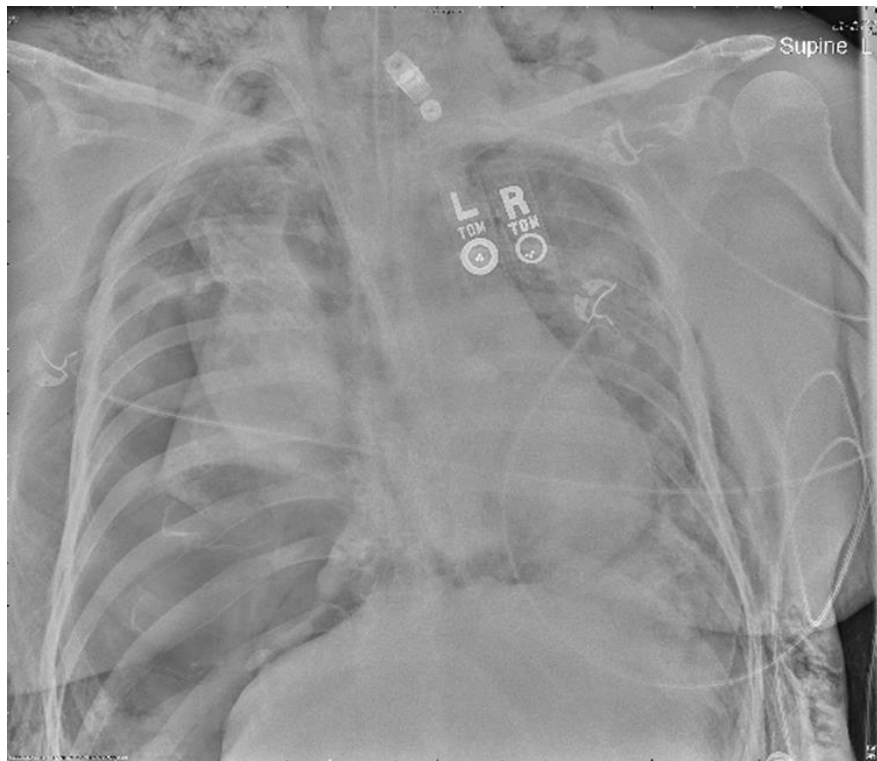
臨床表現：

血壓驟降、心血管塌陷、頸靜脈怒張

處置：

不要等 X 光！

第二肋間粗針減壓



E — Equipment & Events : 低血氧盤點

Causes of Worsening Oxygenation

設備問題

管路/呼吸器故障
設定不當

疾病進展

ARDS 惡化、肺水腫
肺炎、敗血症

新發急症

肺栓塞、肺不張
吸入性肺炎

醫療處置干擾

抽痰後、姿勢改變
血管擴張劑影響 V/Q

E — Events : 從呼吸器看穿心臟急症

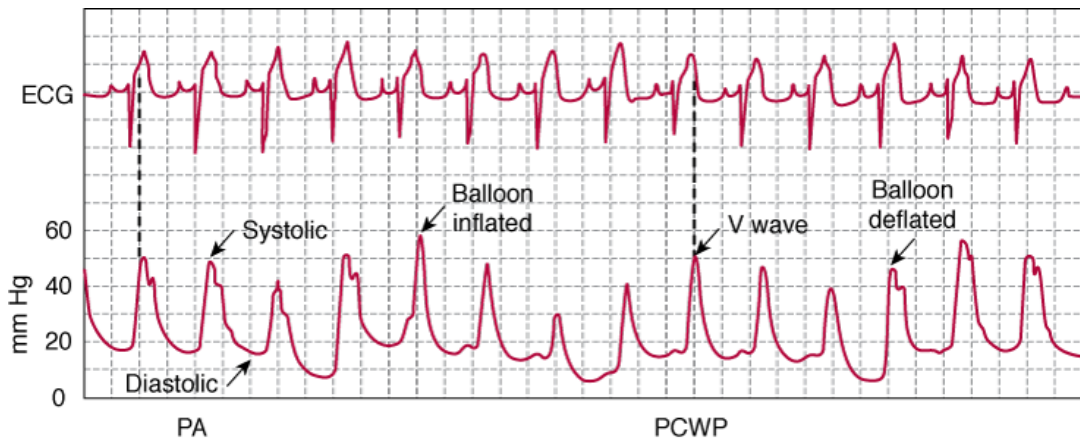
Hemodynamic Emergencies

低血氧 + 氣道壓力沒變 → 懷疑 PE !

突發低血氧但氣道壓力不變
→ 優先懷疑急性肺栓塞 (PE)

突發休克伴隨肺水腫
→ 排除心肌缺血或瓣膜斷裂

PA catheter :
PCWP 出現 Giant V waves
→ 急性二尖瓣逆流



S — Stacked Breaths : Auto-PEEP 波形警訊

Dynamic Hyperinflation

吐氣時間 (T_e) 不足

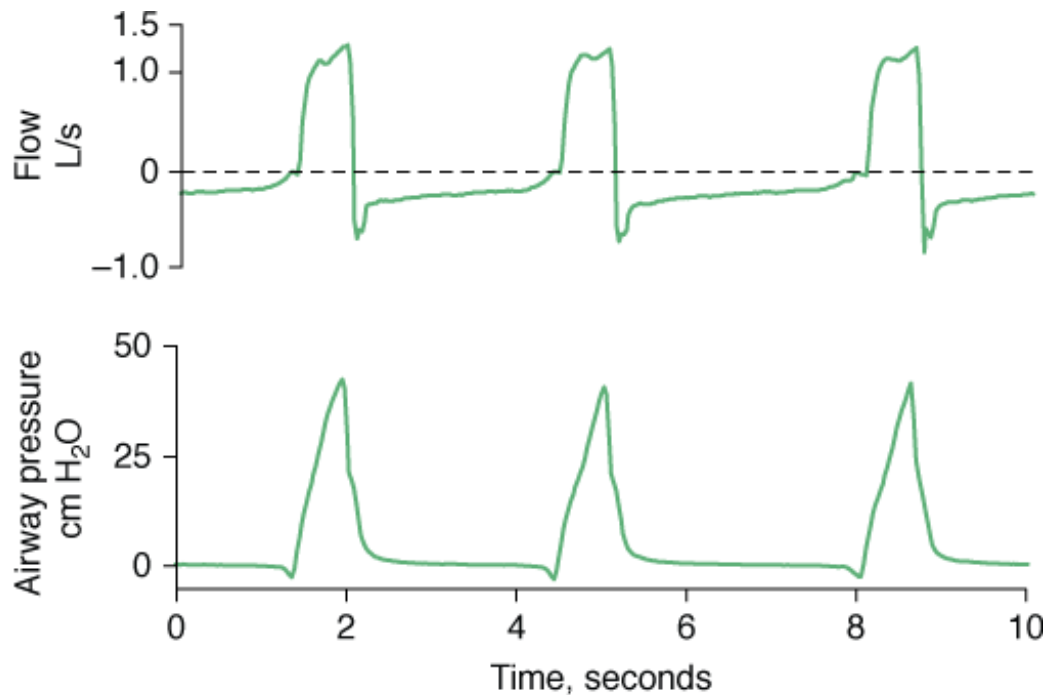
→ 氣體滯留 → 動態過度充氣

最直觀的定性指標：

Flow-Time waveform

吐氣流速沒有回到零線

= **Auto-PEEP** 存在



Expiratory Flow Limitation

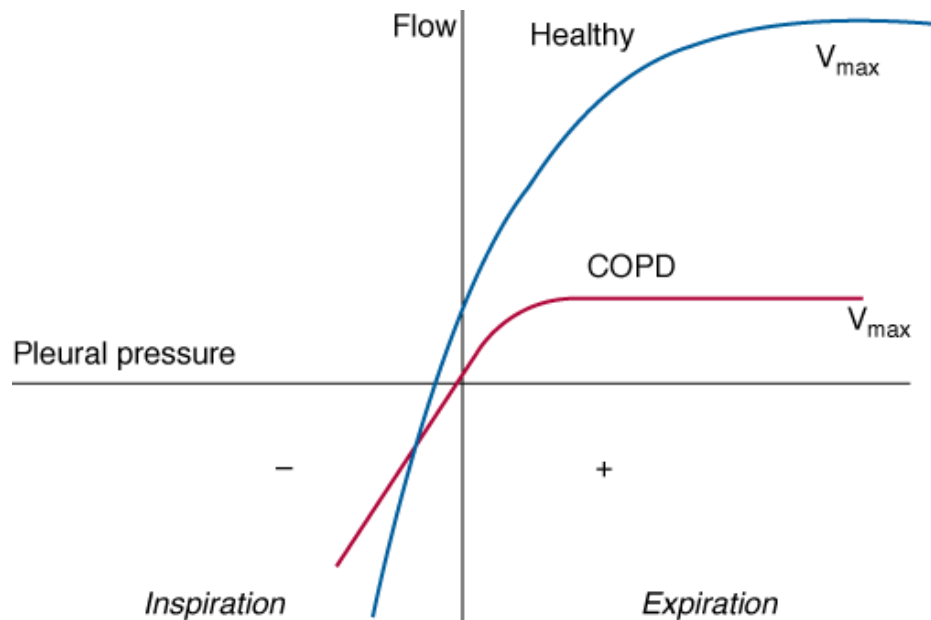
COPD 動態過度充氣機轉

COPD 的吐氣氣流受限

吐氣流速與胸腔壓力脫鉤

即使用力吐氣，也無法增加流速
(Effort-independent)

唯一的解藥：
給予足夠的吐氣時間



如何精準測量 Static Auto-PEEP

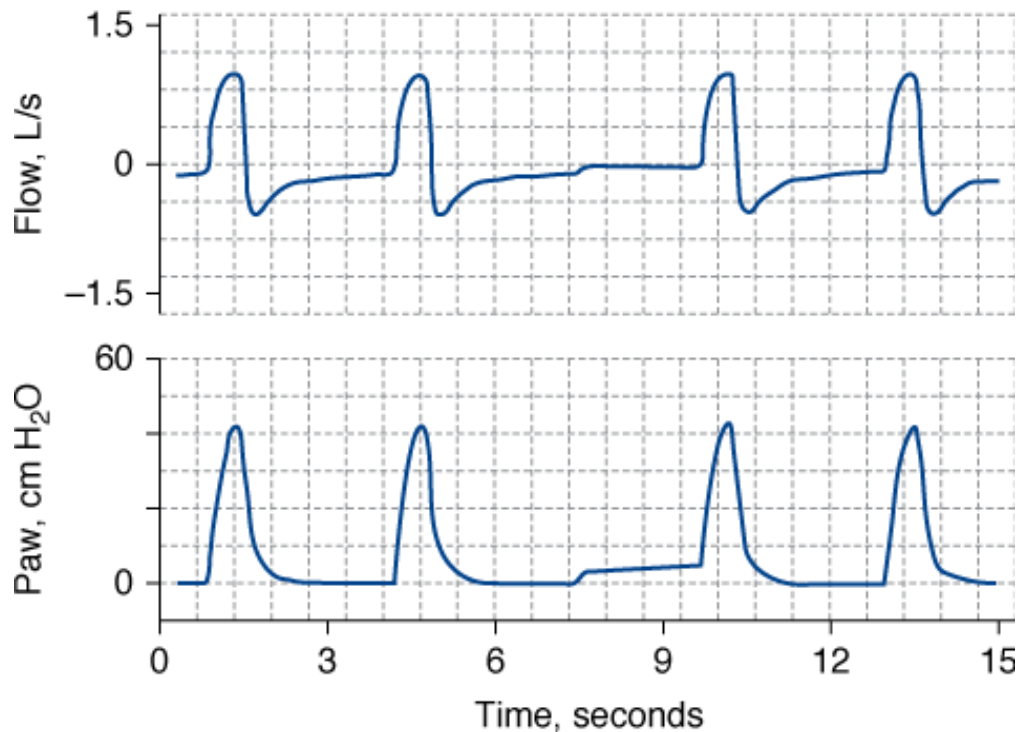
End-Expiratory Occlusion Maneuver

操作方法：

吐氣末阻斷測試
(End-expiratory occlusion)

阻斷後 Paw 上升至平原值
= **Static PEEPi**

先決條件：
病人必須完全放鬆
否則會高估數值！



Stacked Breaths 與假性休克 (PEA)

Auto-PEEP Causing Cardiac Arrest

極高 Auto-PEEP → 阻礙靜脈回流 → 右心前負荷枯竭
→ 突發嚴重低血壓，甚至心電機械分離 (PEA)

插管給氣



血壓消失 (PEA)



停止給氣 60 秒



脈搏恢復！

終極處置：

立即解開呼吸器 (Apnea trial 1 min)

讓氣體完全吐出 → 血壓通常奇蹟式恢復

課程大綱 (Agenda)

01 急症處置與基礎力學

02 致命急症排查 (DOPES 原則)

03 破解人機不協調 (Asynchrony)

04 Auto-PEEP 實戰管理 (Auto-PEEP in COPD/Asthma)

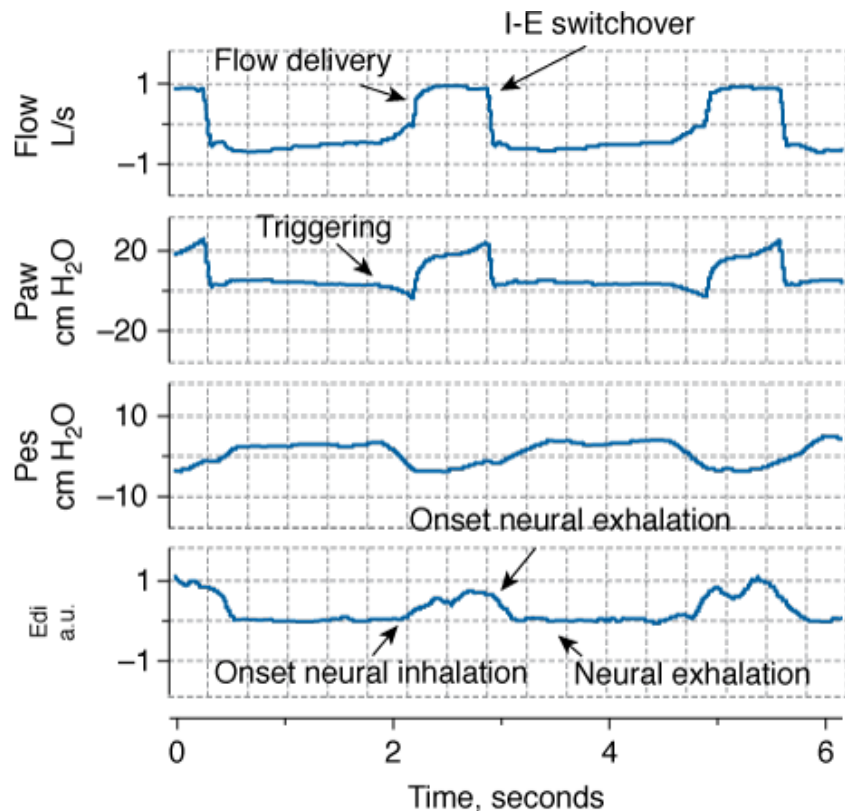
05 ARDS 進階保護性通氣

病人為何對抗？ Dyssynchrony 的發生點

Patient-Ventilator Dyssynchrony

- 1 觸發期
Triggering** 無效觸發、延遲
- 2 吸氣期
Flow Delivery** 流速不足、雙重觸發
- 3 吸吐切換
Cycling-off** 提早或延遲切換
- 4 吐氣期
Expiration** 漏氣或水氣誘發
Autocycling

解決對抗不是打鎮靜劑
→ 看波形找出哪個時間點出錯



提高支持度 \neq 減少觸發做功

Triggering Phase

增加 PSV :

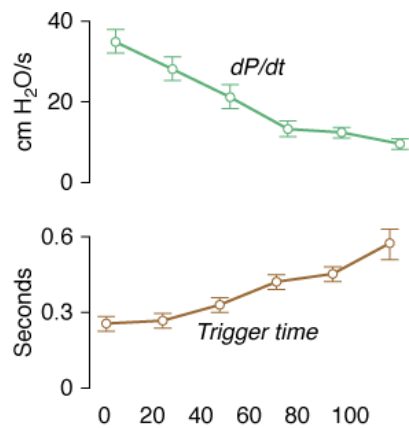
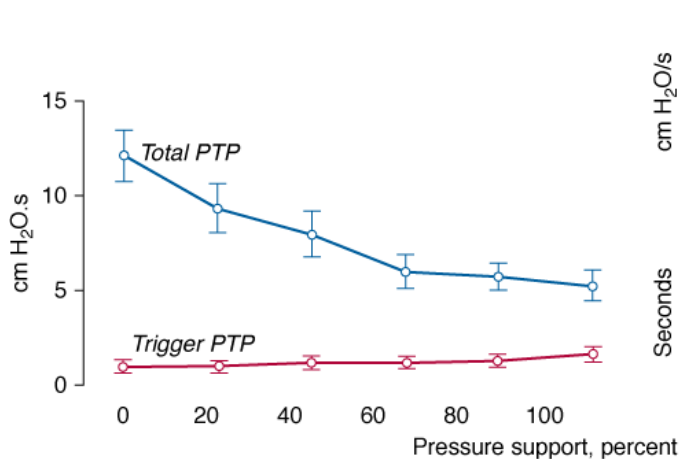
總吸氣做功 (Total PTP) \downarrow

但是 :

觸發期做功 (Trigger PTP)

完全不會下降 !

原因 : 病人必須先克服 Auto-PEEP
才能達到機器觸發門檻



Ineffective Triggering : 門檻太高

Not Weakness — Threshold Load

高支持度下 1/3 吸氣努力 → 無效觸發

常見誤解：

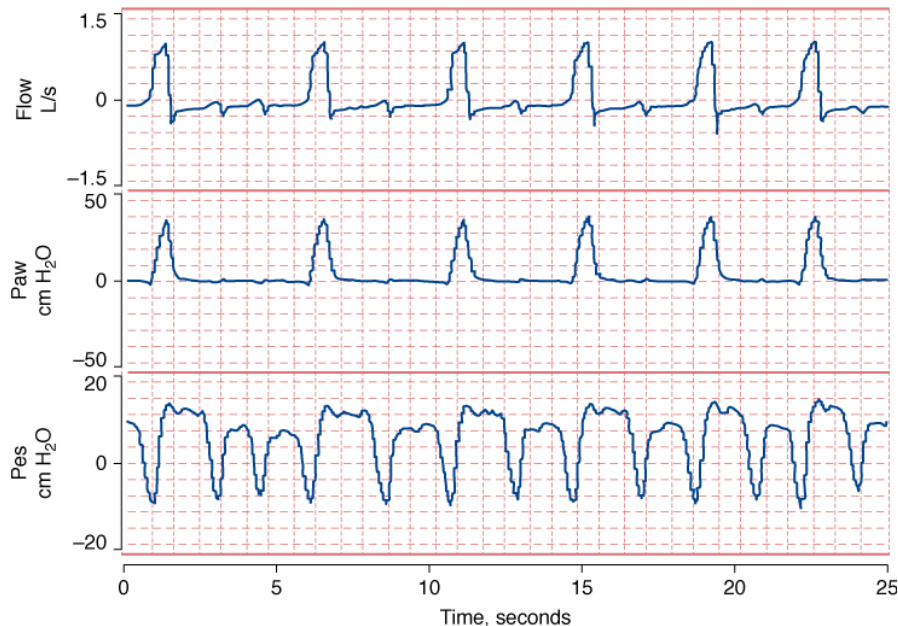
病人肌肉無力或驅動力不足

真相：

Auto-PEEP → 巨大吸氣閾值負荷

無效觸發時的做功

甚至比成功觸發高 38% !



Flow Starvation : 看見 Air Hunger

Inspiratory Flow Mismatch

機器流速 < 病人神經驅動力

→ 病人費力「吸」管路

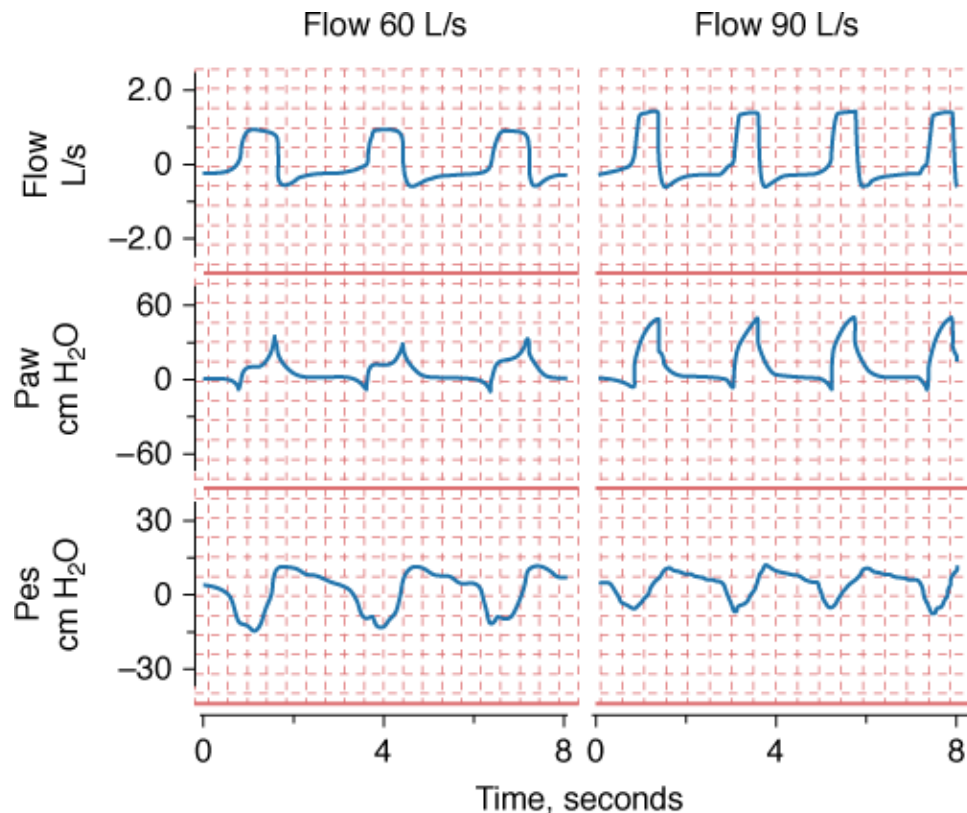
Paw 波形特徵：

Scalloping (向下凹陷)

處置：

調高流速 (60 → 90 L/min)

不是打鎮靜劑！



Double Triggering : 低 VT 的隱藏陷阱

Mechanical TI < Neural TI

一次神經吸氣 → 機器給了兩次通氣

機制：

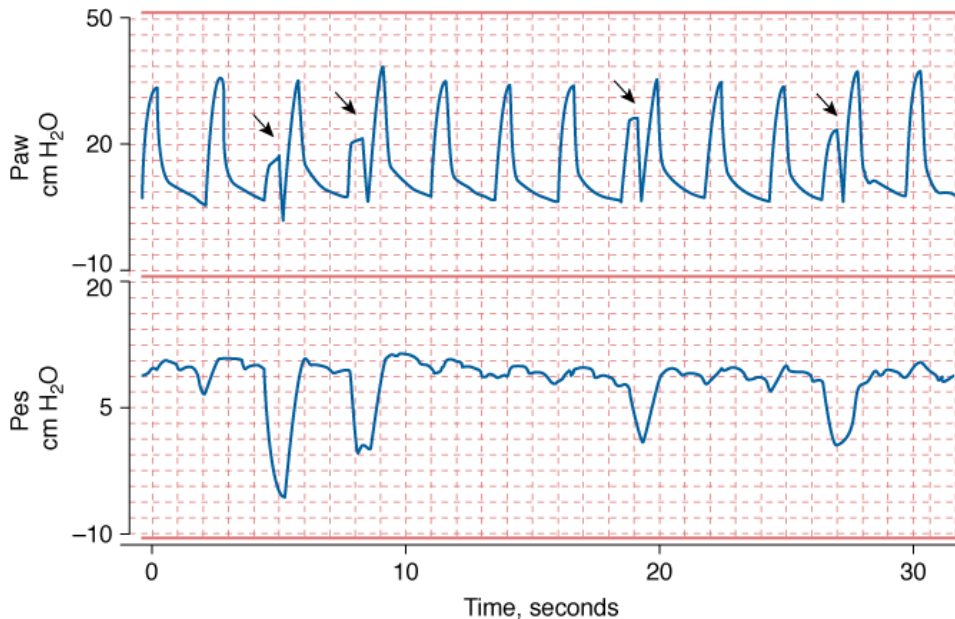
機械 TI << 神經 TI

高風險群：

ARDS 低 VT 策略

(機械吸氣時間極短)

6 mL/kg 保護肺 → 但 Double trigger
= 打進 12 mL/kg → 保護策略破功



Breath Stacking : 容積堆疊的危害

Volume Stacking from Double Trigger

兩次吸氣間沒有足夠時間吐氣

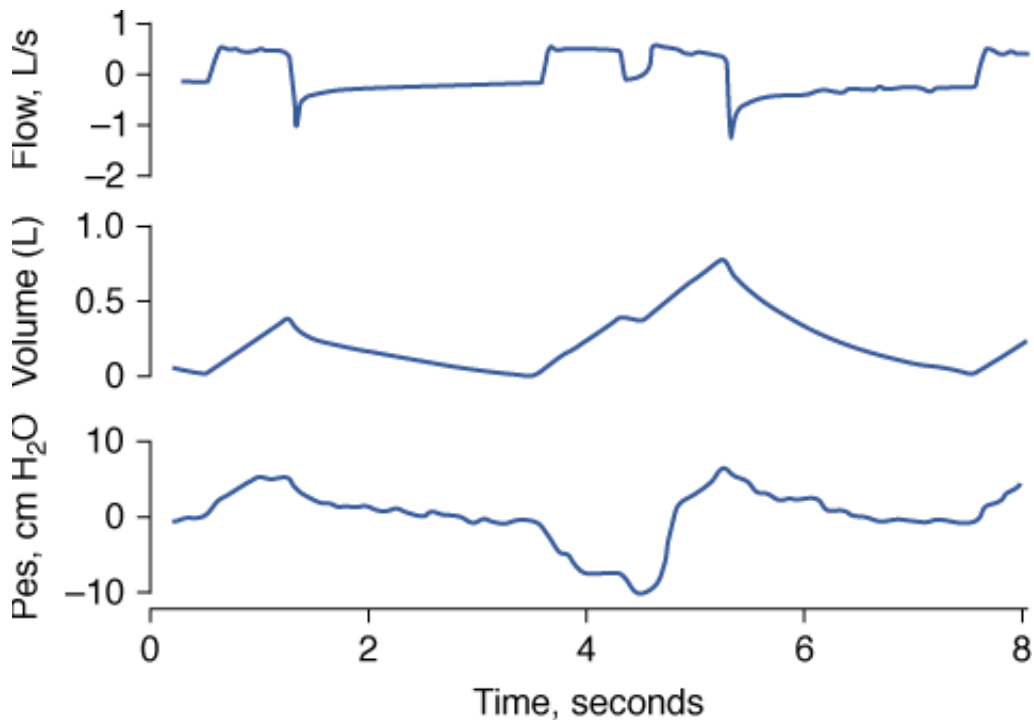
→ 潮氣容積在肺內疊加

實際打入肺部的容積倍增

風險：

容積傷 (Volutrauma)

氣壓傷 (Barotrauma)



Delayed Cycling : 機器不肯放手

PSV in COPD

常見於 COPD + PSV 模式

COPD 時間常數長

→ 吸氣流速下降緩慢

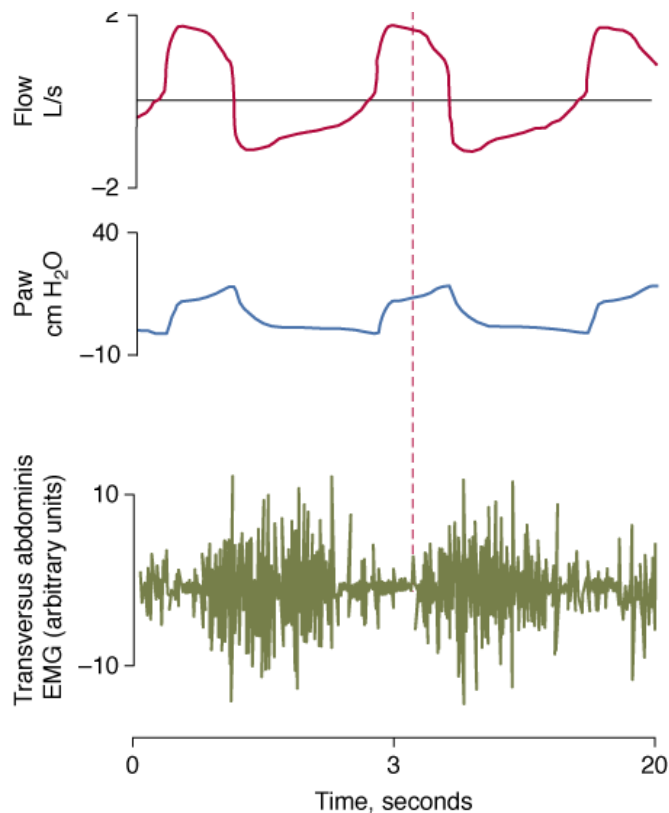
→ 流速遲遲無法降至 Cycling-off 閾值

結果：機器繼續給氣

但病人已經開始主動吐氣

處置：調高 Cycling-off 閾值

(如 25% → 40%)



課程大綱 (Agenda)

01 急症處置與基礎力學

02 致命急症排查 (DOPES 原則)

03 破解人機不協調 (Asynchrony)

04 **Auto-PEEP 實戰管理 (Auto-PEEP in COPD/Asthma)**

05 ARDS 進階保護性通氣

Auto-PEEP 第一步：看流速波形

Qualitative Detection

T_e 短於肺部排空所需時間

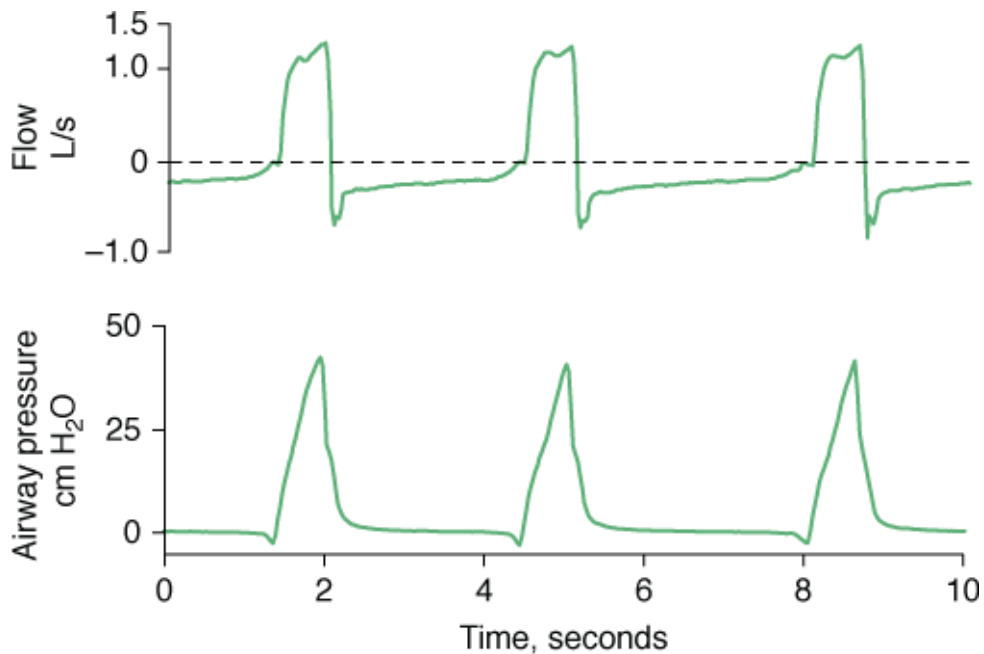
→ 動態過度充氣 → Auto-PEEP

定性診斷最直觀的指標：

下一次吸氣開始前

吐氣流速沒有回到零線

查房時不用按按鈕，看一眼就知道



靜態 Auto-PEEP 精準測量

Expiratory Hold Maneuver

操作：吐氣末阻斷測試

(End-expiratory occlusion)

阻斷後 Paw 上升至平原值

= **Static PEEPi**

先決條件：

病人完全放鬆（無自主出力）

主動吐氣 → 嚴重高估數值



Dynamic Auto-PEEP : 食道氣球

Esophageal Balloon Application

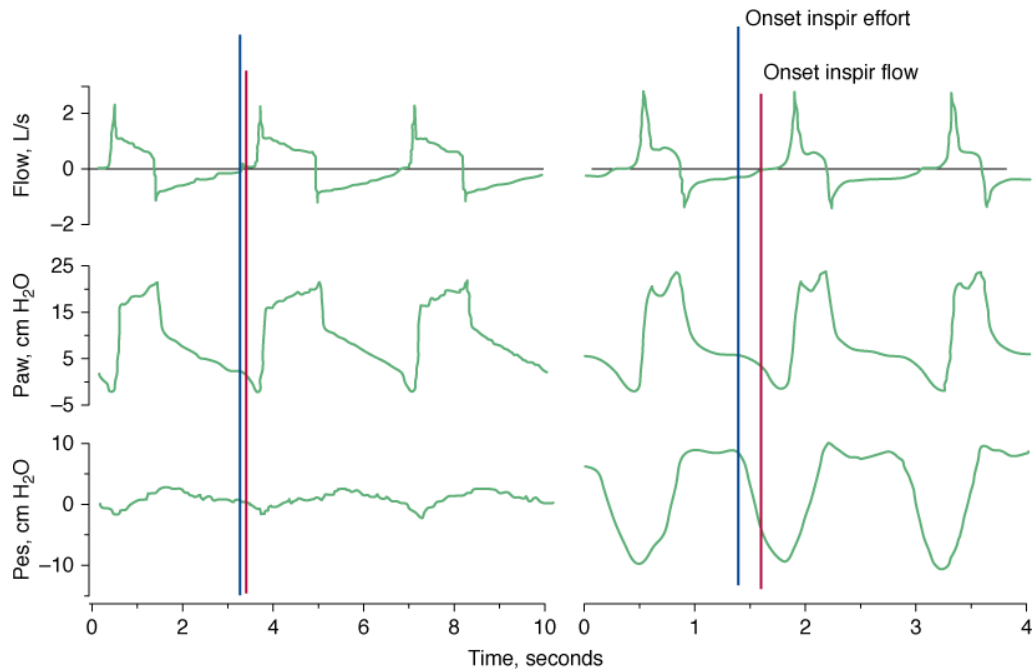
有自主呼吸時無法用阻斷測試

→ 需用食道氣球導管

測量：

吸氣出力開始 → 吸氣氣流產生
之間的 Pes 負壓變化

= 病人克服 Auto-PEEP 的
吸氣閾值負荷



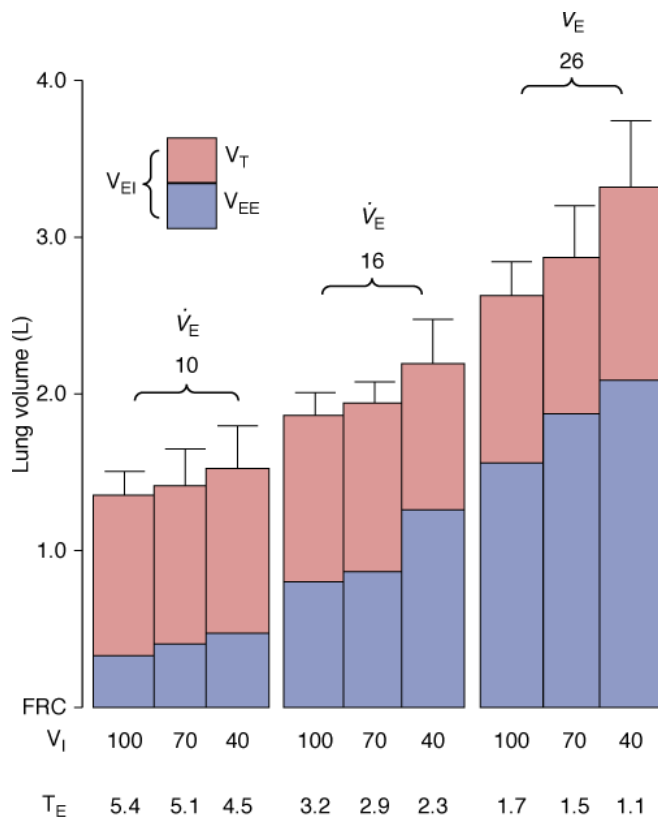
Auto-PEEP 解法 1：降低 VE

Reduce Minute Ventilation

最關鍵的一步：
降低每分鐘通氣量 (VE)

方法：
調降 RR 與 VT
→ 爭取更多吐氣時間

代價：
容許性高碳酸血症
(pH > 7.20 通常安全)



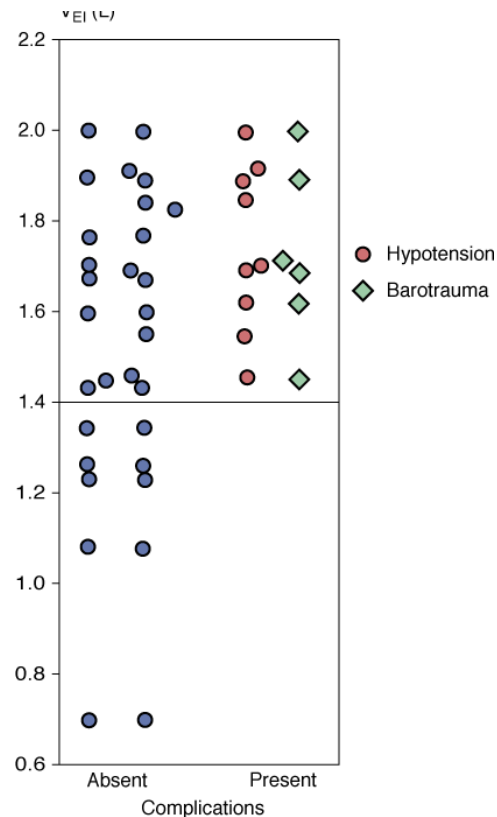
氣喘的容積危機：評估 VEI

End-Inspiratory Volume Monitoring

嚴重氣喘必須緊盯：
吸氣末肺容積 (VEI)

VEI > 20 mL/kg 時：
低血壓 + 氣壓傷機率指數上升

替代監測指標：
Plateau Pressure < 30 cmH₂O



Auto-PEEP 解法 2：調快流速的陷阱

High Flow May Backfire

傳統理論：

調高吸氣流速 → 縮短 TI → 延長 TE

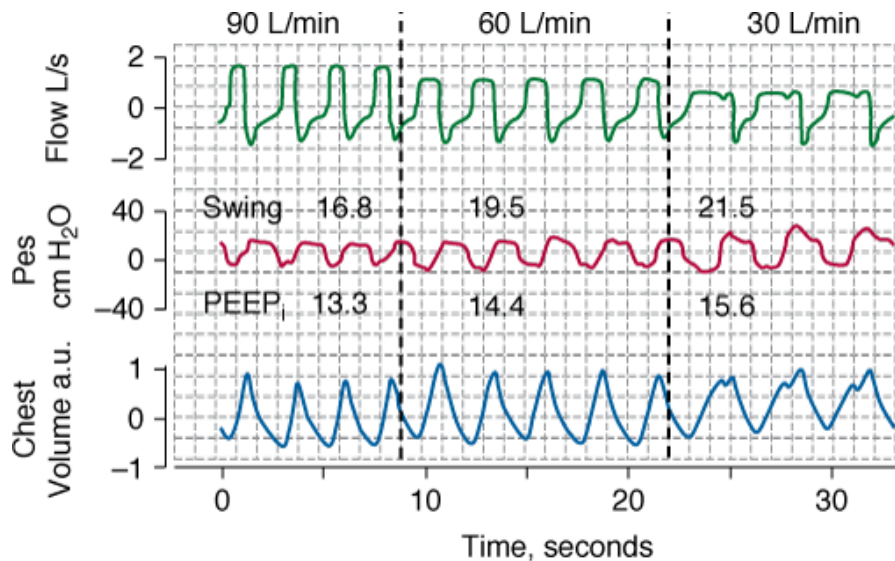
→ 減少 Auto-PEEP ✓

臨床陷阱：COPD 自主呼吸時

高流速 → 迷走神經反射

→ RR 跟著變快！

→ 總吐氣時間反而縮短



Auto-PEEP 解法 3：外加 PEEP

Waterfall Analogy

COPD 有吐氣氣流受限

(Expiratory Flow Limitation)

瀑布效應：

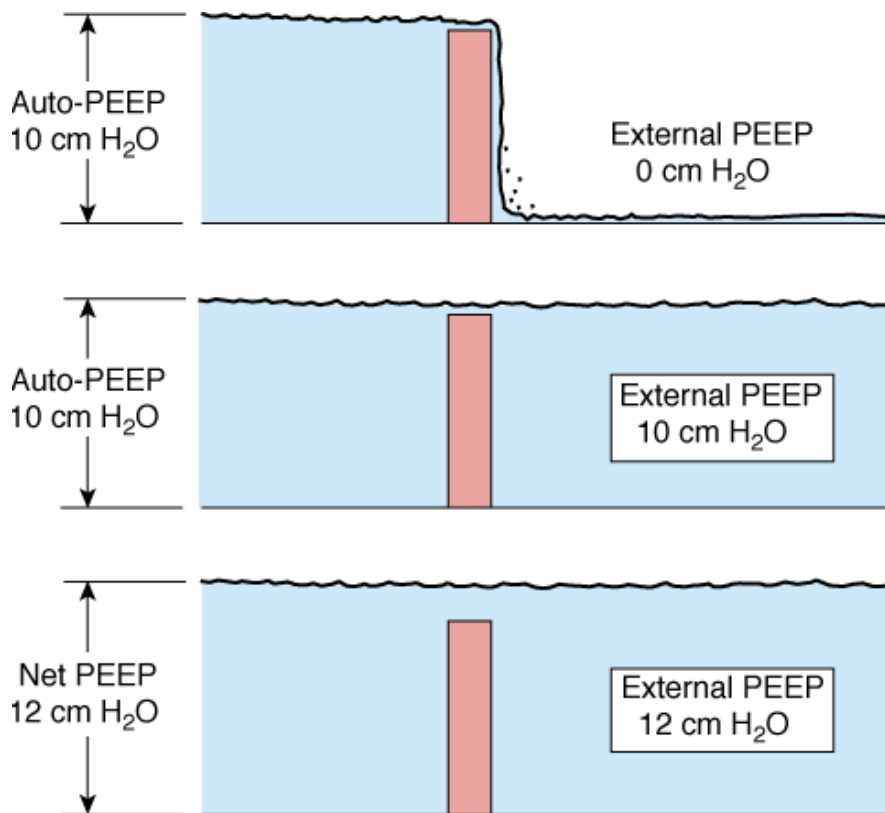
墊高下游水位 (外加 PEEP)

不會影響上游水位 (Auto-PEEP)

設定：Static Auto-PEEP 的 70-85%

→ 抵銷閾值負荷，幫病人省力

→ 不會增加肺容積或氣道壓力



警告：氣喘不適用瀑布理論！

Asthma vs COPD — PEEP Danger

COPD：有 Flow Limitation ✓

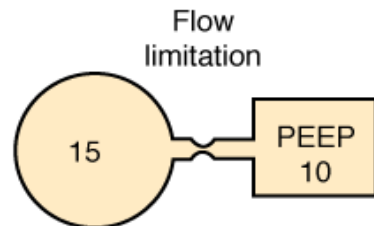
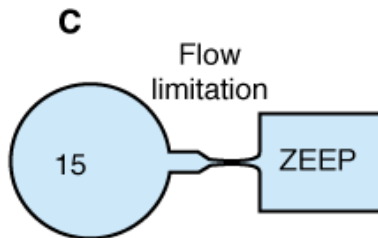
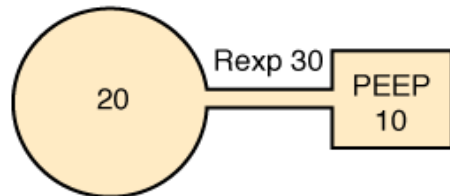
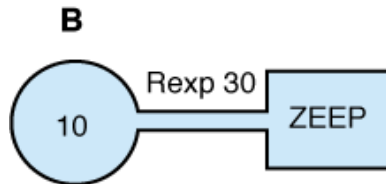
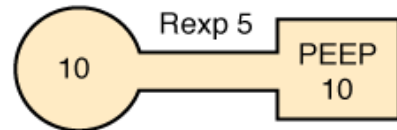
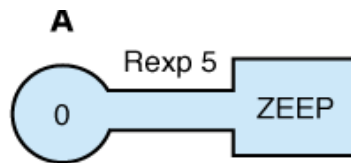
外加 PEEP 安全

被 choke point 阻擋
→ 不會墊高全肺壓力

氣喘：沒有 Flow Limitation X

外加 PEEP 危險！

PEEP 直接 1:1 墊高全肺壓力
→ 惡化過度充氣與休克



課程大綱 (Agenda)

01 急症處置與基礎力學

02 致命急症排查 (DOPES 原則)

03 破解人機不協調 (Asynchrony)

04 Auto-PEEP 實戰管理 (Auto-PEEP in COPD/Asthma)

05 **ARDS** 進階保護性通氣

ARDS：永遠用預測體重設定 VT

Predicted Body Weight (PBW)

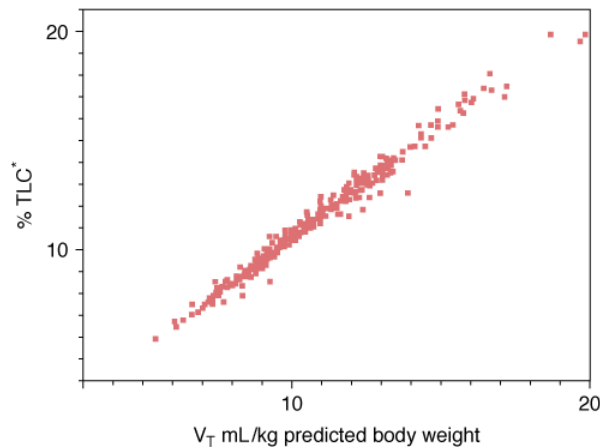
ARDS 的 Baby Lung：

真正能通氣的區域很小

肺容量大小只與：
身高、性別有關
與實際體重無關！

必須使用 PBW 計算

$VT \leq 6 \text{ mL/kg PBW}$



ARDS 的 P-V Curve 解析

Pressure-Volume Relationship

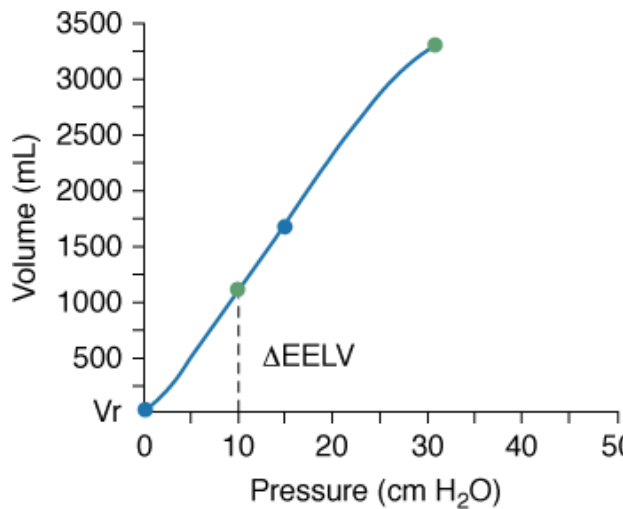
ARDS P-V 曲線特徵：

整體右移、斜率變平（順應性↓）

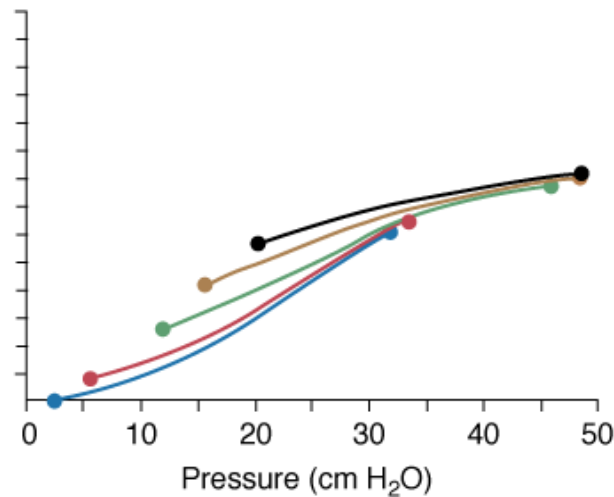
下拐點 (LIP)：塌陷肺泡開始被撐開 (Recruitment)

上拐點 (UIP)：肺泡撐到極限 (Overdistension)

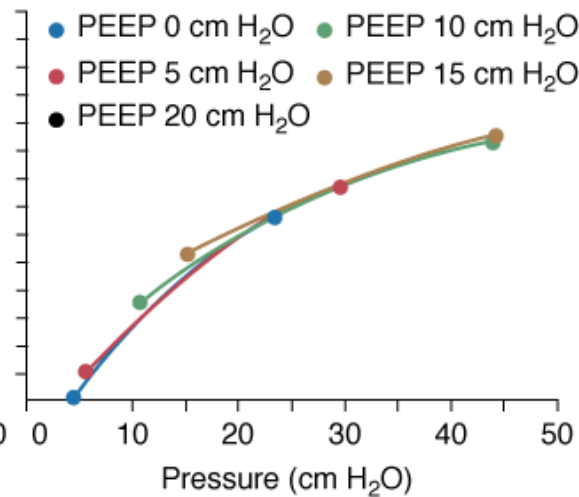
安全區 = LIP 與 UIP 之間



A Health



B ARDS



C COPD

PEEP : Recruitment vs. Overdistension

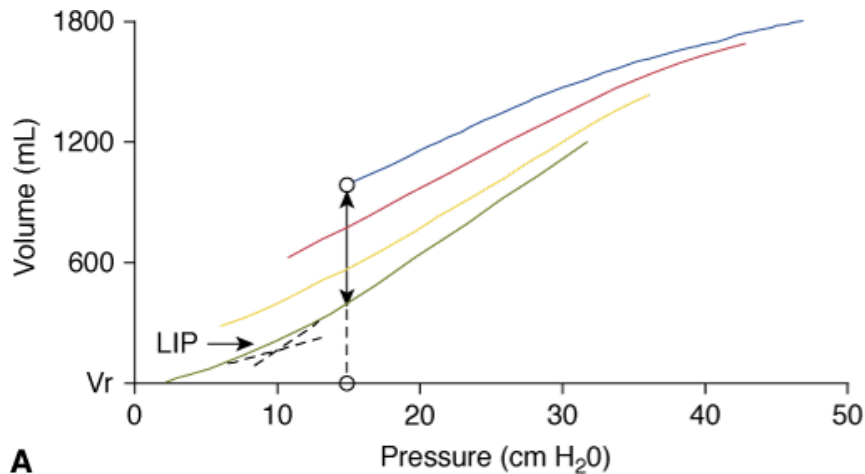
How to Judge PEEP Response

成功招募 (Recruitment)

P-V 曲線向上平移

PaO₂ ↑、PaCO₂ ↓

順應性變好

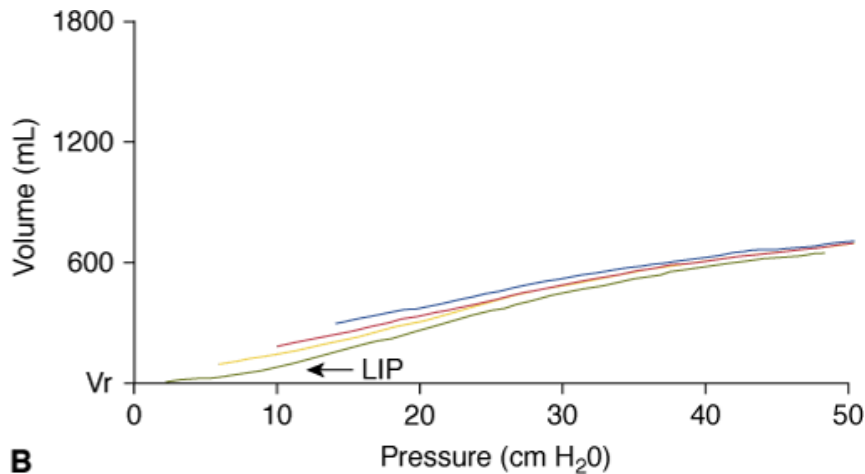


過度擴張 (Overdistension)

P-V 曲線向右移且變平

Plateau ↑、SpO₂ 不變或更差

→ 趕快把 PEEP 降回來



PEEP Setting Algorithm

床邊實戰決策

第一步：確保安全界線

Plateau \leq 28-30 cmH₂O

High PEEP (\geq 13) 適用

瀰漫性塌陷影像

調高 PEEP 後 PaO₂ \uparrow PaCO₂ \downarrow

順應性改善

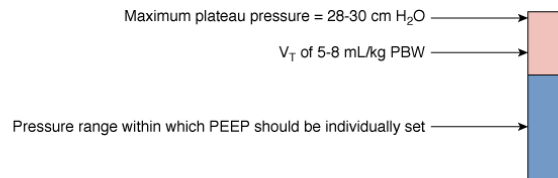
Low PEEP (6-12) 適用

局部性肺炎/實質化

調高 PEEP 後血壓掉

Plateau 飆升

PEEP 沒有標準答案 \rightarrow 依據可招募性個別化調整



Evaluation of potential for recruitment and overdistension

- Morphology of lung injury (chest X-ray and/or CT scan)
- Δ EELV and V_{rec} with different PEEP (5-10-15-20 cm H₂O) (P-V curve, equal pressure method)
- Linear compliance of the P-V curve at ZEEP or low PEEP (i.e. 5 cm H₂O) (estimated by sequential C_{st} calculation with incremental VT size)
- Pa_{O₂} and Pa_{CO₂} changes with different PEEP (5-10-15-20 cm H₂O)

Hemodynamic consequences of PEEP

- Arterial blood pressure
- Arterial systolic and pulse pressures variation

Low potential for recruitment/High risk of overdistension/Hemodynamic impairment: PEEP 6-12 cm H₂O
High potential for recruitment/Low risk of overdistension/No hemodynamic impairment: PEEP \geq 13 cm H₂O

Plateau 偏高 = 肺被撐壞了嗎？

Transpulmonary Pressure (Ptp)

胸壁順應性差時：

(極度肥胖、嚴重腹水)

會假性推高氣道壓力

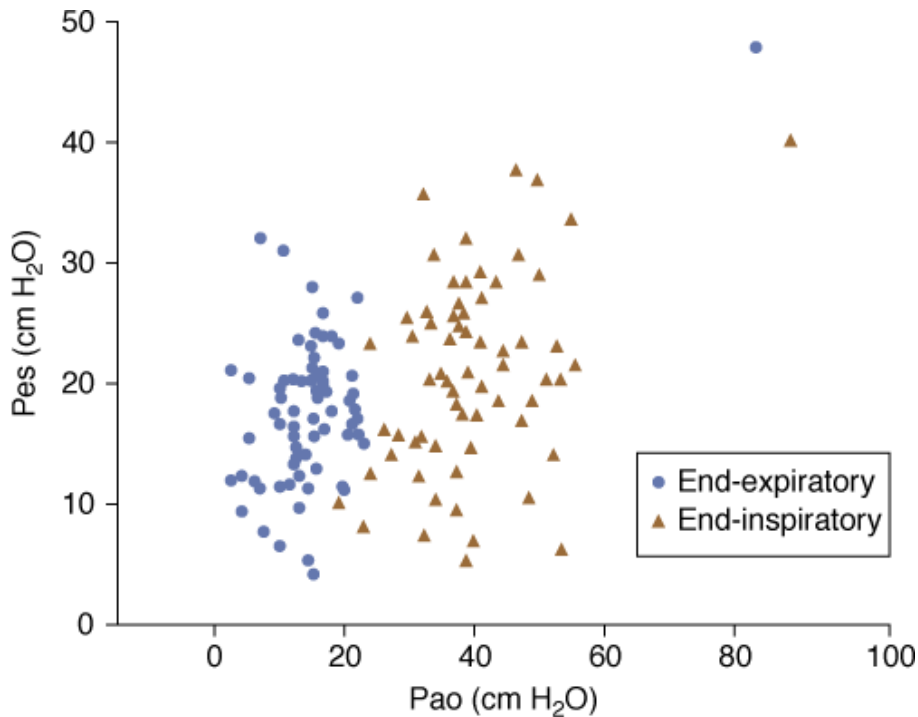
跨肺壓 P_{tp} ：

= $P_{aw} - P_{es}$ (食道壓)

真正的肺損傷來自：

過高的跨肺壓

而非單純的氣道壓



Trouble Shooting 總結



Trouble Shooting 總結：理學檢查不可少

Physical Examination Matters

觀察病人的真實呼吸驅力：

胸鎖乳突肌 (SCM) 劇烈收縮
鎖骨上窩與胸骨上切跡凹陷
氣管下曳 (Tracheal tug)
胸腹矛盾呼吸

Recession of
supraclavicular
fossa



Decrease in
cricosternal distance

機器會騙人，但病人的脖子跟胸廓不會

處理任何警報的基礎：確保病人安全，先 Disconnect and Bag !

Troubleshooting 總結

化病生理為直覺

波形是最好的監視器

Ineffective trigger → Auto-PEEP

Double trigger → 短吸氣時間

Scalloping → 流速不足

阻塞型 (COPD/Asthma)

降 VE、拉長吐氣時間

氣喘不要亂加外加 PEEP

ARDS 保護盾

PBW 算 6 mL/kg

Plateau < 30

依可招募性調 PEEP

黃金準則

機器狂叫、病人發紺

→ Disconnect and Bag !