



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

# ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

---

# INDICATIONS MECHANICAL

*Franco Laghi*  
*Martin J. Tobin*

## OVERALL ASSESSMENT

- Apnea
- Clinical Signs of Increased Work of Breathing
- Hypoxemic Respiratory Failure
- Hypercapnic Respiratory Failure
- Postoperative Respiratory Failure
- Shock
- Intubation versus Mechanical Ventilation

## GOALS OF MECHANICAL VENTILATION

- Reversal of Apnea
- Reversal of Respiratory Distress
- Reversal of Severe Hypoxemia
- Reversal of Severe Hypercapnia
- Goals of Mechanical Ventilation in Acute Respiratory Failure and Trauma
- Goals of Mechanical Ventilation in Chronic Respiratory Failure



# Principles and Practice of MECHANICAL VENTILATION

THIRD EDITION

MARTIN J. TOBIN

MECHANICAL VENTILATION:  
NON-INVASIVE MECHANICAL

MECHANICAL  
VENTILATION

- Characteristics
- Pragmatist
- Cost, and Value Judgment
- Terminology

GOALS OF MECHANICAL

Review Articles

*Medical Progress*

---

ADVANCES IN MECHANICAL  
VENTILATION

MARTIN J. TOBIN, M.D.

**Στόχος του μηχανικού αερισμού**

- A) μειώνει το έργο της αναπνοής
- B) αναστροφή επικίνδυνης υποξαιμίας
- Γ) αναστροφή επικίνδυνης οξέωσης

# Ο μηχανικός αερισμός θετικής πίεσης είναι αυτός που κατά κανόνα χρησιμοποιείται σήμερα

Εφαρμογή θετικής πίεσης μέσα στους αεραγωγούς



# ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

- ▶ Άπνοια (πχ σοβαρή βλάβη στο ΚΝΣ, λήψη φαρμάκων, τραυματισμός ΑΜΣΣ, καρδιαγγεακή ανακοπή, κτλ.)
- ▶ Αυξημένο έργο αναπνοής ... (άσθμα, ΧΑΠ, πνευμονία, πνευμονικό οίδημα, ARDS)



**FIGURE 4-3** Change in facial appearance during the development and resolution of acute respiratory failure resulting from congestive heart failure and exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Left upper panel:* The patient is dyspneic and her mouth is open on inhalation. *Right upper panel:* The patient exhibits pursed-lip breathing on exhalation. Over the ensuing 24 hours, the patient developed hypercapnic respiratory failure and failed a trial of noninvasive ventilation (not shown). *Left lower panel:* The patient is intubated and receiving mechanical ventilation. *Right lower panel:* The patient is successfully extubated 4 days after institution of mechanical ventilation.

Ενδείξεις για μηχανικό αερισμό		Φυσιολογικά όρια
<b>1. Μηχανική της αναπνοής</b>		
Αναπνοές (min-1)	>35	12-20
Vt (ml. Kg <sup>-1</sup> ΣΒ-1)	<3	5-7
P <sub>imax</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	<-25	-75 έως -120
<b>2. Ανταλλαγή αερίων</b>		
P <sub>a</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	<60 (FiO <sub>2</sub> ≥0,6)	75-100 (21%)
P <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> (mmHg)	>60 (δεν ισχύει στη ΧΑΠ)	35-45
P(A-a)O <sub>2</sub> (mmHg)	>350 (FiO <sub>2</sub> =1.0)	25-65
Vd/Vt	>0,60	0,30-0,40

Εργαστηριακά κριτήρια για την εφαρμογή μηχανικού αερισμού. Vt (Tidal Volume): αναπνεόμενος όγκος, P<sub>imax</sub> (maximum inspiratory pressure): μέγιστη εισπνευστική πίεση, P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>: μερική πίεση οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα, P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>: μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακος στο αρτηριακό αίμα, P(A-a)O<sub>2</sub>: κυψελιδοαρτηριακή διαφορά οξυγόνου, Vd/Vt: λόγος του όγκου του νεκρού χώρου προς τον αναπνεόμενο όγκο, ΧΑΠ: χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, FiO<sub>2</sub> (fraction of inspired oxygen): ποσοστό του οξυγόνου στον εισπνεόμενο αέρα.



**TABLE 4-2: COMMON CAUSES OF HYPOXEMIC RESPIRATORY FAILURE**

- Pneumonia
- Cardiogenic pulmonary edema
- Acute respiratory distress syndrome
- Aspiration of gastric contents
- Multiple trauma
- Immunocompromised host with pulmonary infiltrates
- Pulmonary embolism



**TABLE 4-3: NEUROLOGIC SIGNS AND SYMPTOMS OF HYPOXIA**

<b>Pa<sub>O<sub>2</sub></sub>, mm Hg</b>	<b>Signs and Symptoms of Hypoxia</b>
35 to 50	Loss of critical judgment, confusion, delirium (resembling alcohol intoxication), tremors, asterixis
25 to 35	Somnolence, obtundation, myoclonic jerks, seizures
20 to 25	Loss of consciousness
<20	Death

## **Οι κύριοι στόχοι του μηχανικού αερισμού είναι οι εξής:**

### **1. Βελτίωση της ανταλλαγής των αερίων.**

- Αναστροφή της υποξαιμίας.
- Αποτροπή της οξείας αναπνευστικής οξέωσης.

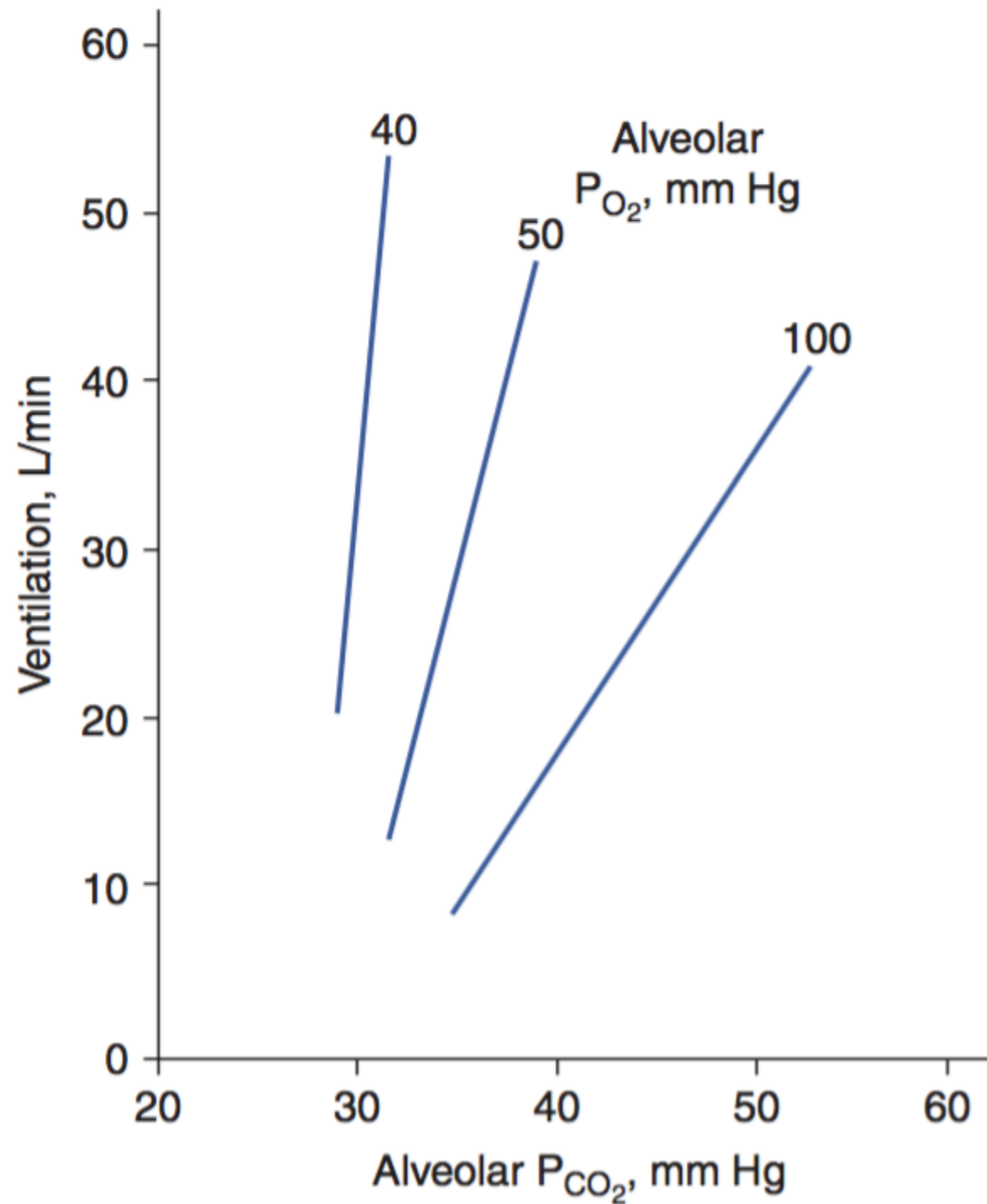
### **2. Αποτροπή της αναπνευστικής δυσπραγίας.**

- Μείωση της κατανάλωσης οξυγόνου από τους αναπνευστικούς μυς.
- Αναστροφή της κόπωσης των αναπνευστικών μυών.

### **3. Βελτίωση της σχέσης αερισμού-αιμάτωσης.**

- Πρόληψη και αναστροφή ατελεκτασιών.
- Βελτίωση της ενδοτικότητας του πνεύμονα.
- **Αποτροπή περαιτέρω βλάβης** ( ο μηχανικός αερισμός μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω βλάβη στον πνεύμονα)



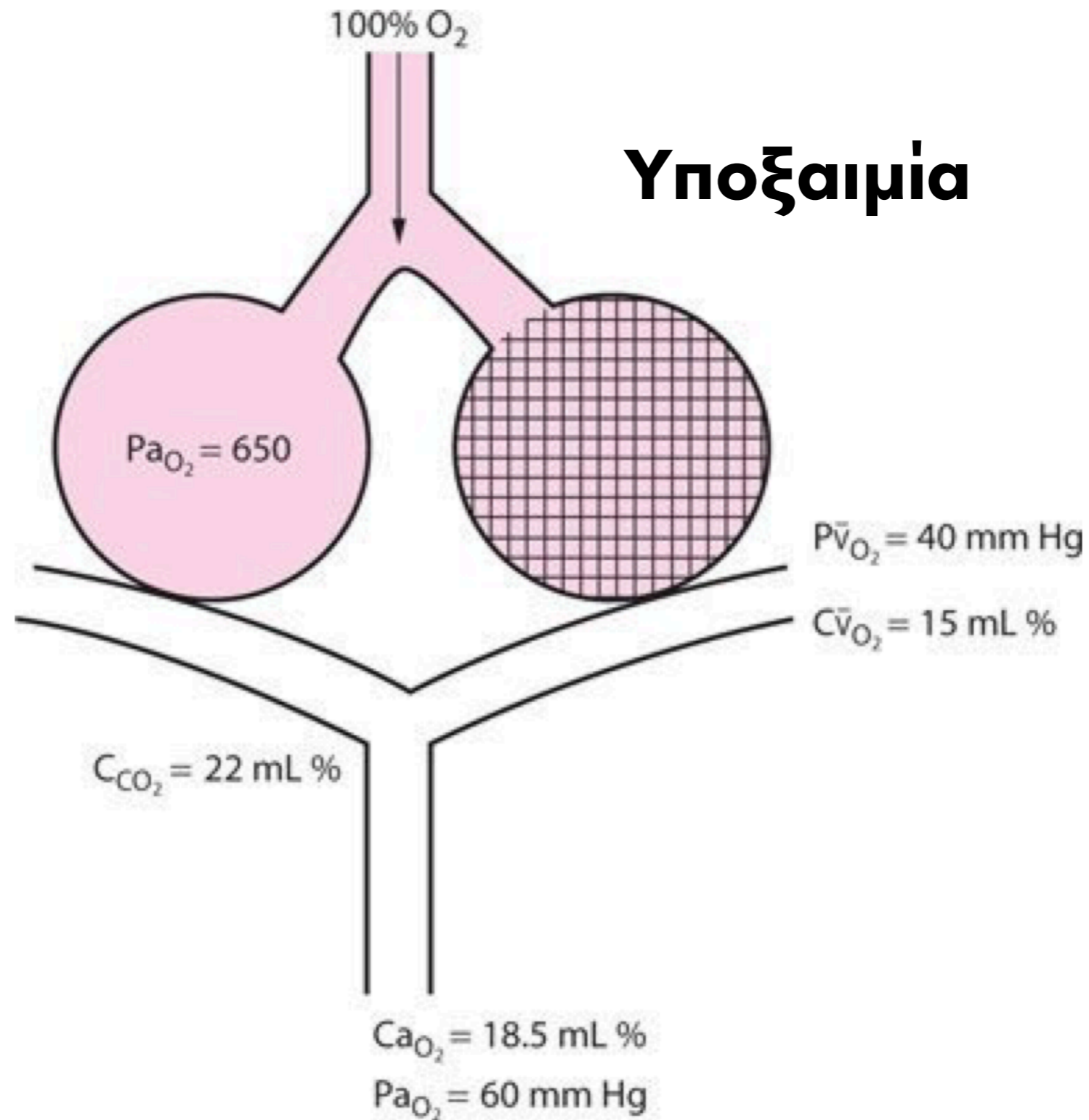


**FIGURE 4-15** Ventilatory response to progressive hypercapnia. Ventilation increases linearly with increase in alveolar carbon dioxide ( $P_{CO_2}$ ). Decreases in alveolar oxygen ( $P_{O_2}$ ) produce a steeper ventilatory response to progressive hypercapnia.

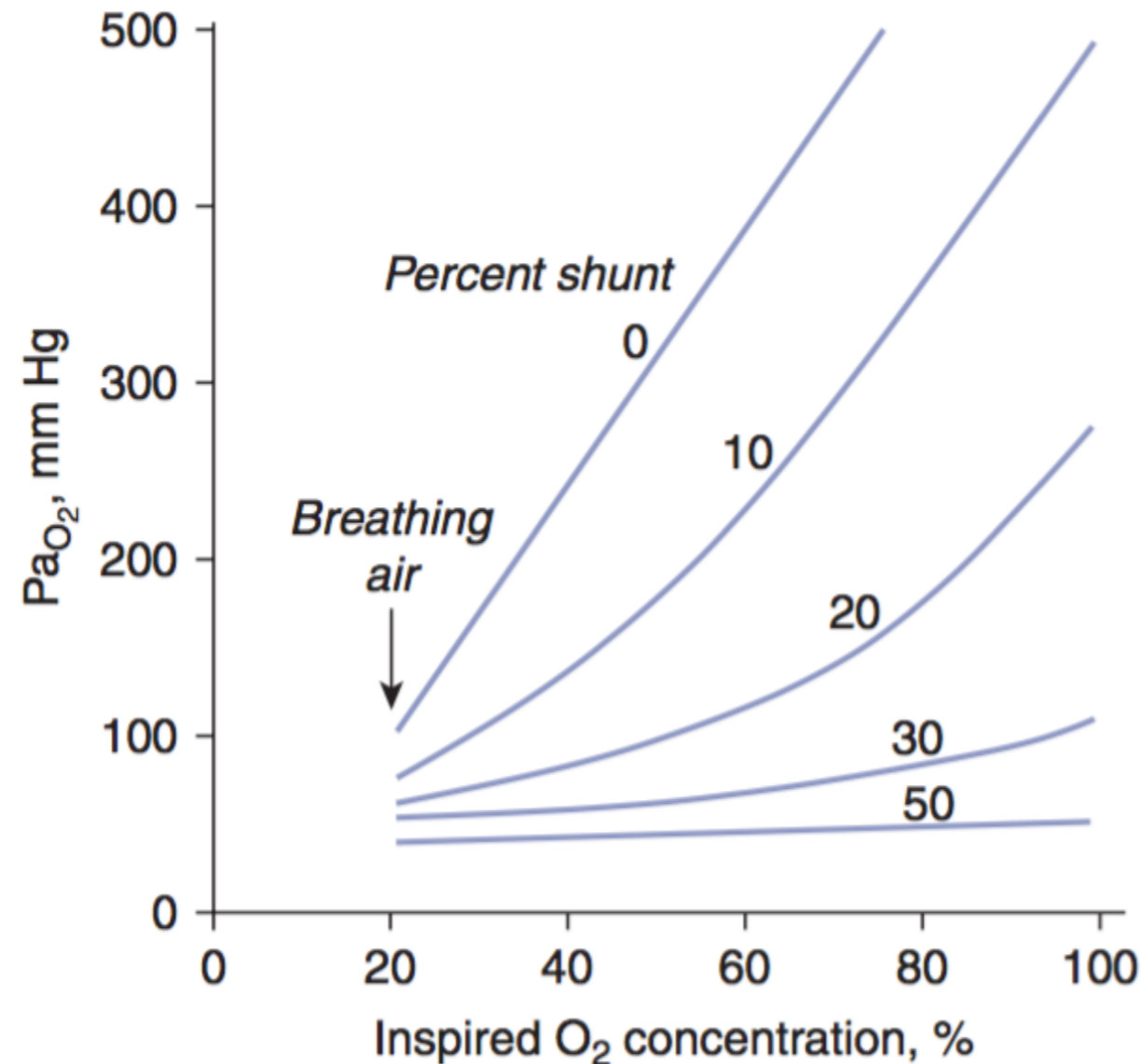
## ΑΤΕΛΕΚΤΑΣΙΕΣ - SHUNT



**FIGURE 4-17** Postoperative atelectasis. *Left:* Portable anteroposterior chest radiograph showing bibasilar subsegmental atelectasis following hemicolectomy. *Right:* Atelectasis of the entire right lung caused by mucus plugging following drainage of submandibular and pterygomandibular space abscesses.



## ΑΤΕΛΕΚΤΑΣΙΕΣ - SHUNT



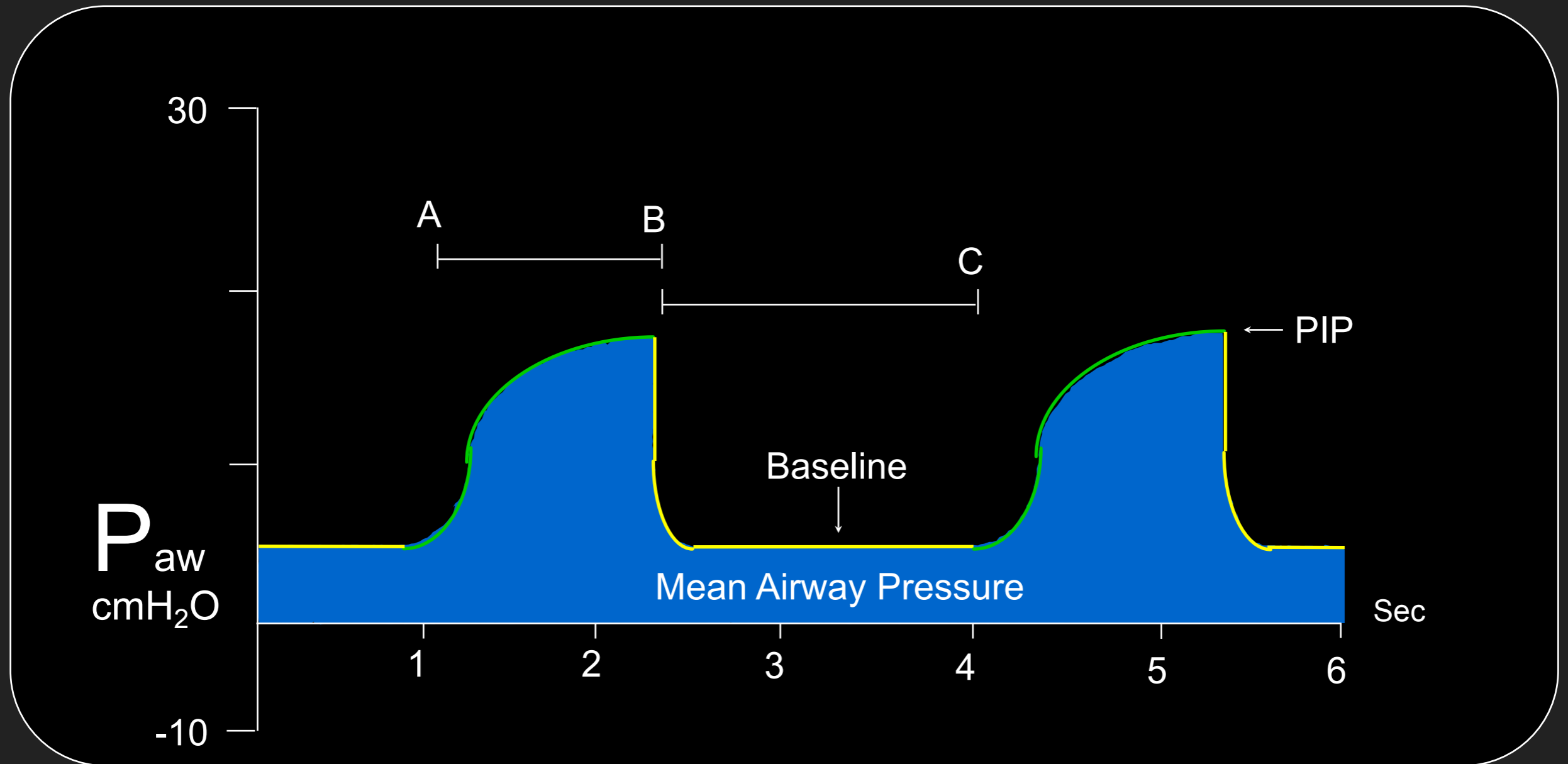
**FIGURE 4-9** Relationship between arterial  $P_{O_2}$  ( $P_{aO_2}$ ) and increases in inhaled oxygen concentrations for different levels of shunt. When the shunt fraction is 30% or more of cardiac output,  $P_{aO_2}$  increases little despite marked increases in inhaled oxygen concentration. The plot is a simplification that ignores factors such as cardiac output and oxygen uptake, which influence the location of the lines. (Modified, with permission, from West.<sup>61</sup>)

# Most Commonly Used Waveforms (Scalars)

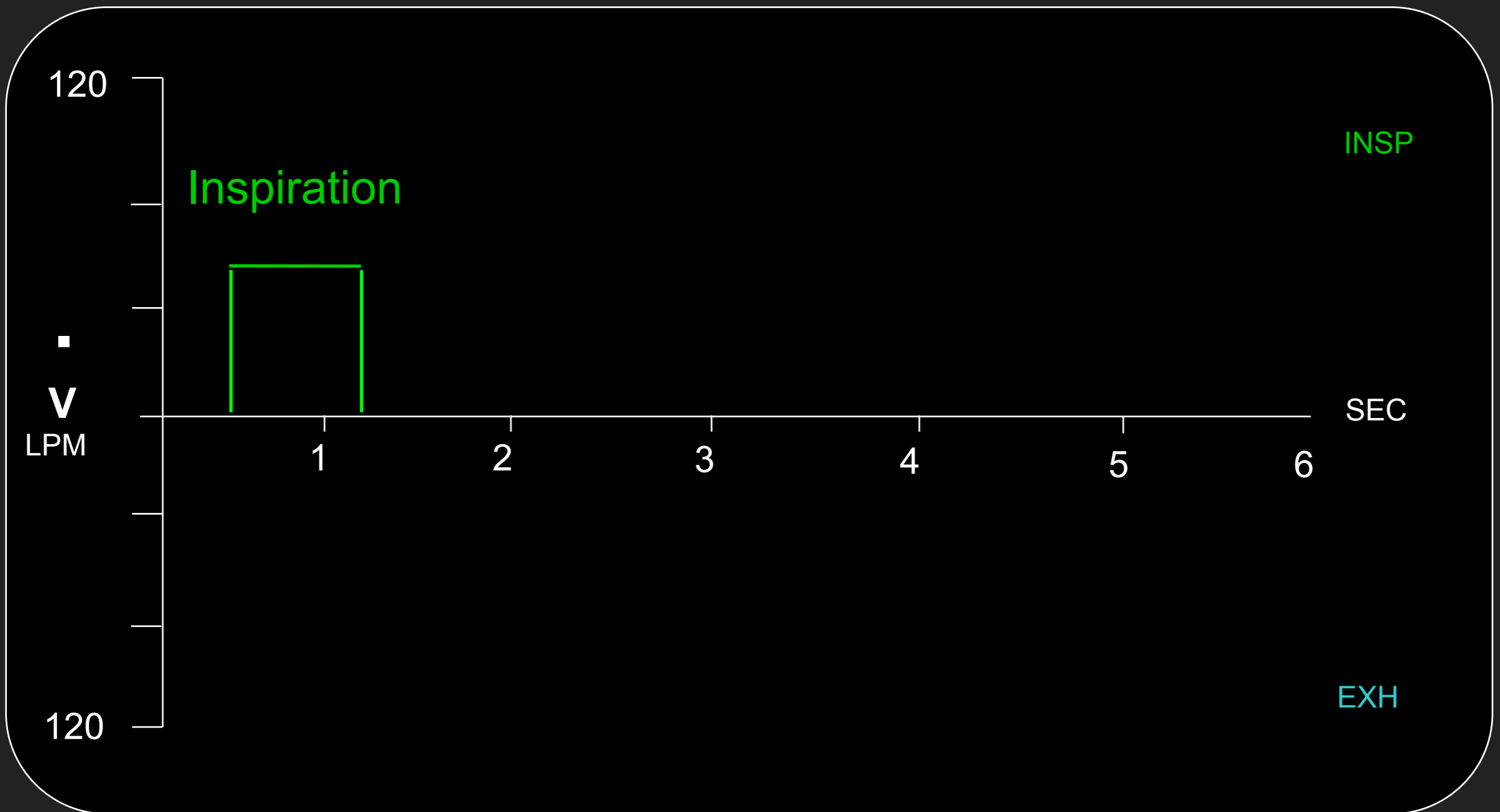


- **Pressure vs. Time**
- **Flow vs. Time**
- **Volume vs. Time**

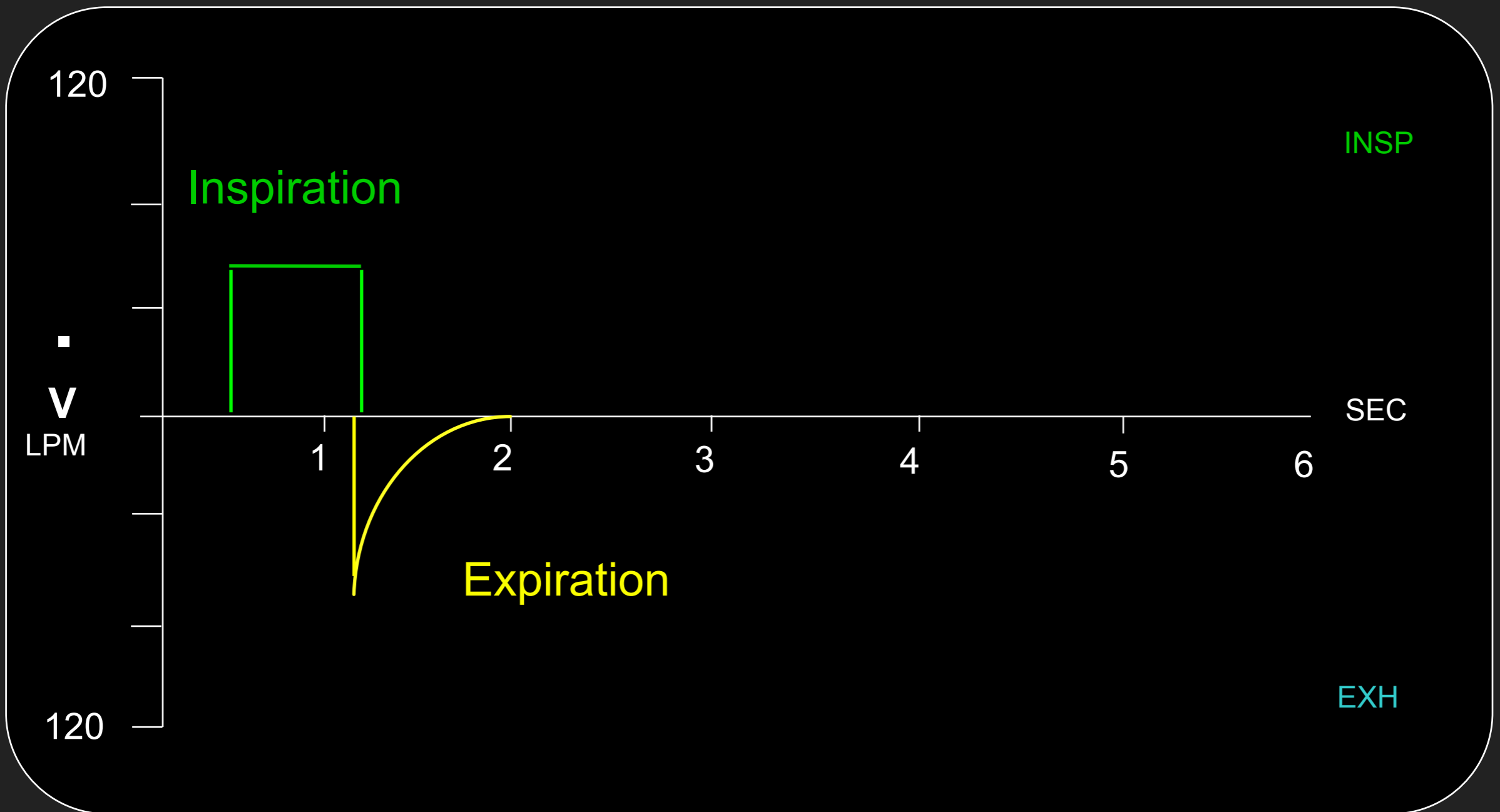
# Pressure vs. Time Curve



# Flow vs. Time Curve

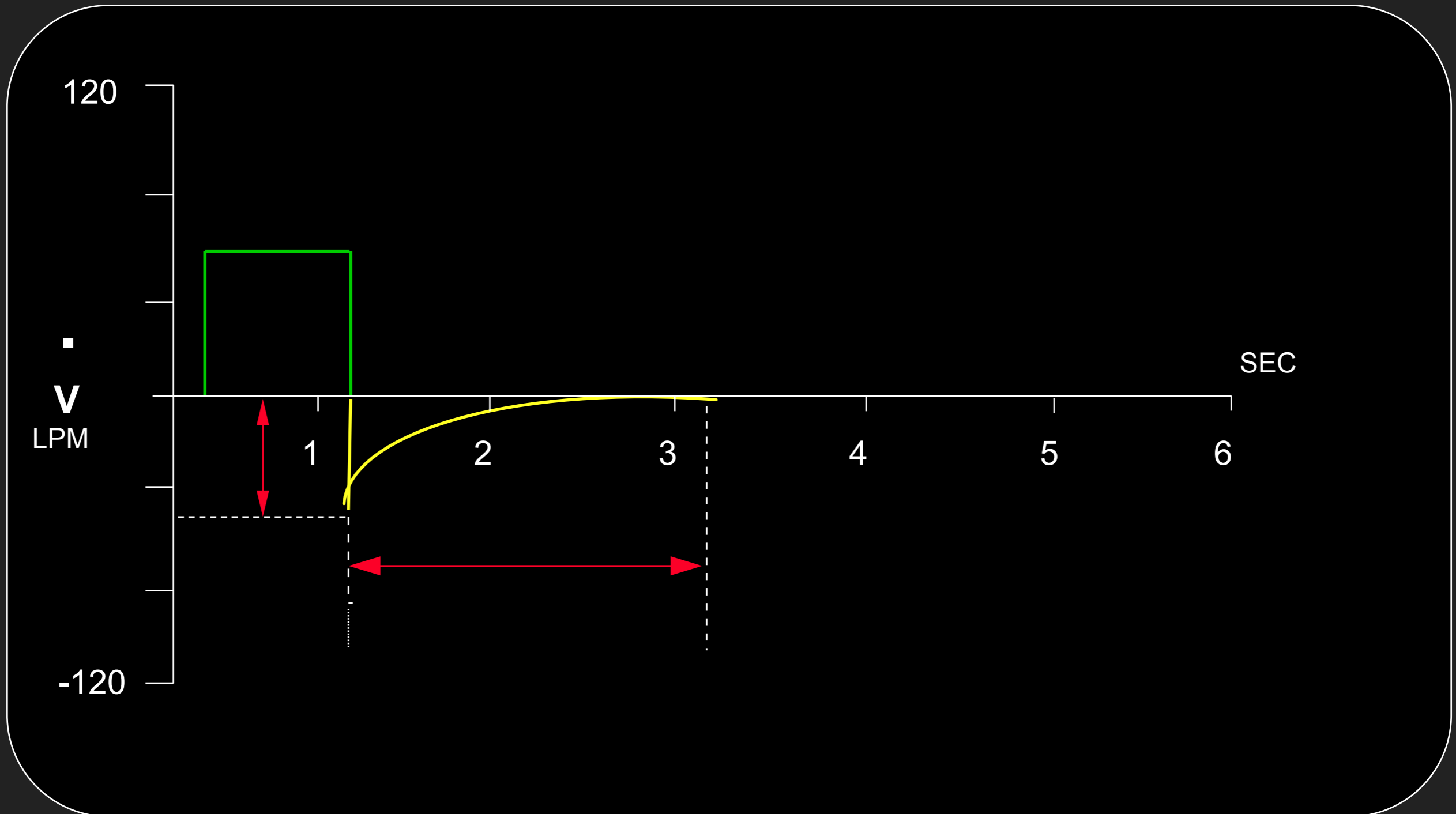


# Flow vs. Time Curve

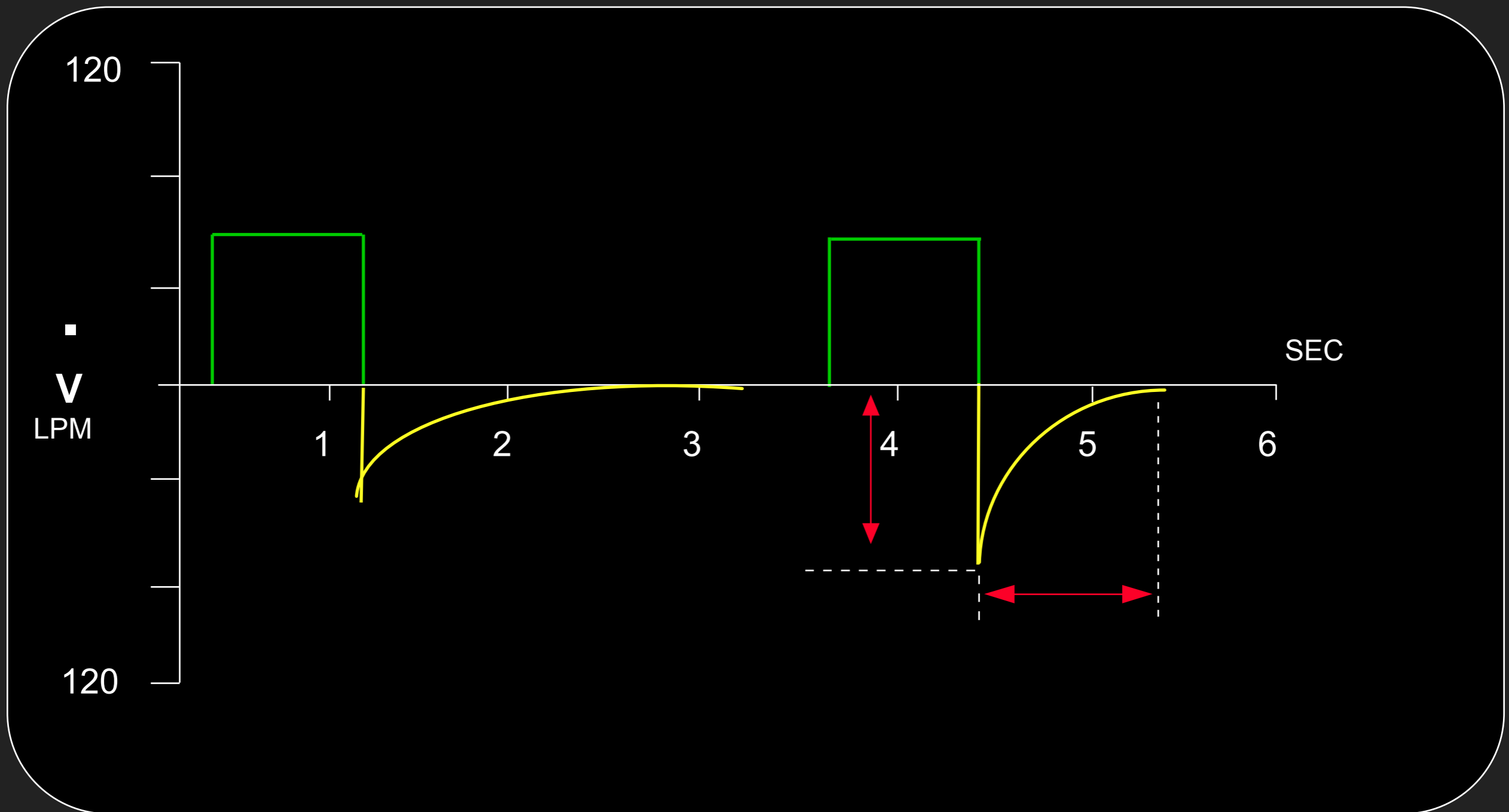


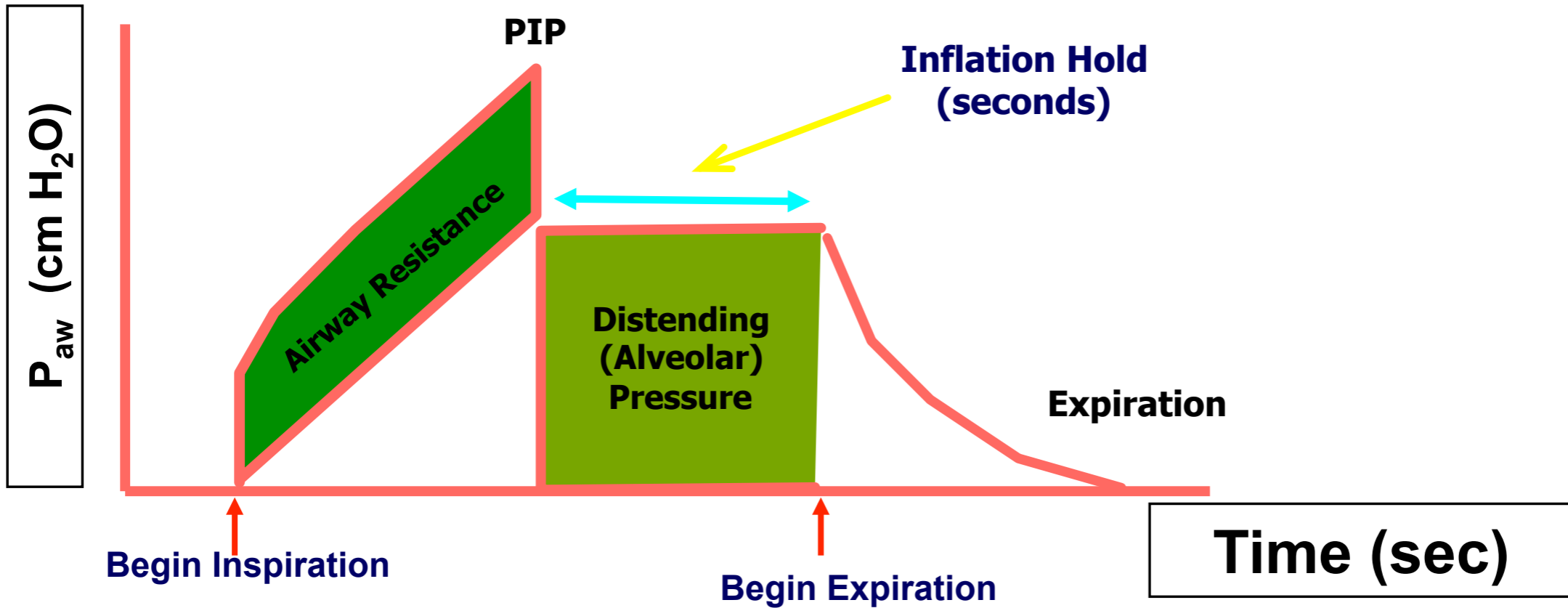
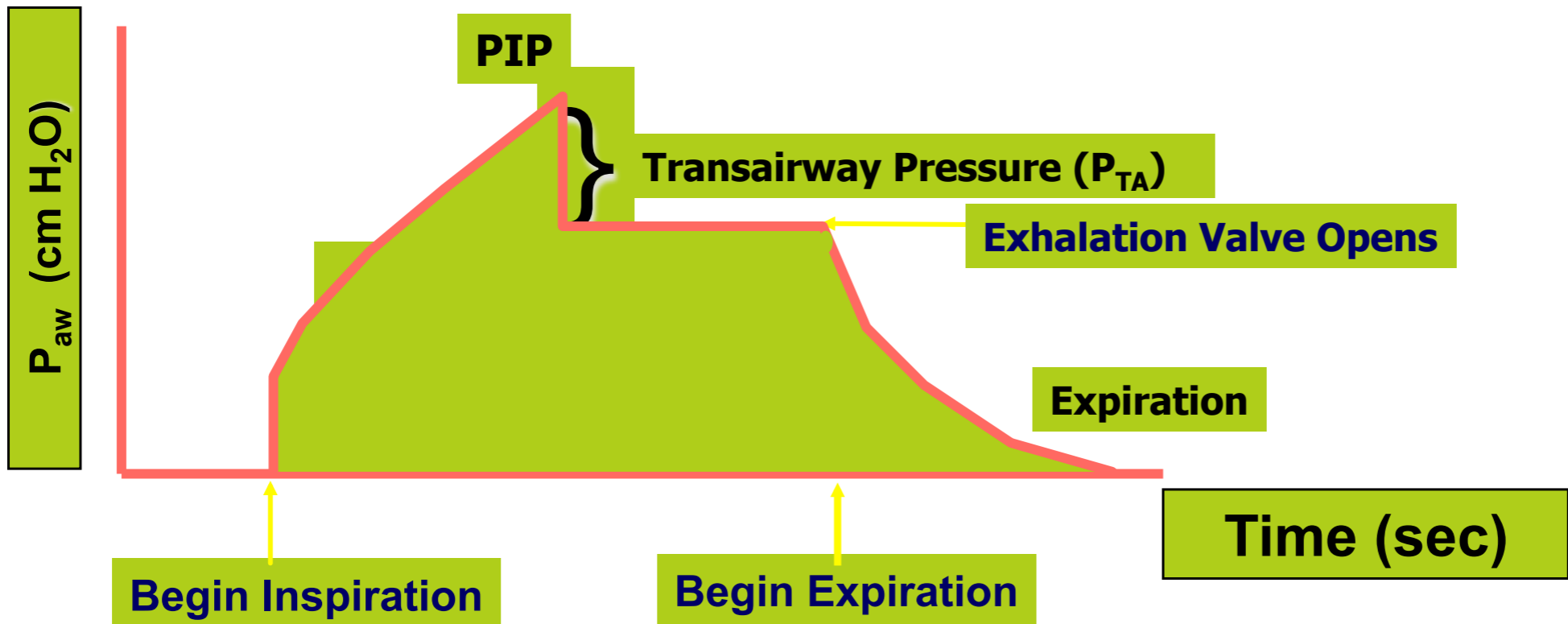


# Expiratory Flow Rate and Changes in Expiratory Resistance

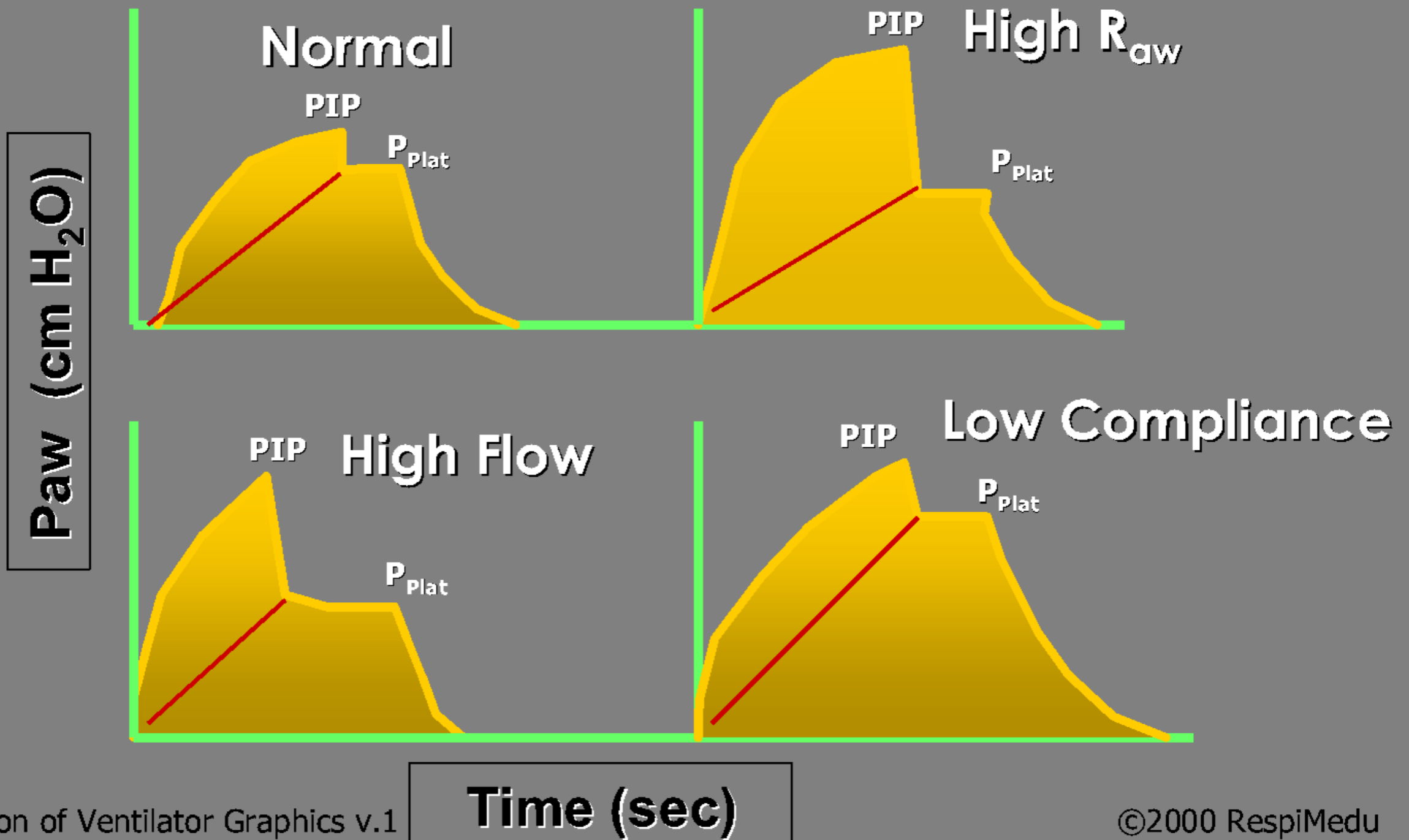


# A Higher Expiratory Flow Rate and a Decreased Expiratory Time Denote a Lower Expiratory Resistance

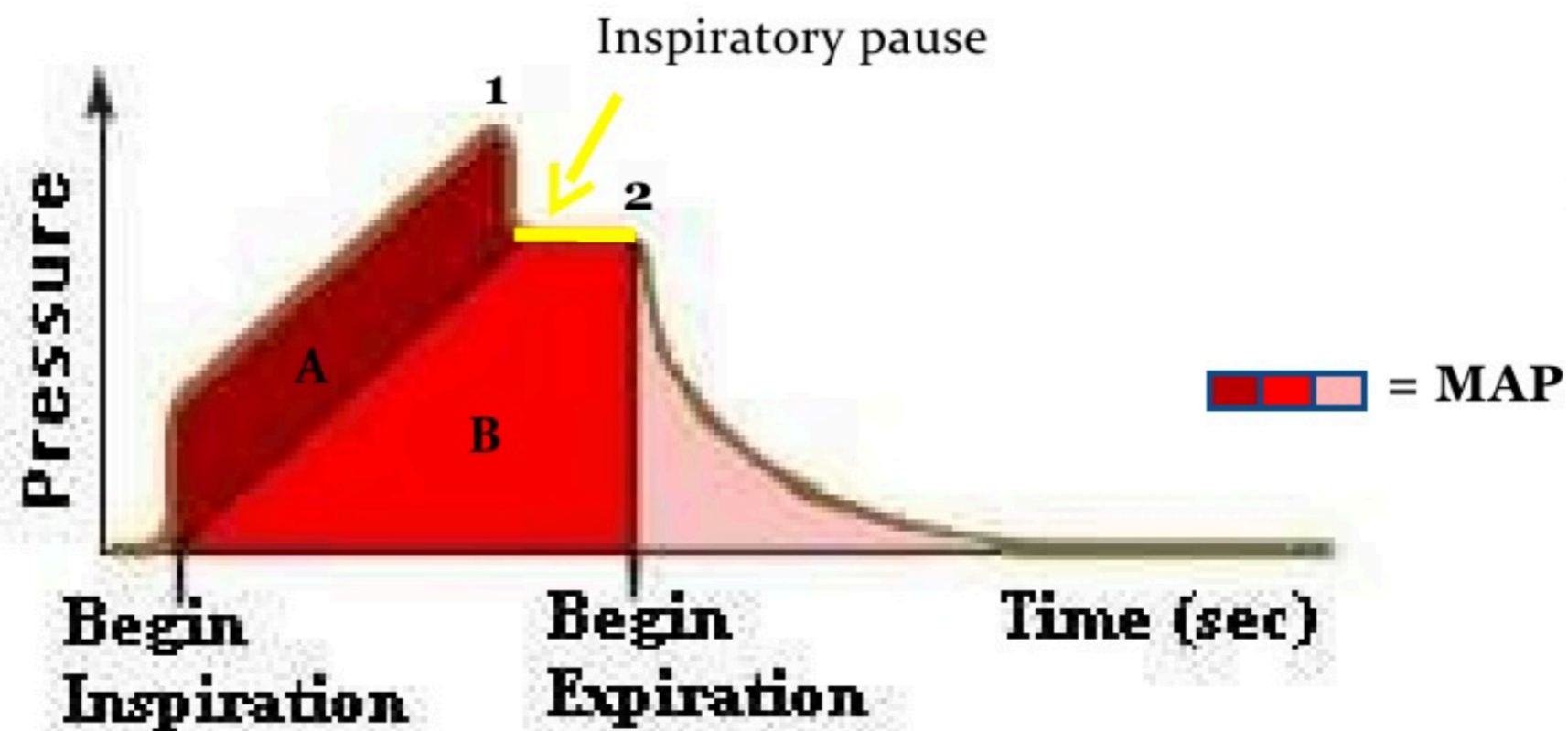




# PIP vs P<sub>plat</sub>



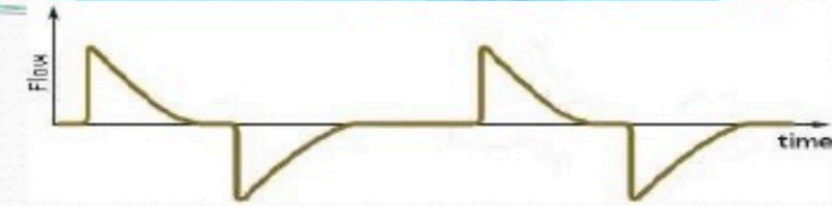
## Pressure/Time Scalar



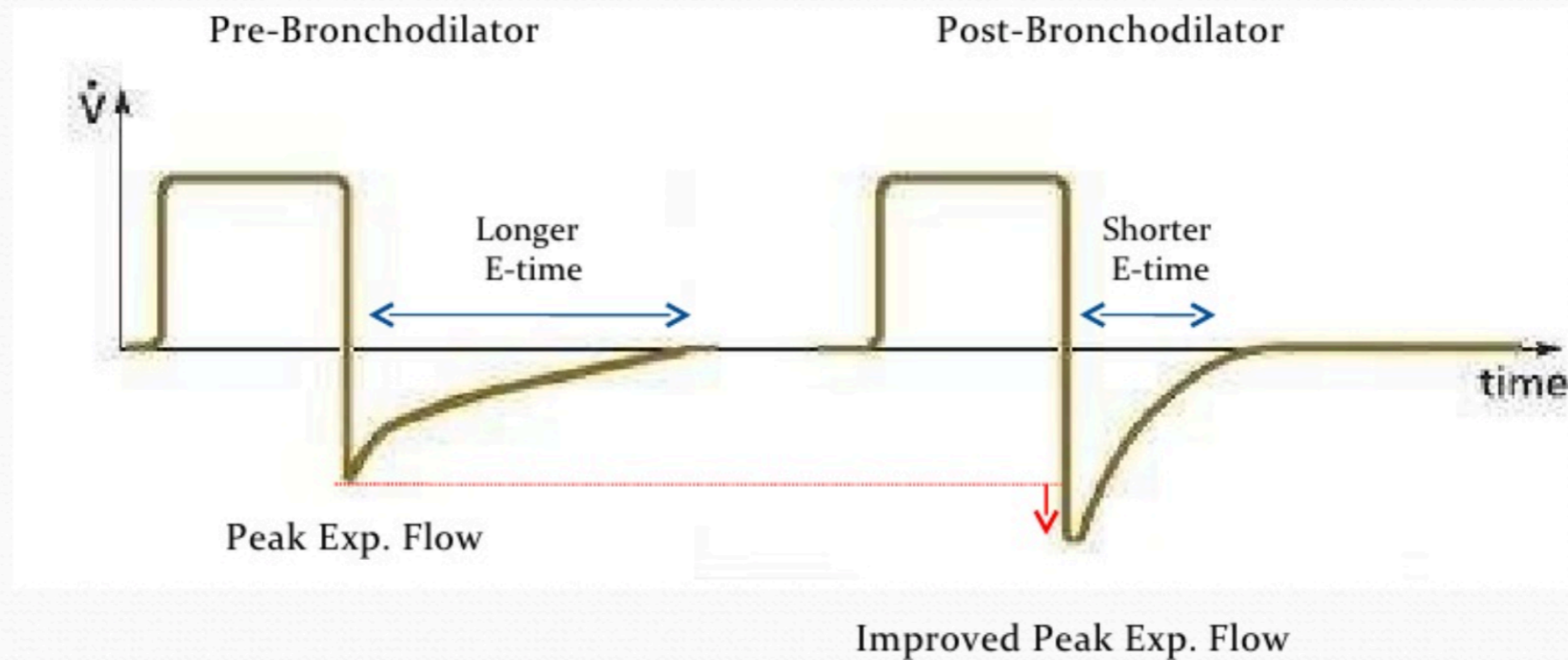
- 1 = Peak Inspiratory Pressure (PIP)
- 2 = Plateau Pressure (Pplat)
- A = Airway Resistance (Raw)
- B = Alveolar Distending Pressure

- The area under the entire curve represents the mean airway pressure (MAP).

# Flow/Time Scalar



## Bronchodilator Response



- To assess response to bronchodilator therapy, you should see an increase in peak expiratory flow rate.
- The expiratory curve should return to baseline sooner.

### ΤΡΕΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

- **μεταβλητή ενεργοποίησης του αναπνευστήρα** για παραγωγή θετικής πίεσης (με ποιον τρόπο αρχίζει ο αναπνευστήρας να δίνει θετική πίεση),
- **μεταβλητή ελέγχου παροχής πίεσης στον ασθενή** (με ποιον τρόπο ο αναπνευστήρας ελέγχει την πίεση του αέρα που δίνει στον ασθενή), και
- **μεταβλητή διακοπής της παροχής πίεσης** (με ποιο τρόπο ο αναπνευστήρας τερματίζει την παροχή πίεσης).

- Αυτή η μεταβλητή καθορίζει **πότε ο αναπνευστήρας θα αρχίσει να δίνει θετική πίεση στους αεραγωγούς.**
- Μπορεί να είναι **χρόνος, πίεση ή η ροή.**
- Εάν η μεταβλητή ενεργοποίησης είναι **χρόνος**, τότε ο αναπνευστήρας δίνει θετική πίεση ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι αναπνευστικών προσπαθειών από τον ασθενή.
- Εάν η μεταβλητή ενεργοποίησης είναι **πίεση ή ροή**, τότε ο αναπνευστήρας αρχίζει να δίνει πίεση όταν η πίεση ή ροή σε ένα σημείο του κυκλώματος του αναπνευστήρα φτάσει σε μια προκαθορισμένη τιμή.



- Η μεταβλητή ενεργοποίησης χρόνου καθορίζει και τη συχνότητα με την οποία λειτουργεί ο αναπνευστήρας.
- Αυτή η συχνότητα είναι ανεξάρτητη από την αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς.
- Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιείται όταν ο ασθενής για διάφορους λόγους δεν έχει αναπνευστικές προσπάθειες.
- Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τις άλλες μεταβλητές ενεργοποίησης.

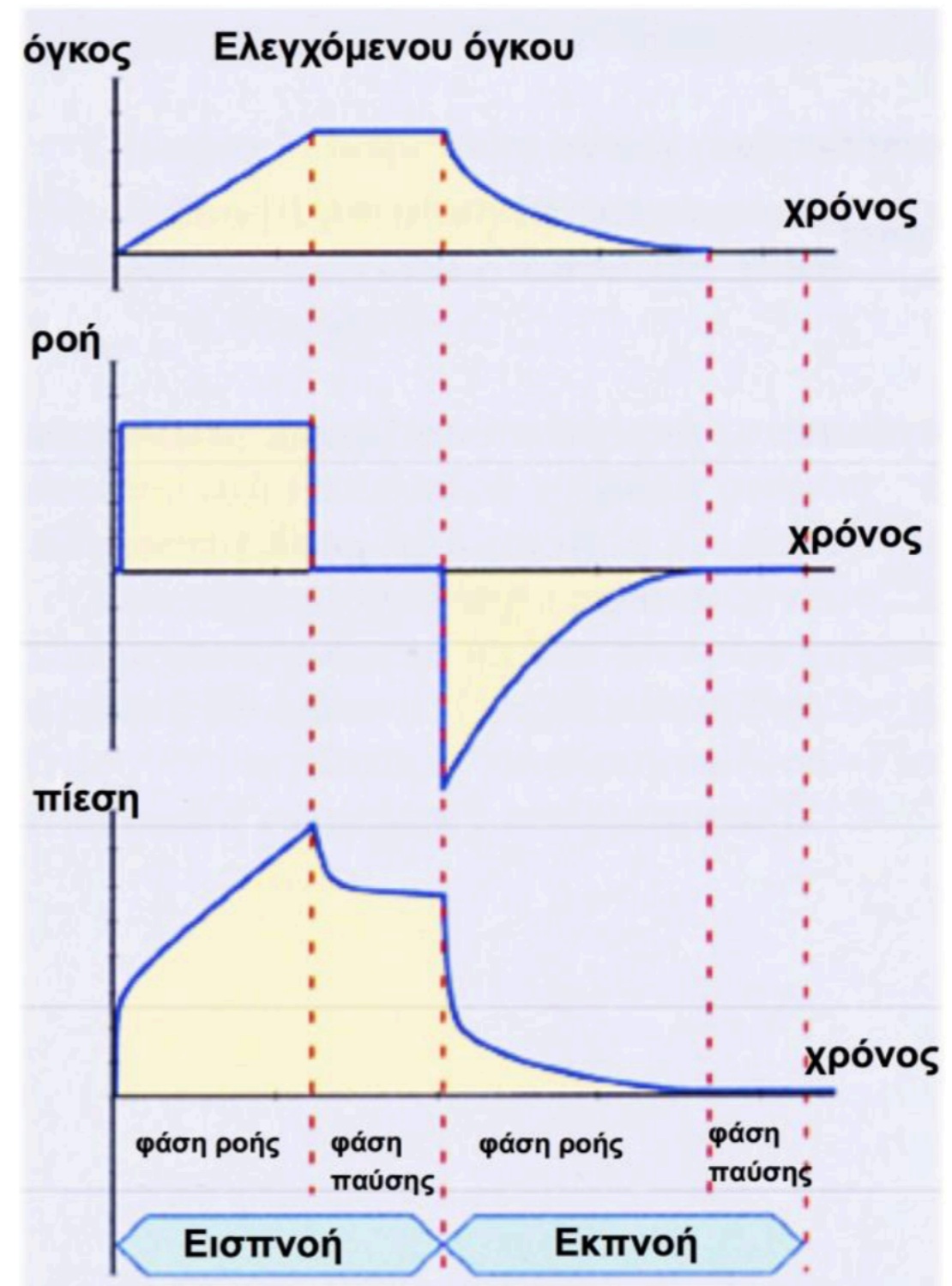
- ▶ Αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται όταν ο ασθενής κάνει εισπνευστικές προσπάθειες.
- ▶ Και με τις δύο μεταβλητές ο ασθενής πρέπει να μεταβάλει την αντίστοιχη μεταβλητή (πίεση ή ροή) στο σημείο ανίχνευσης πέρα από ένα όριο, έτσι ώστε ο αναπνευστήρας να διεγερθεί και να δώσει θετική πίεση.
- ▶ Εάν η μεταβλητή ενεργοποίησης είναι πίεση, ο αναπνευστήρας δεν επιτρέπει εισπνευστική ροή έως ότου η πίεση του αεραγωγού (airway pressure,  $P_{aw}$ ) ελαττωθεί κάτω από το προκαθορισμένο όριο.
- ▶ Εάν η μεταβλητή ενεργοποίησης είναι ροή τότε ο αναπνευστήρας δεν επιτρέπει εισπνευστική ροή μέχρι να ενεργοποιηθεί. Η ενεργοποίηση θα γίνει όταν η εισπνευστική ροή υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή.
- ▶ Και στις δύο περιπτώσεις ένα ελάχιστο όριο πίεσης ή ροής πρέπει να καθοριστεί έτσι ώστε να αποφευχθεί λανθασμένη ενεργοποίηση του αναπνευστήρα. Τα όρια αυτά είναι συνήθως  $-1$  ή  $-2 \text{ cmH}_2\text{O}$  κάτω από την  $P_{aw}$  που υπάρχει στο κύκλωμα του αναπνευστήρα (όχι του ασθενούς)

Οι κυριότερες τεχνικές μηχανικού αερισμού (modes) είναι:

1. Μηχανικός αερισμός ελεγχόμενου όγκου - Volume Control
2. Μηχανικός αερισμός ελεγχόμενης πίεσης - Pressure Control
3. Μηχανικός αερισμός υποστήριξης πίεσης - Pressure Support
4. Συγχρονισμένος διαλείπων υποχρεωτικός αερισμός - Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)

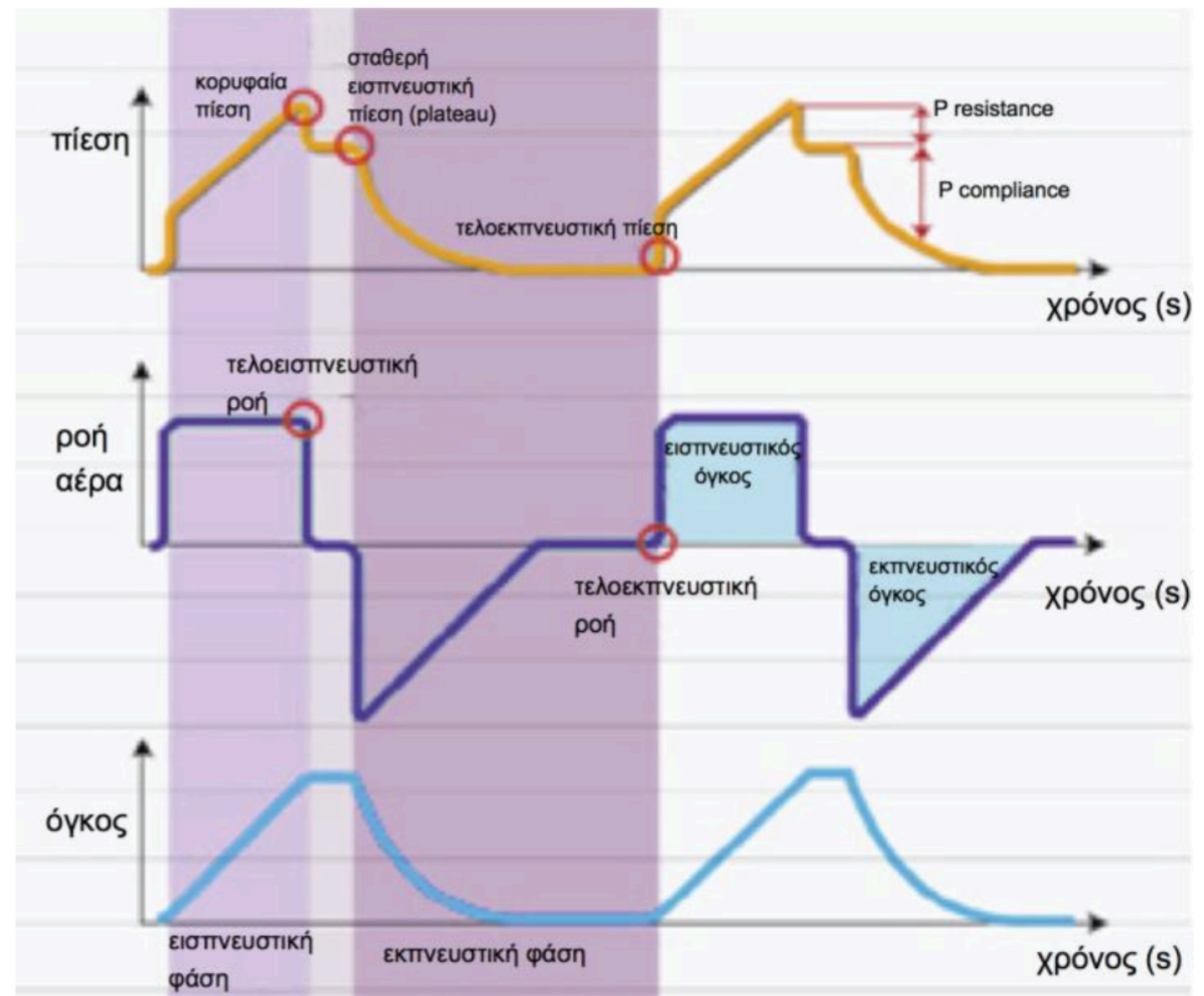
## Μηχανικός αερισμός ελεγχόμενου όγκου (Volume Control)

Το volume control είναι ένας τύπος μηχανικού αερισμού που λειτουργεί τόσο όταν ο ασθενής βρίσκεται σε καταστολή ή/και μυοχάλαση και ως εκ τούτου δεν κάνει εισπνευστικές προσπάθειες (**control mechanical ventilation**), όσο και όταν ο ασθενής κάνει δικές του εισπνευστικές προσπάθειες (**assist control mechanical ventilation**). Ο αναπνευστήρας χορηγεί στον ασθενή έναν προεπιλεγμένο αναπνεόμενο όγκο σε κάθε εισπνοή, όπως φαίνεται στην εικόνα



Από τι εξαρτάται η πίεση που αναπτύσσεται στο αναπνευστικό σύστημα στον μηχανικό αερισμό Volume Control

- ▶ Η πίεση που αναπτύσσεται στο αναπνευστικό σύστημα εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες του αναπνευστικού συστήματος.
- ▶ Έτσι για **δεδομένο αναπνεόμενο όγκο (Tidal Volume)**, όσο πιο χαμηλή είναι η ενδοτικότητα του αναπνευστικού συστήματος (P compliance) ή μεγαλύτερες οι αντιστάσεις των αεραγωγών (P resistance), τόσο μεγαλύτερη η πίεση του αεραγωγού που αναπτύσσεται

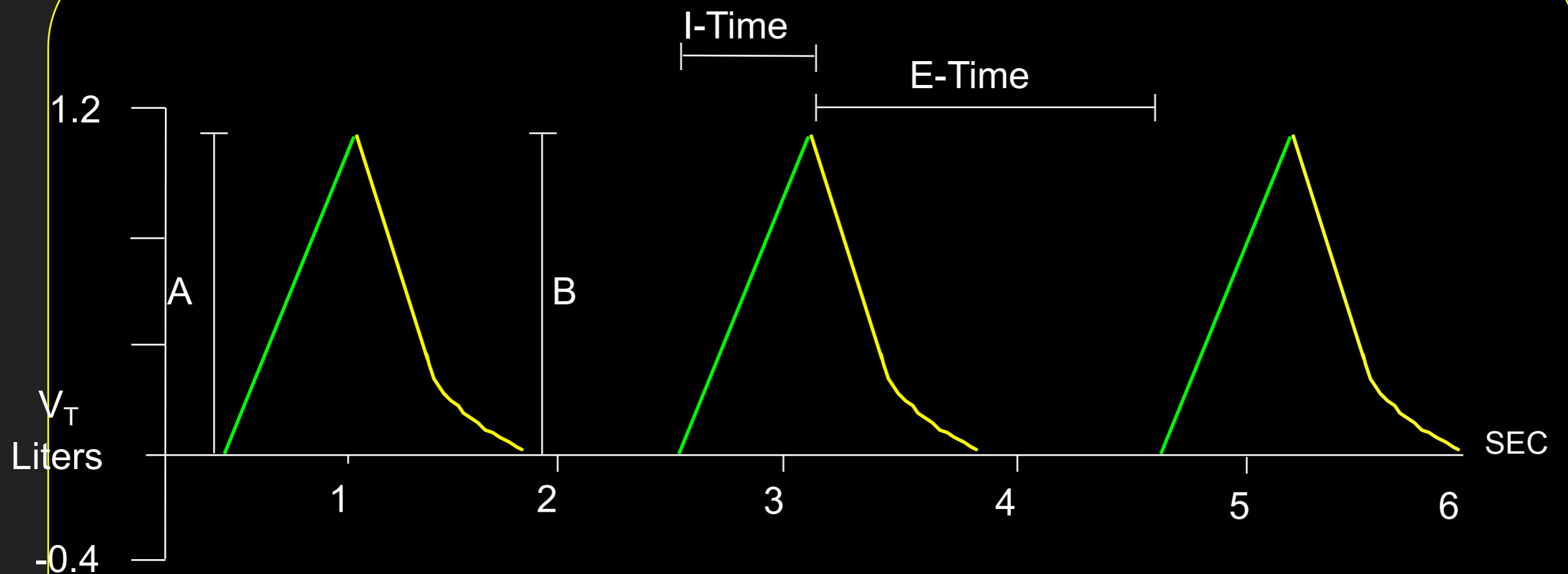


Σχέση πίεσης, ροής και όγκου στον μηχανικό αερισμό ελεγχόμενου όγκου. P resistance: πίεση που οφείλεται στην αντίσταση ροής των αεραγωγών, P compliance: πίεση που οφείλεται στην ενδοτικότητα του αναπνευστικού συστήματος

**Compliance (ενδοτικότητα) =  $dV/dP$  (μεταβολή όγκου σε σχέση με τη μεταβολή πίεσης στο αναπνευστικό σύστημα)**

- ▶ Ο αναπνευστήρας χορηγεί στον ασθενή **σταθερή εισπνευστική ροή για όσο χρόνο χρειάζεται** ώστε να πετύχει τον **προεπιλεγμένο όγκο (Tidal Volume)**,
- ▶ Ρυθμίζεται είτε ο χρόνος εισπνοής (Inspiratory time,  $T_i$ ) και αυτόματα ο αναπνευστήρας χορηγεί την κατάλληλη εισπνευστική ροή ώστε να πετύχει τον προεπιλεγμένο όγκο, είτε ρυθμίζεται η εισπνευστική ροή οπότε αυτόματα καθορίζεται ο χρόνος εισπνοής.
- ▶ Ρυθμίζεται η ελάχιστη αναπνευστική συχνότητα (set respiratory rate, set RR). Όταν ο ασθενής βρίσκεται σε βαθιά καταστολή ή/και μυοχάλαση (δεν κάνει εισπνευστικές προσπάθειες), τότε ο αναπνευστήρας θα του χορηγήσει όσες αναπνοές έχουμε καθορίσει με την ελάχιστη αναπνευστική συχνότητα. Έτσι, αν έχουν τεθεί 15 αναπνοές/λεπτό ο ασθενής θα λάβει 15 αναπνοές σε ένα λεπτό, δηλαδή κάθε 4 δευτερόλεπτα ο αναπνευστήρας θα χορηγεί τον προεπιλεγμένο όγκο με τον χρόνο εισπνοής που έχει προεπιλεγεί.
- ▶ Ο ολικός χρόνος αναπνοής (Total time,  $T_{tot}$ ) είναι το άθροισμα του χρόνου εισπνοής ( $T_i$ ) και του χρόνου εκπνοής (Expiratory time,  $T_e$ ):  $T_{tot} = T_i + T_e$
- ▶ Ο ολικός χρόνος αναπνοής ισούται με τον λόγο: 60 δευτερόλεπτα/προεπιλεγμένη ελάχιστη αναπνευστική συχνότητα. Σε μερικούς αναπνευστήρες δεν ρυθμίζεται ο  $T_i$ , αλλά μόνο ο λόγος  $T_i/T_{tot}$ .

# Typical Volume Curve



A = inspiratory volume

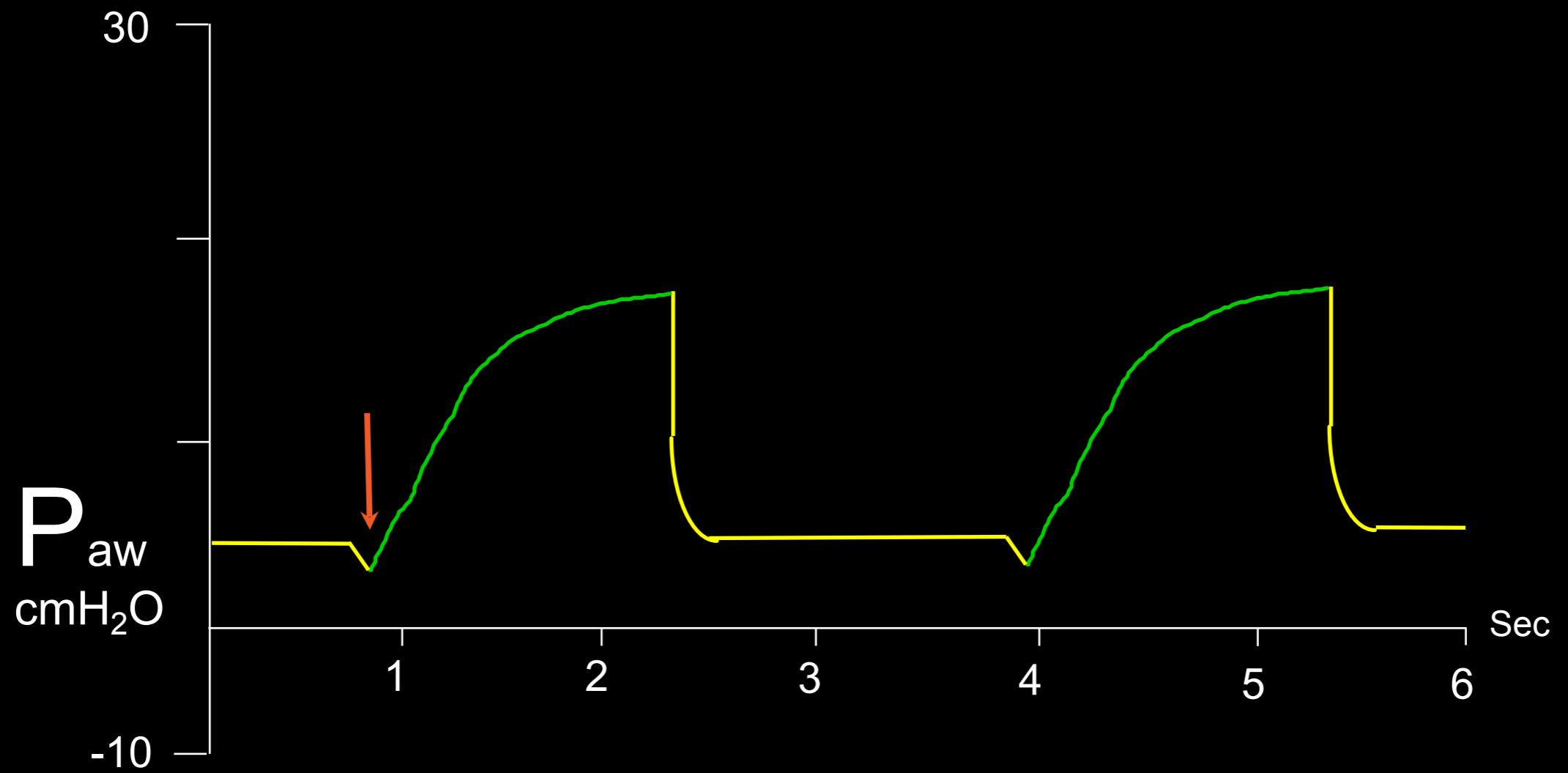
B = expiratory volume

# Τι θα συμβεί αν ένας ασθενής που αερίζεται με Volume Control <sup>32</sup> κάνει δικές του αναπνευστικές προσπάθειες

- ▶ Ο αριθμός των αναπνοών που θα λάβει από τον αναπνευστήρα εξαρτάται από τη σχέση της αναπνευστικής συχνότητας (respiratory rate, RR) του ασθενούς και της ελάχιστης αναπνευστικής συχνότητας που έχει τεθεί στον αναπνευστήρα (set RR).
- ▶ Αν η RR ασθενούς < set RR, τότε ο ασθενής θα λάβει την set RR.
- ▶ Αν η RR ασθενούς > set RR, τότε η αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς θα προλαμβάνει τον υπολογιστή του αναπνευστήρα και θα διεγείρει τον αναπνευστήρα (triggering) ο οποίος θα χορηγεί στον ασθενή τον προεπιλεγμένο αναπνεόμενο όγκο στον χρόνο εισπνοής που έχει προεπιλεγεί. Ο ασθενής θα λάβει όσες αναπνοές έχει αποφασίσει το αναπνευστικό του κέντρο, αλλά ο όγκος και ο εισπνευστικός χρόνος θα είναι προκαθορισμένα από τον αναπνευστήρα



# Patient Triggering



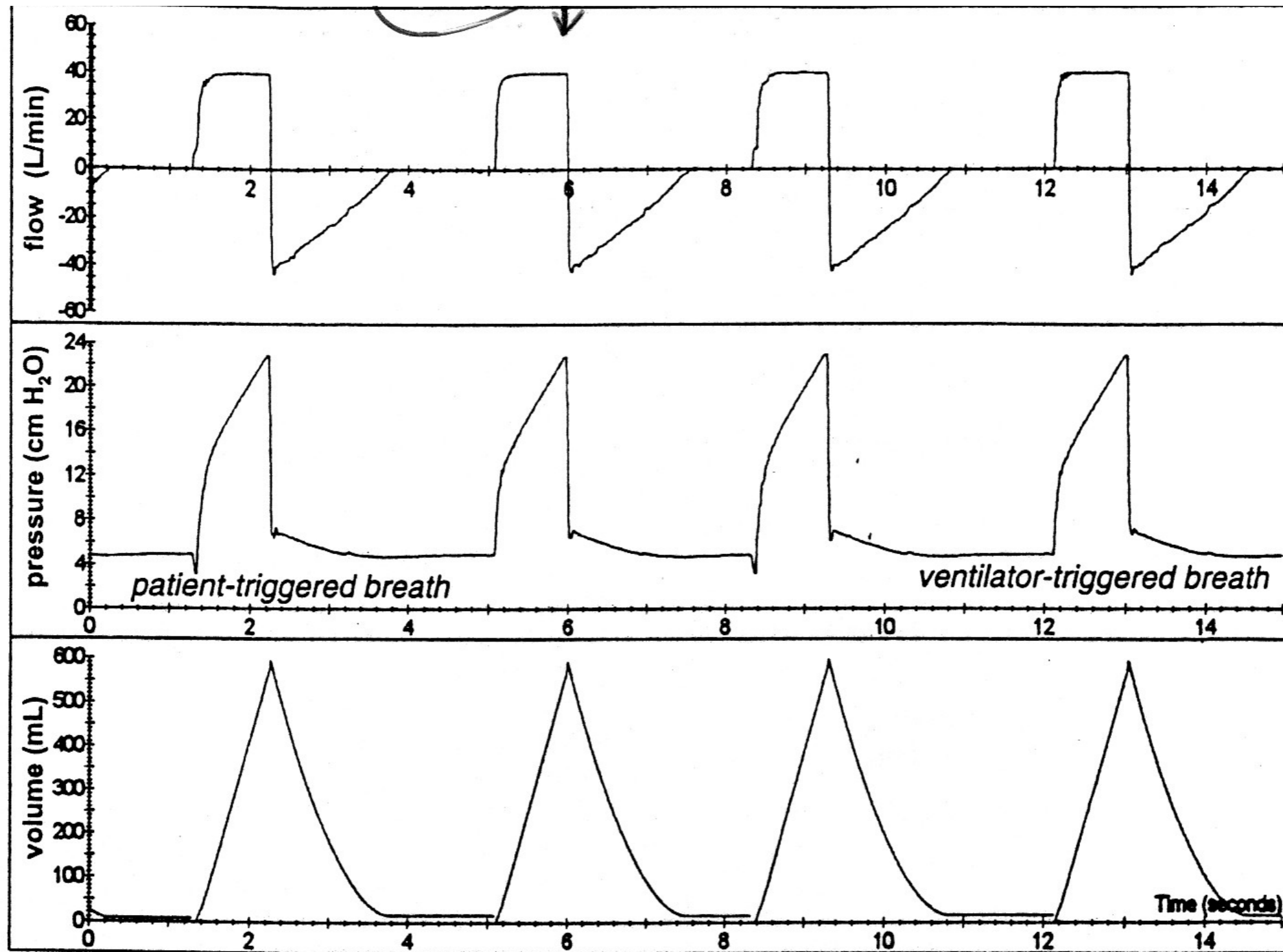
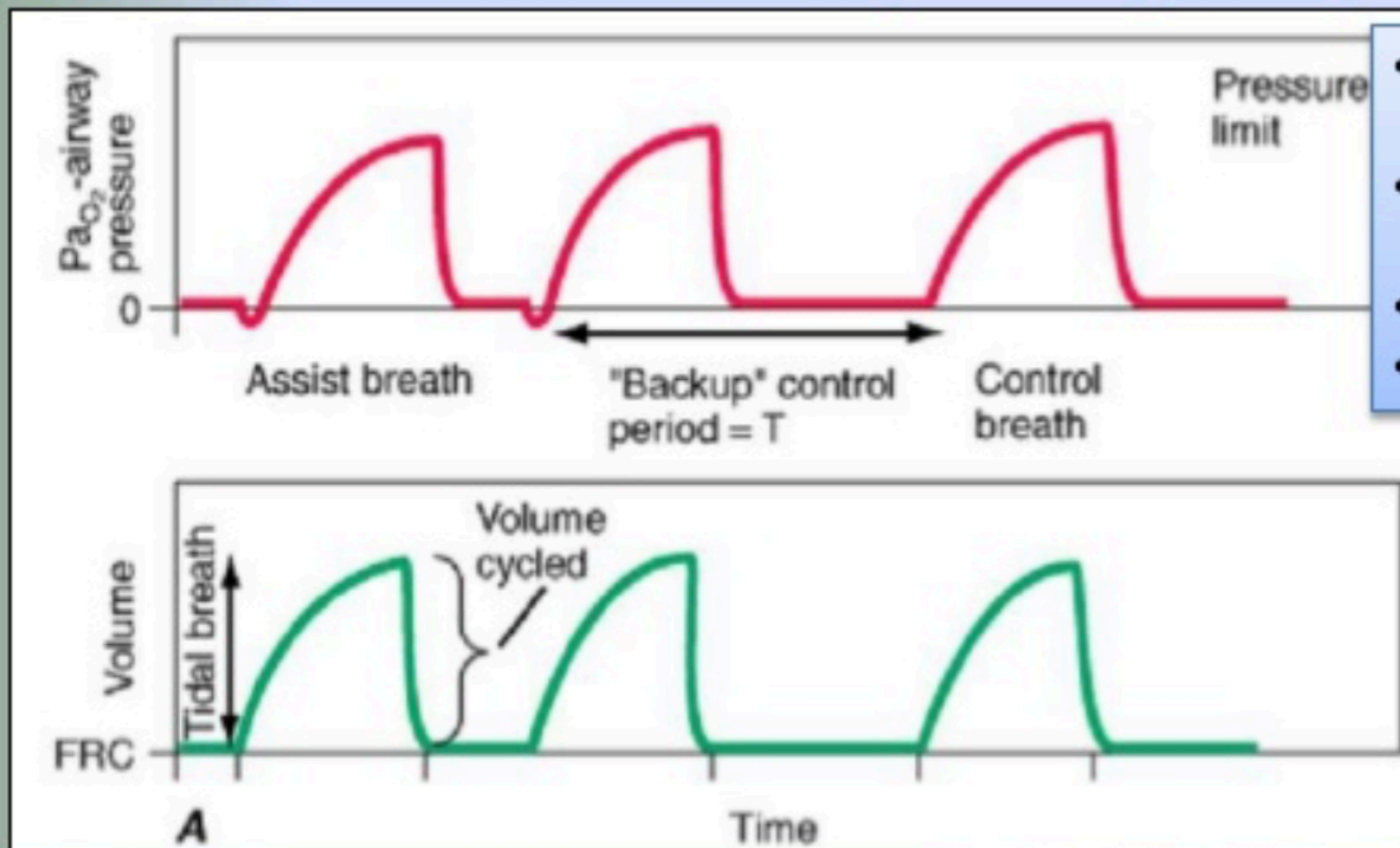


Figure 4-3 Volume-controlled continuous mandatory ventilation. Note that the breath can be triggered by the patient or the ventilator. After the breath is triggered, every breath type is mandatory.

## 2. Assist Control Mandatory Ventilation (ACMV)



- Breath – MANDATORY ASSISTED
- Trigger – PATIENT TIME
- Limit - VOLUME
- Cycle – VOLUME / TIME

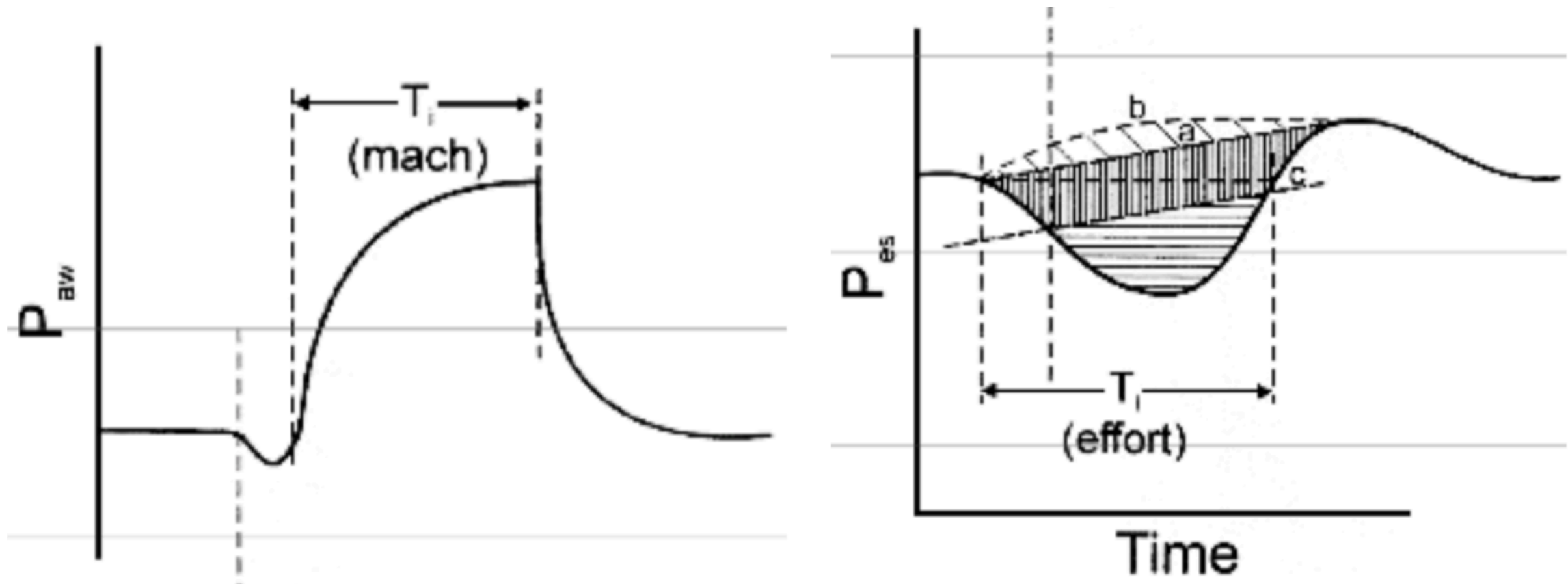
Once patient initiates the breath the ventilator takes over the WOB

If he fails to initiate, then the ventilator does the entire WOB

- Patient has partial control over his respiration – Better Pt ventilator synchrony
- Ventilator rate determined by patient or backup rate (whichever is higher) – risk of respiratory alkalosis if tachypnoea
- **PASSIVE Pt – acts like CMV**
- **ACTIVE pt – ALL spontaneous breaths assisted to preset volume**

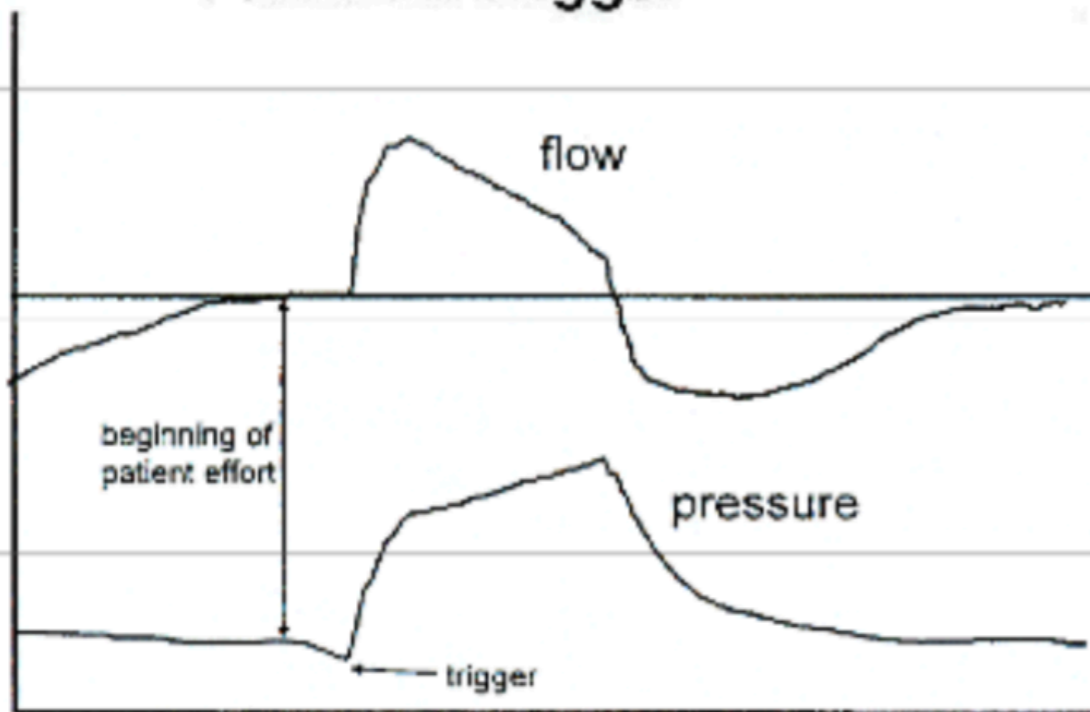
## Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι ενεργοποίησης του αναπνευστήρα κατά την αναπνευστική προσπάθεια του ασθενούς

- εκείνη που χρησιμοποιεί την πίεση των αεραγωγών (pressure triggering) και
- εκείνη που χρησιμοποιεί τη ροή στο κύκλωμα του αναπνευστήρα (flow triggering)

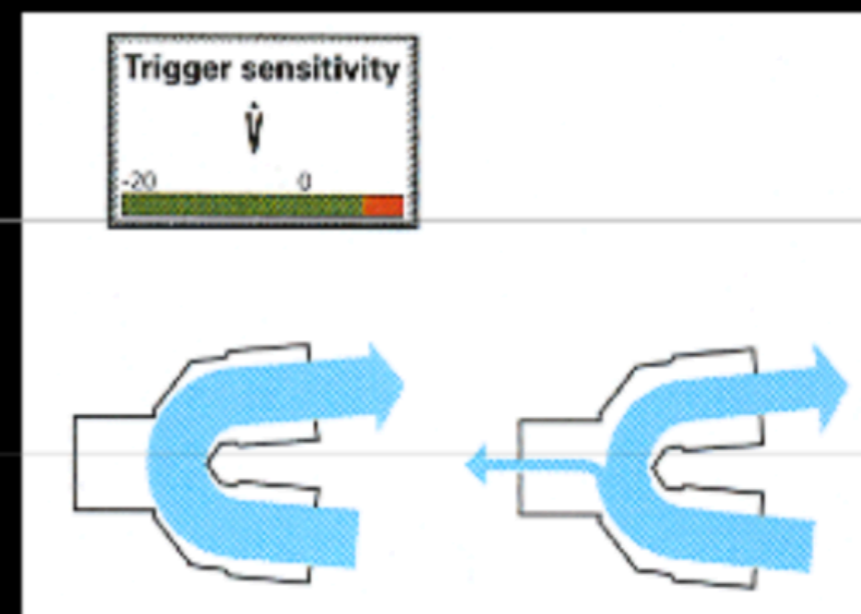
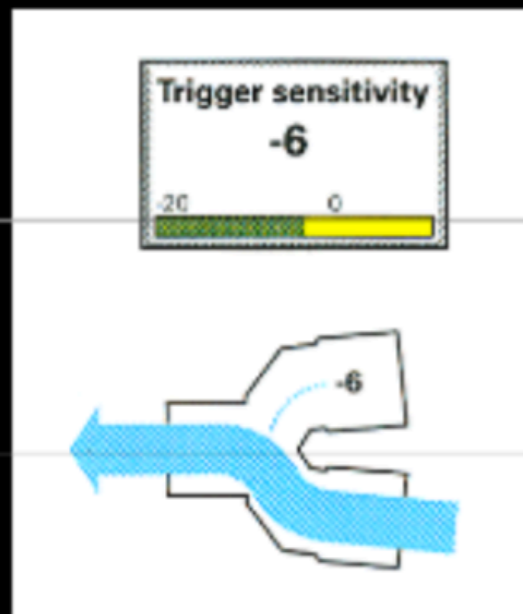
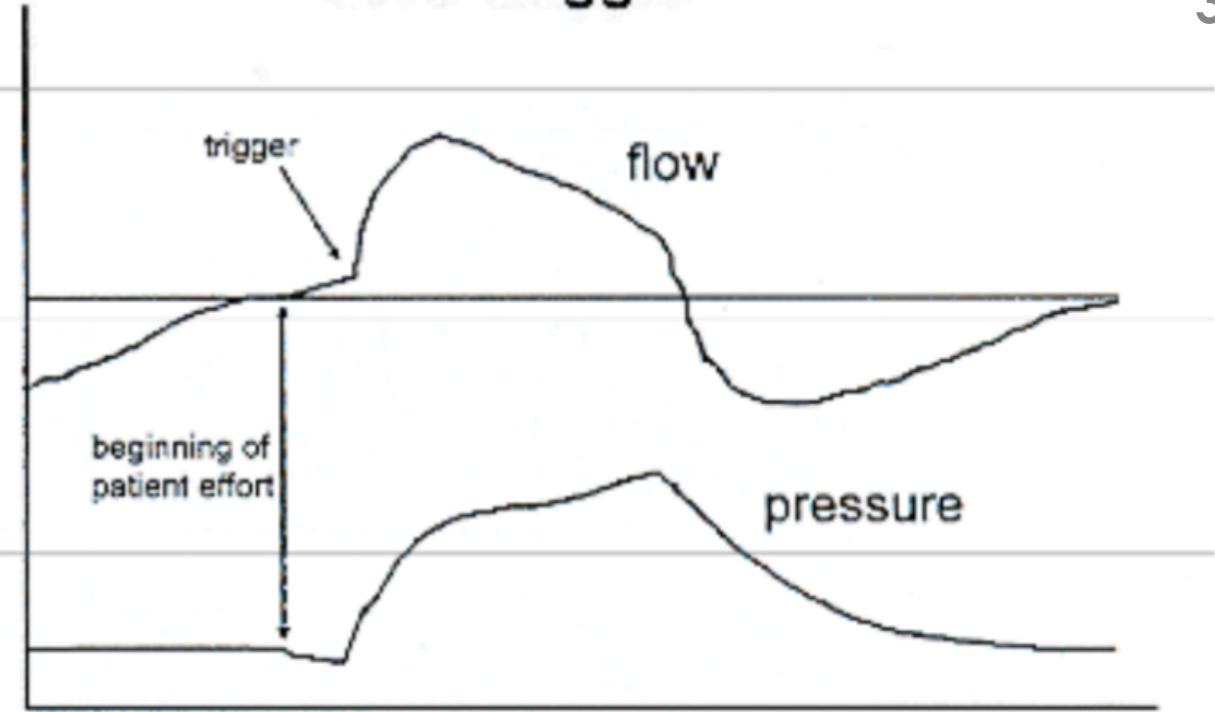


Ενεργοποίηση του αναπνευστήρα με μεταβλητή ενεργοποίησης την πίεση.  $P_{aw}$  (airway pressure): πίεση αεραγωγού,  $P_{es}$  (esophageal pressure): πίεση στον οισοφάγο (εκφράζει την ενδοθωρακική πίεση),  $T_i$  effort: χρόνος εισπνοής του ασθενούς,  $T_i$  mach: χρόνος εισπνοής του αναπνευστήρα στο volume control.

## Pressure Trigger



## Flow Trigger



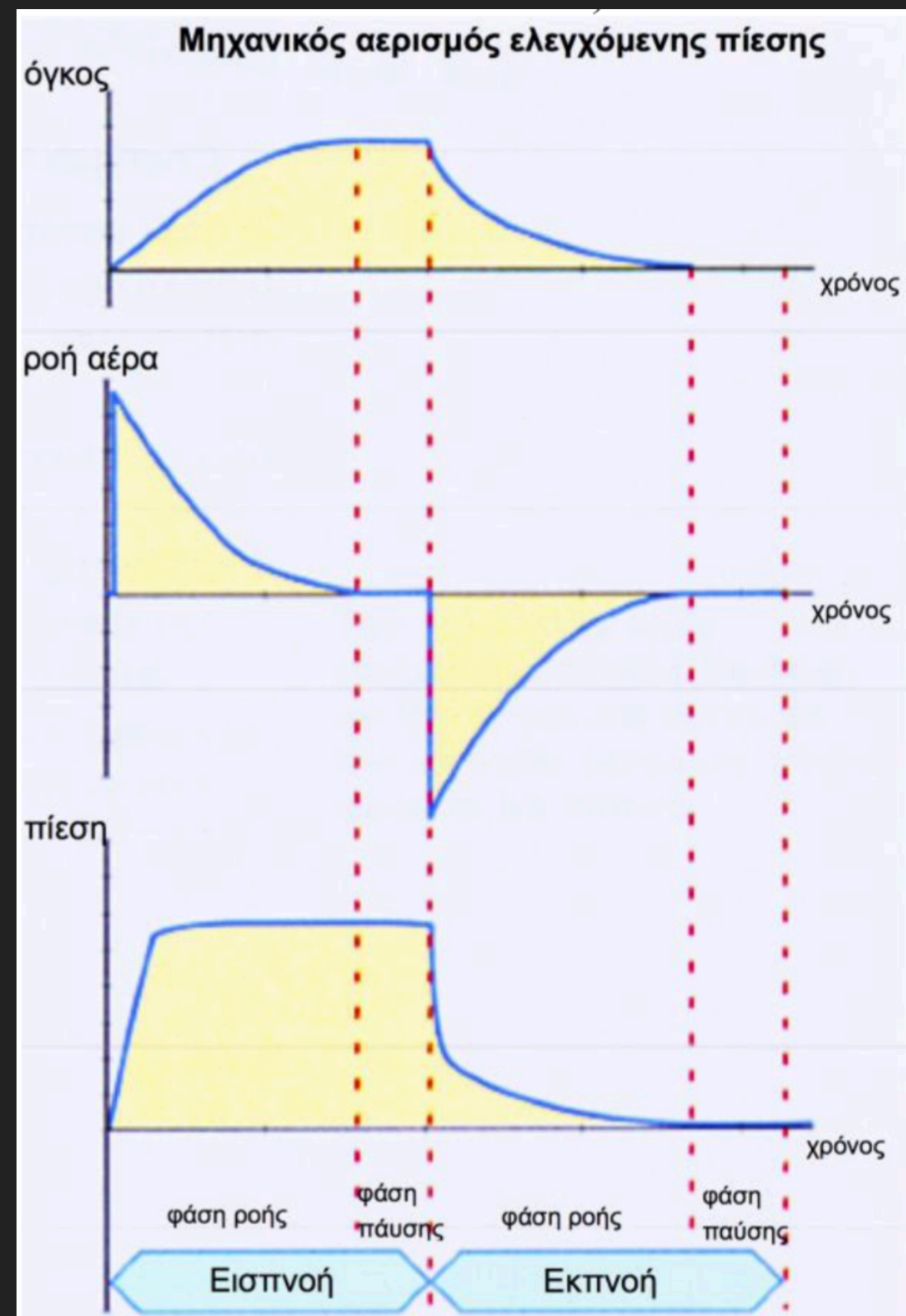
Ενεργοποίηση του αναπνευστήρα. Σύγκριση μεταβλητής ενεργοποίησης πίεσης και ροής. Pressure: πίεση αεραγωγού, Flow: ροή αέρα,

Pressure triggering: ενεργοποίηση του αναπνευστήρα μέσω της πίεσης των αεραγωγών

Flowtriggering: ενεργοποίηση του αναπνευστήρα μέσω της ροής στο κύκλωμα του αναπνευστήρα, Beginning of patient effort: έναρξη της εισπνευστικής προσπάθειας του ασθενούς, Trigger sensitivity: προκαθορισμένη τιμή προκειμένου να αρχίσει ο αναπνευστήρας να δίνει αέρα.

# ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΠΙΕΣΗΣ - PRESSURE CONTROL VENTILATION

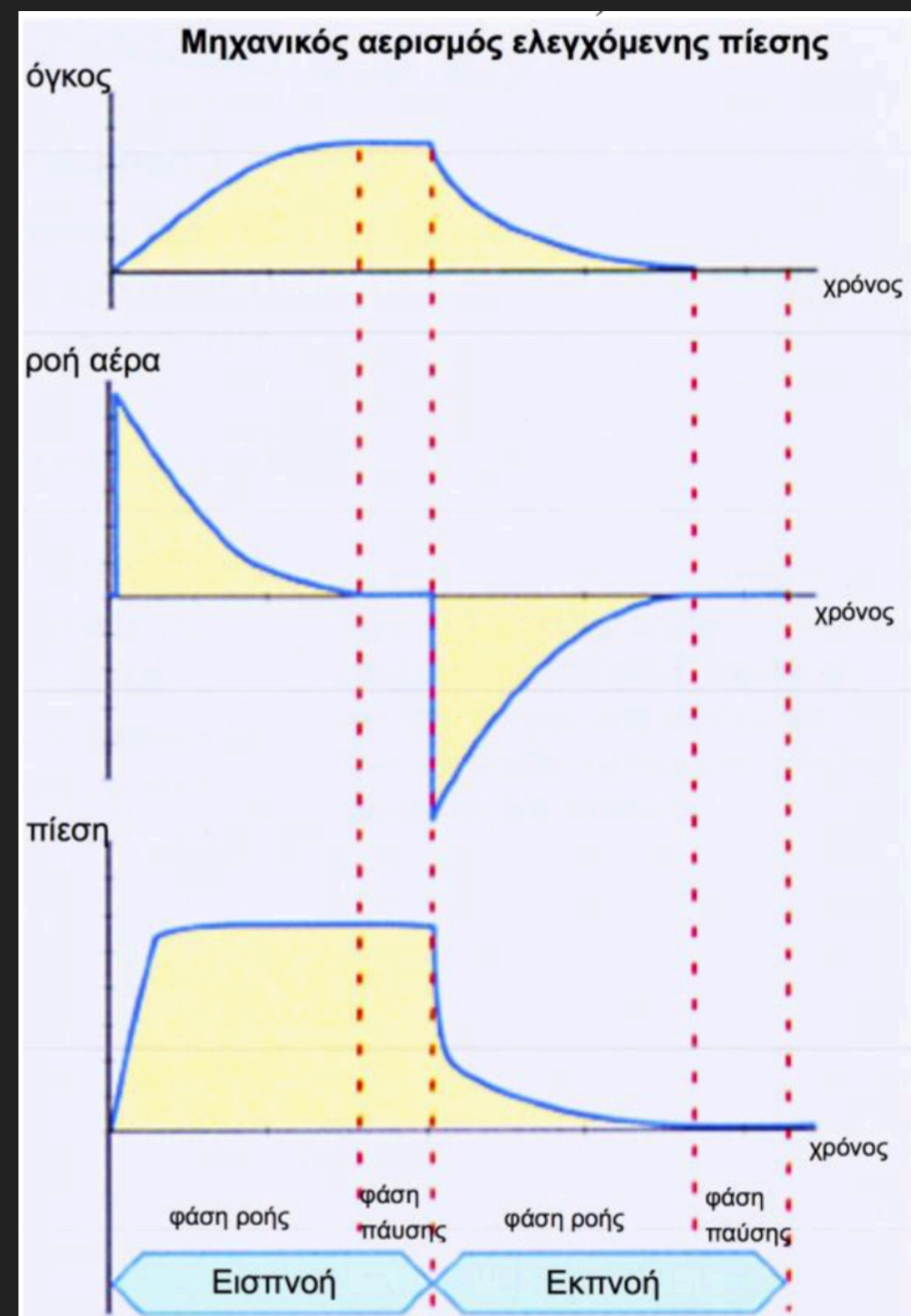
Είναι ένα mode που λειτουργεί τόσο όταν ο ασθενής βρίσκεται σε βαθιά καταστολή ή/και μυοχάλαση και ως εκ τούτου δεν κάνει εισπνευστικές προσπάθειες (pressure control mechanical ventilation), όσο και όταν ο ασθενής κάνει δικές του εισπνευστικές προσπάθειες (assist pressure control mechanical ventilation)



- ▶ Ο αναπνευστήρας χορηγεί στον ασθενή μια προκαθορισμένη πίεση σε κάθε εισπνοή.
- ▶ Ο όγκος που εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα δεν ελέγχεται, αλλά εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες του αναπνευστικού συστήματος.
- ▶ Για παράδειγμα, για δεδομένη χορηγούμενη πίεση, όσο πιο δύσκαμπτο (χαμηλής ενδοτικότητας,  $\text{compliance} = dV/dP$ ) είναι το αναπνευστικό σύστημα, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος που λαμβάνει ο ασθενής.
- ▶ Επειδή ο αναπνευστήρας χορηγεί στον ασθενή σταθερή εισπνευστική πίεση για προεπιλεγμένο χρονικό διάστημα (χρόνος εφαρμογής θετικής πίεσης,  $\text{set } T_i$ ), εισπνευστική ροή επιτυγχάνεται για όσο χρόνο η χορηγούμενη πίεση είναι μεγαλύτερη της ενδοκυψελιδικής.

# ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΠΙΕΣΗΣ - PRESSURE CONTROL VENTILATION

- ▶ Στην αρχή του χρόνου εφαρμογής θετικής πίεσης το αναπνευστικό σύστημα βρίσκεται στον τελοεκπνευστικό του όγκο και η ενδοκυψελιδική πίεση είναι χαμηλή.
- ▶ Όσο εκπύσσεται το αναπνευστικό σύστημα από την είσοδο του εισπνεόμενου μείγματος, τόσο αυξάνεται η ενδοκυψελιδική πίεση λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του αναπνευστικού συστήματος, (όσο αυξάνεται ο όγκος του αναπνευστικού συστήματος τόσο αυξάνεται η πίεση επαναφοράς - recoil pressure).
- ▶ Αν η ενδοκυψελιδική πίεση εξισωθεί με τη χορηγούμενη πίεση πριν το τέλος του χρόνου εφαρμογής θετικής πίεσης, τότε στο σημείο αυτό η εισπνευστική ροή μηδενίζεται.
- ▶ Ο αναπνεόμενος όγκος έχει ήδη χορηγηθεί και ο αναπνευστήρας συνεχίζει να χορηγεί πίεση χωρίς αυτή να μπορεί να οδηγήσει σε εισπνευστική ροή, απαγορεύοντας όμως την εκπνοή, μέχρι τη λήξη του χρόνου εφαρμογής θετικής πίεσης. Η περίοδος αυτή λειτουργεί ως παύση (Trause). Στην περίπτωση αυτή, ο μόνος τρόπος αύξησης του αναπνεόμενου όγκου είναι η αύξηση της χορηγούμενης από τον αναπνευστήρα πίεσης.





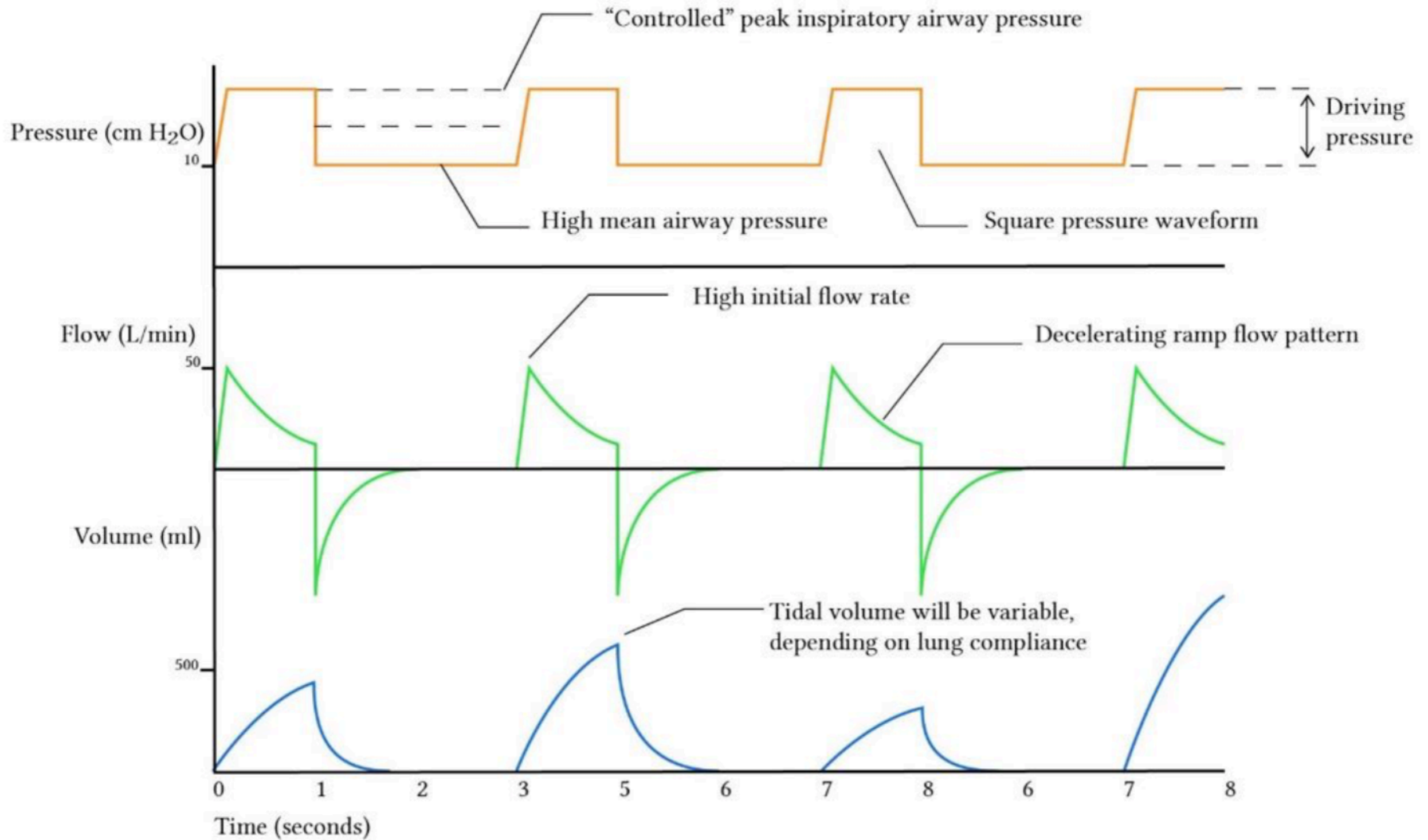
- ▶ Στο pressure control ρυθμίζεται και η ελάχιστη αναπνευστική συχνότητα (set respiratory rate, set RR).
- ▶ Όταν ο ασθενής βρίσκεται σε βαθιά καταστολή ή/και μυοχάλαση και ως εκ τούτου δεν κάνει εισπνευστικές προσπάθειες (pressure control), τότε ο αναπνευστήρας θα του χορηγήσει ανά λεπτό όσες αναπνοές έχουν ρυθμιστεί από την ελάχιστη αναπνευστική συχνότητα.

Ο ολικός χρόνος αναπνοής (Total time,  $T_{tot}$ ) είναι το άθροισμα του χρόνου εισπνοής ( $T_i$ ) και του χρόνου εκπνοής ( $T_e$ ), δηλαδή:  $T_{tot} = T_i + T_e$

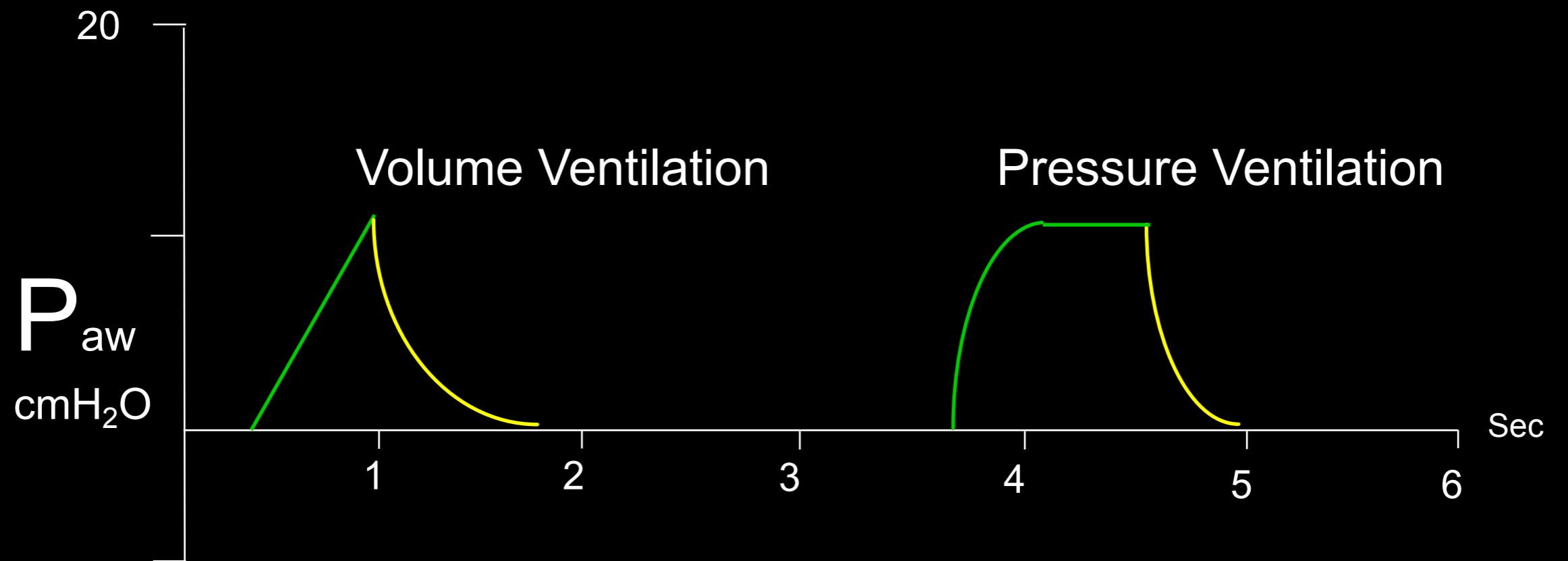
Ο χρόνος εισπνοής είναι είτε ο set  $T_i$  ή βραχύτερος, αν εξισωθούν νωρίτερα η χορηγούμενη και η ενδοκυψελιδική πίεση

- ▶ Όταν ο ασθενής κάνει δικές του αναπνευστικές προσπάθειες ([assist pressure control](#)), τότε η οδηγός πίεση για την είσοδο του εισπνεόμενου μείγματος στον ασθενή είναι το άθροισμα της χορηγούμενης από τον αναπνευστήρα πίεσης και της πίεσης που γεννά η εισπνευστική προσπάθεια του ασθενούς.
- ▶ Η πίεση αυτή μπορεί να αυξομειώνεται σε κάθε εισπνευστική προσπάθεια, με συνέπεια να μεταβάλλεται ο αναπνεόμενος όγκος και ο χρόνος εισπνοής.

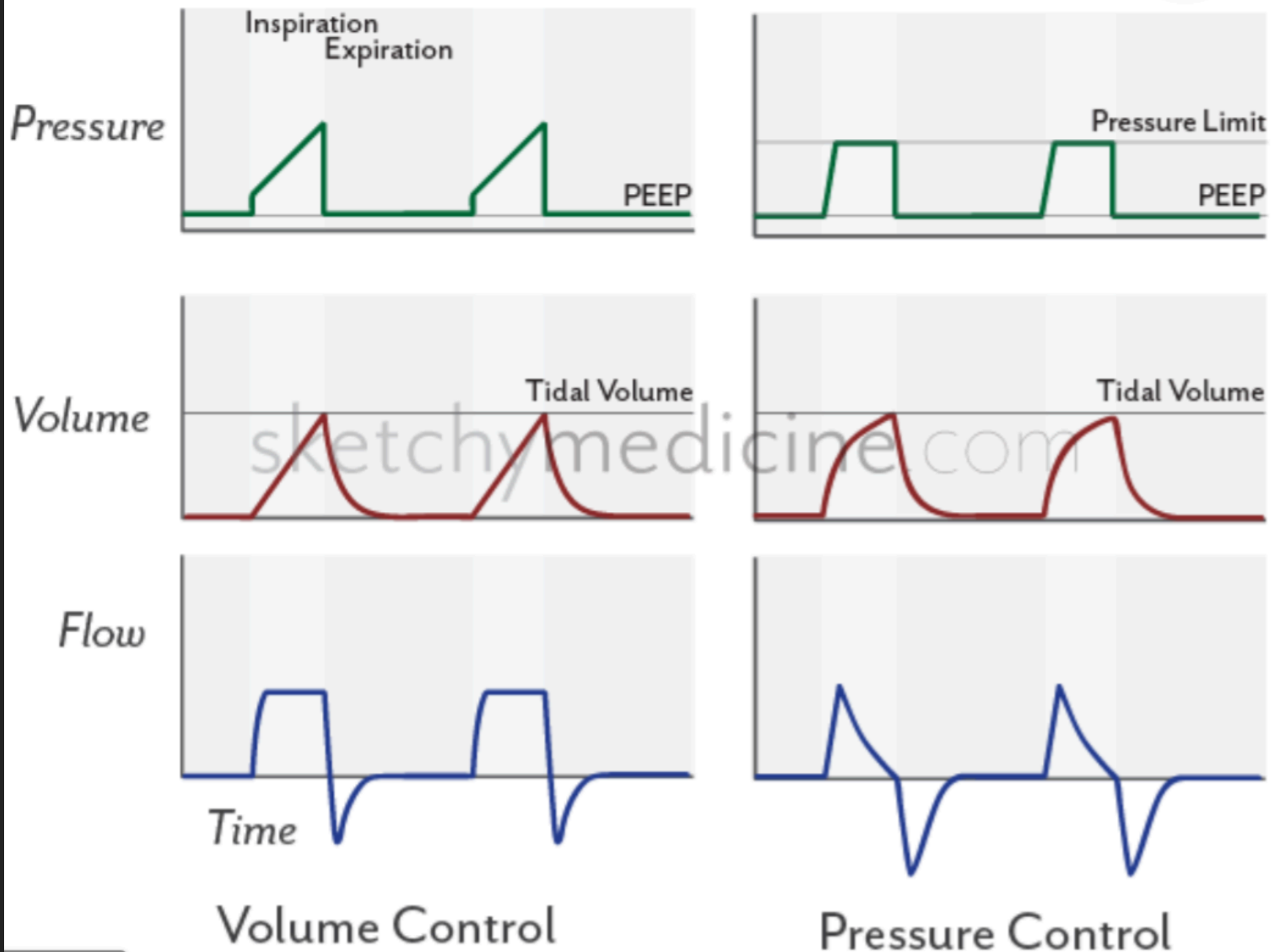
# PRESSURE CONTROLLED VENTILATION



# Pressure-Time Curve



# Common Ventilator Modes

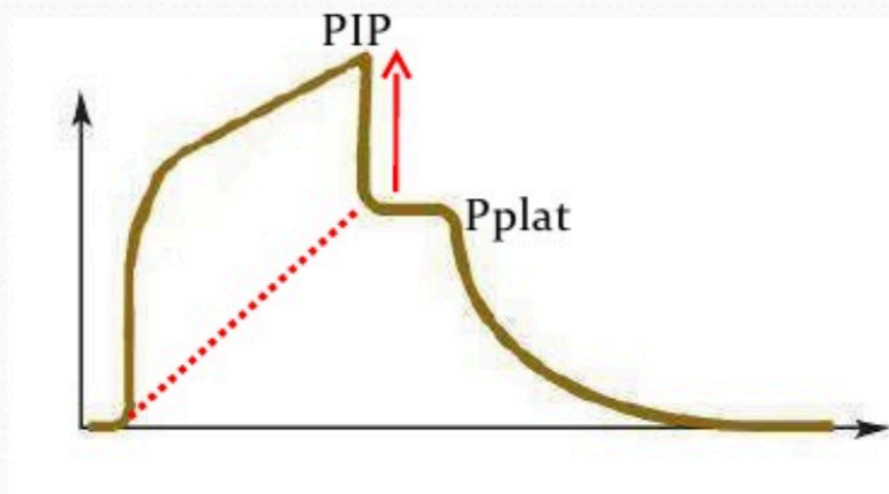


## Pressure/Time Scalar



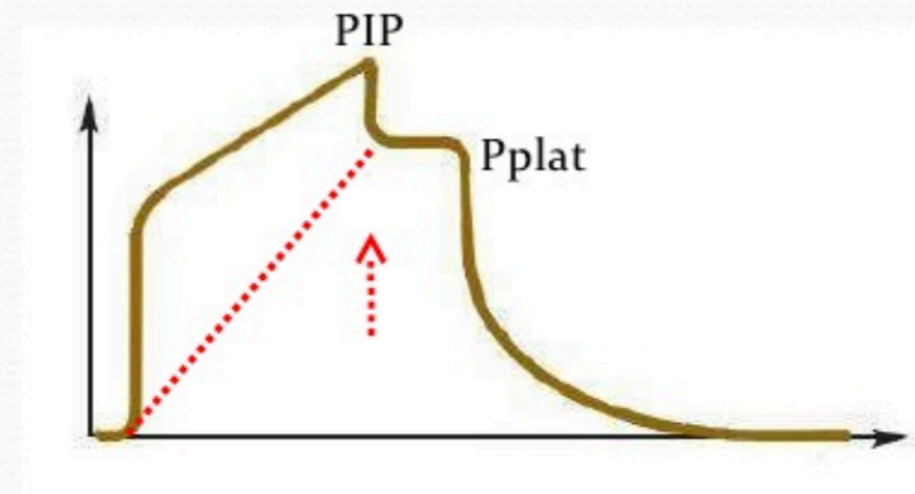
Increased Airway Resistance

A.



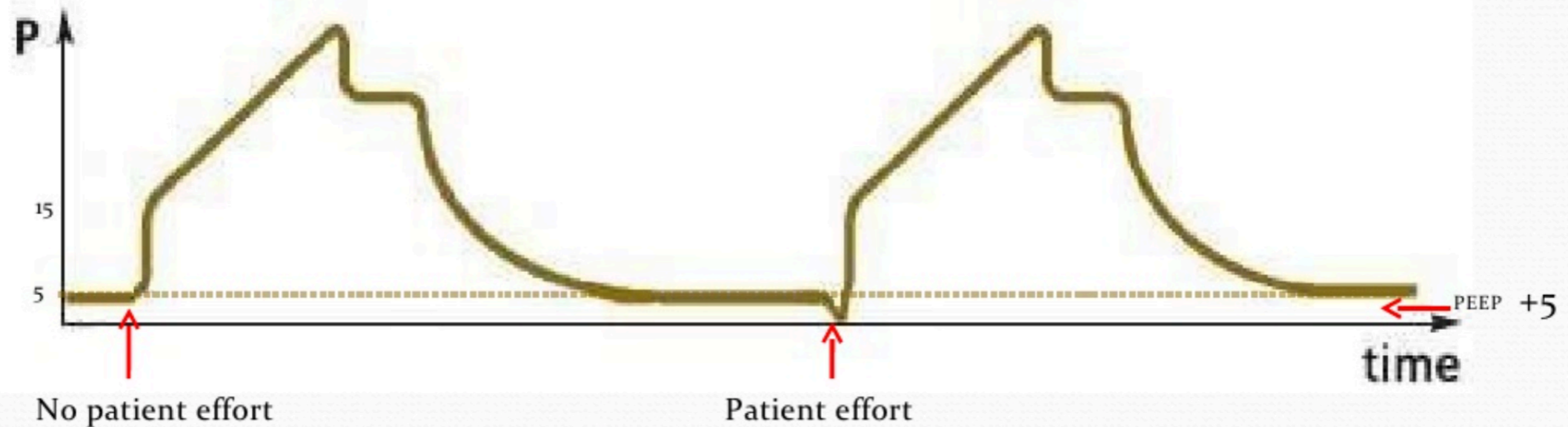
Decreased Compliance

B.



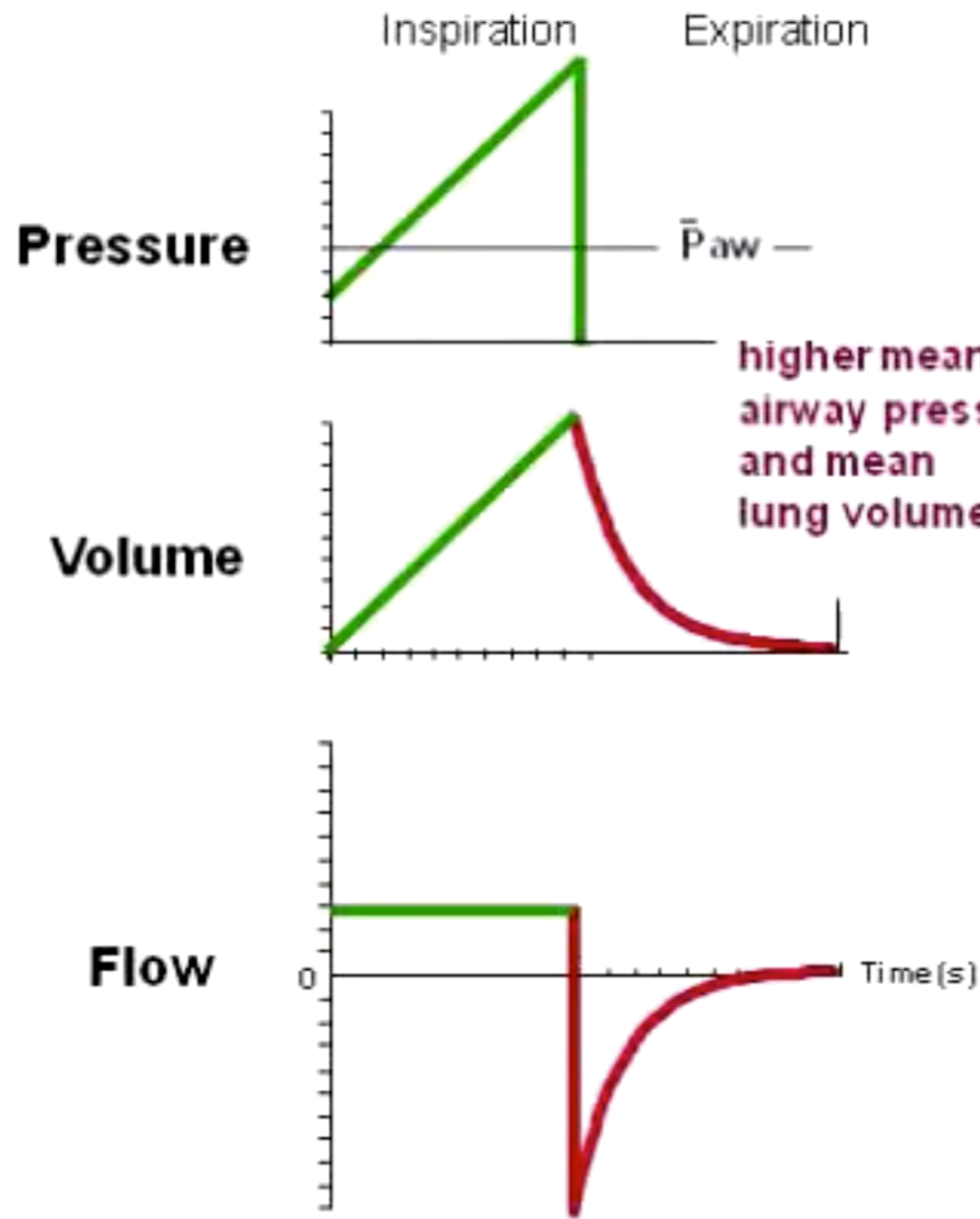
- A-An increase in airway resistance causes the PIP to increase, but Pplat pressure remains normal.
- B-A decrease in lung compliance causes the entire waveform to increase in size.

## Pressure/Time Scalar

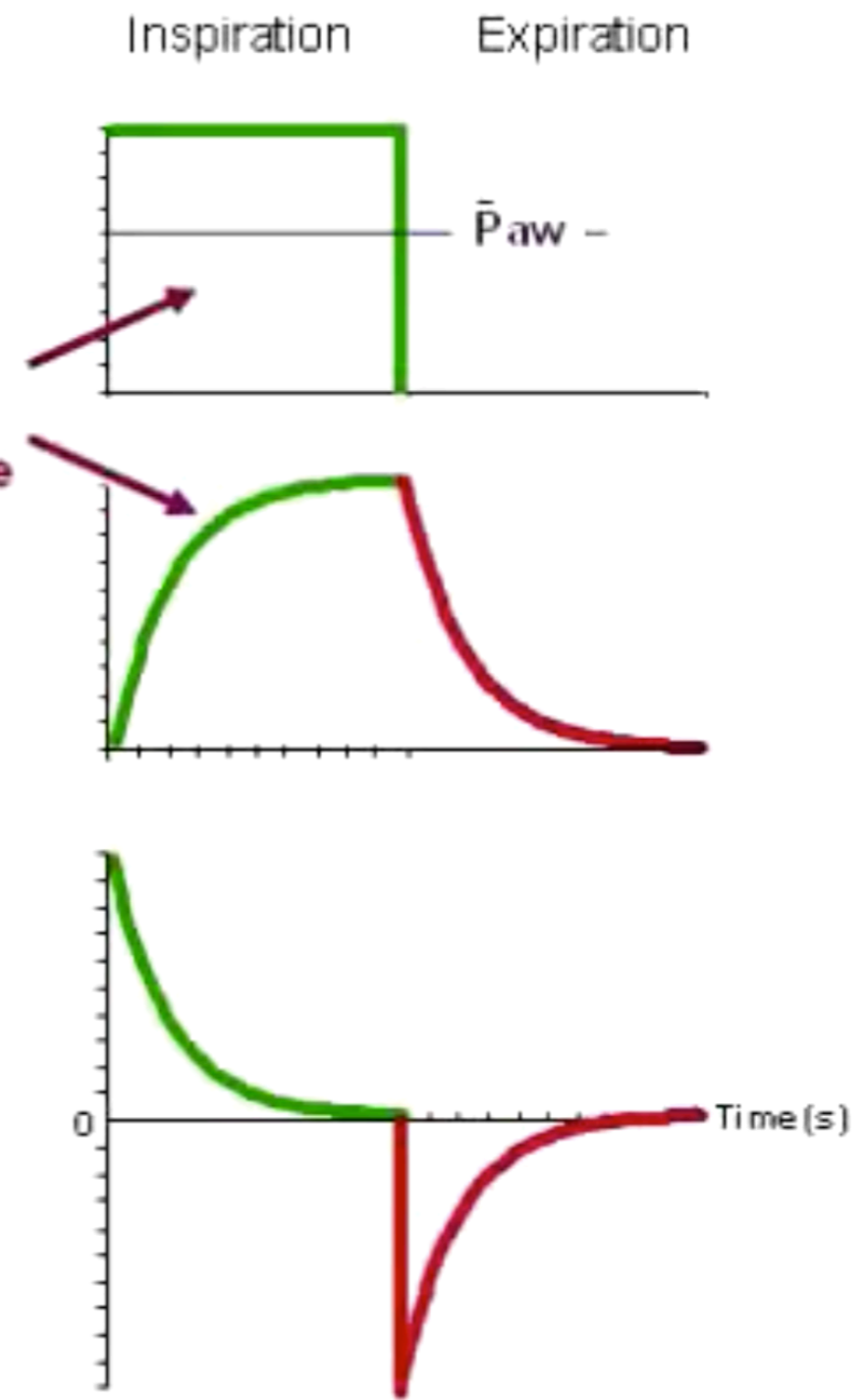


- The baseline for the pressure waveform increases when PEEP is added.
- There will be a negative deflection just before the waveform with patient

## Volume/Flow Control

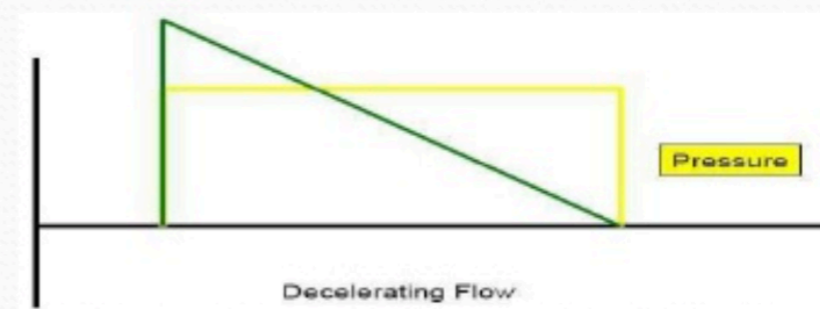
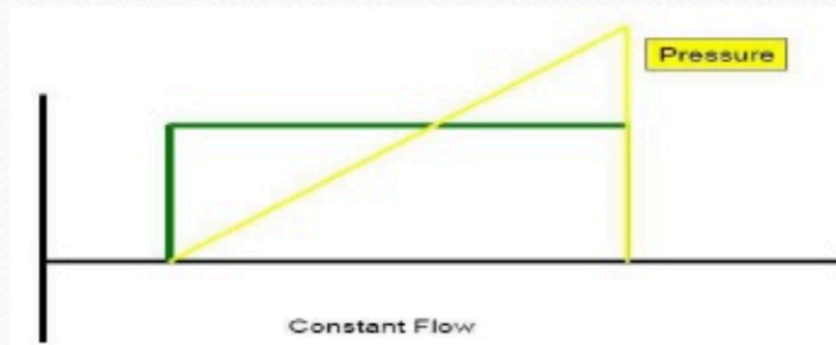


## Pressure Control



higher mean  
airway pressure  
and mean  
lung volume

# Flow/Time Scalar



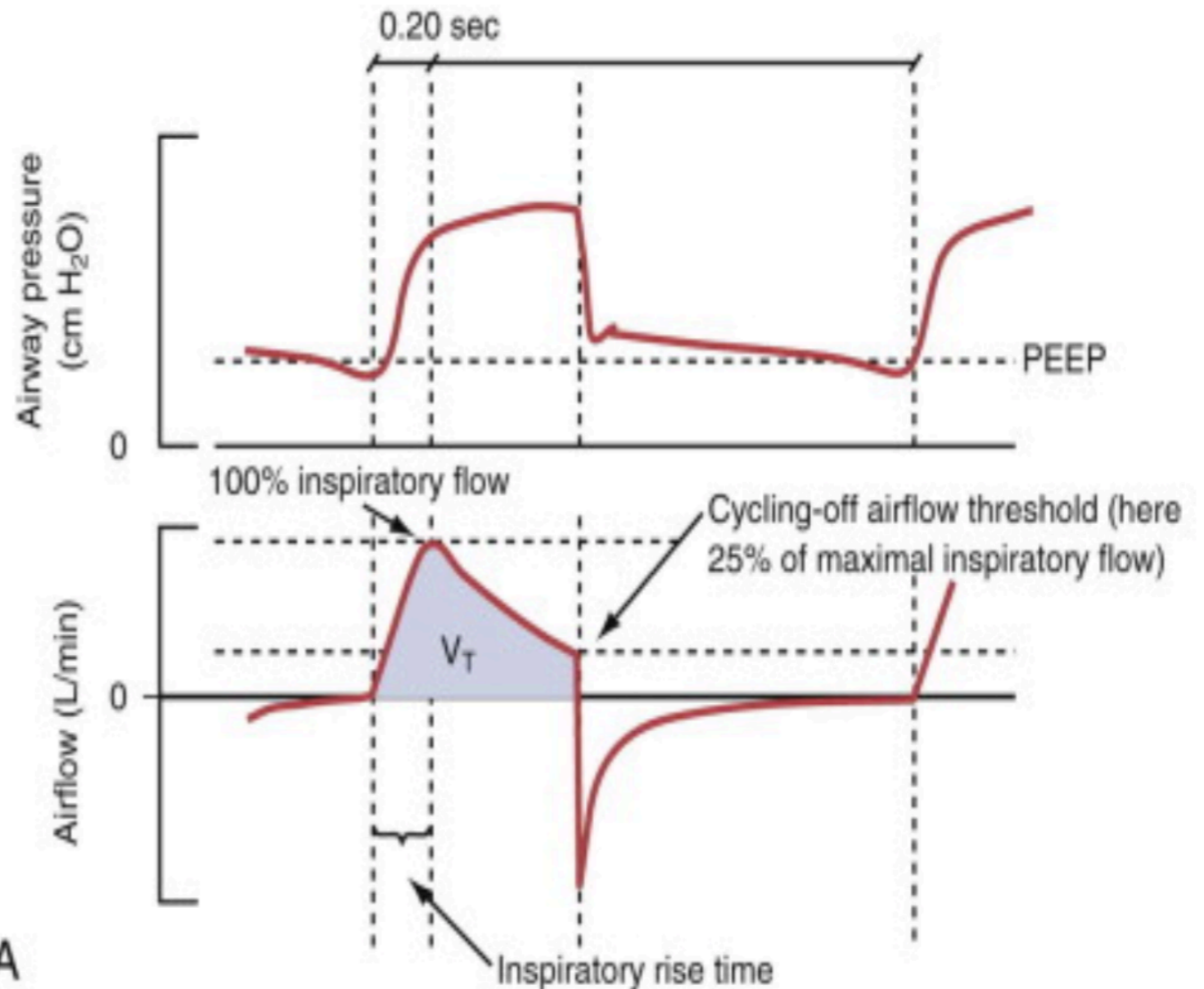
- The decelerating flow pattern may be preferred over the constant flow pattern. The same tidal volume is delivered, but with a lower peak pressure.

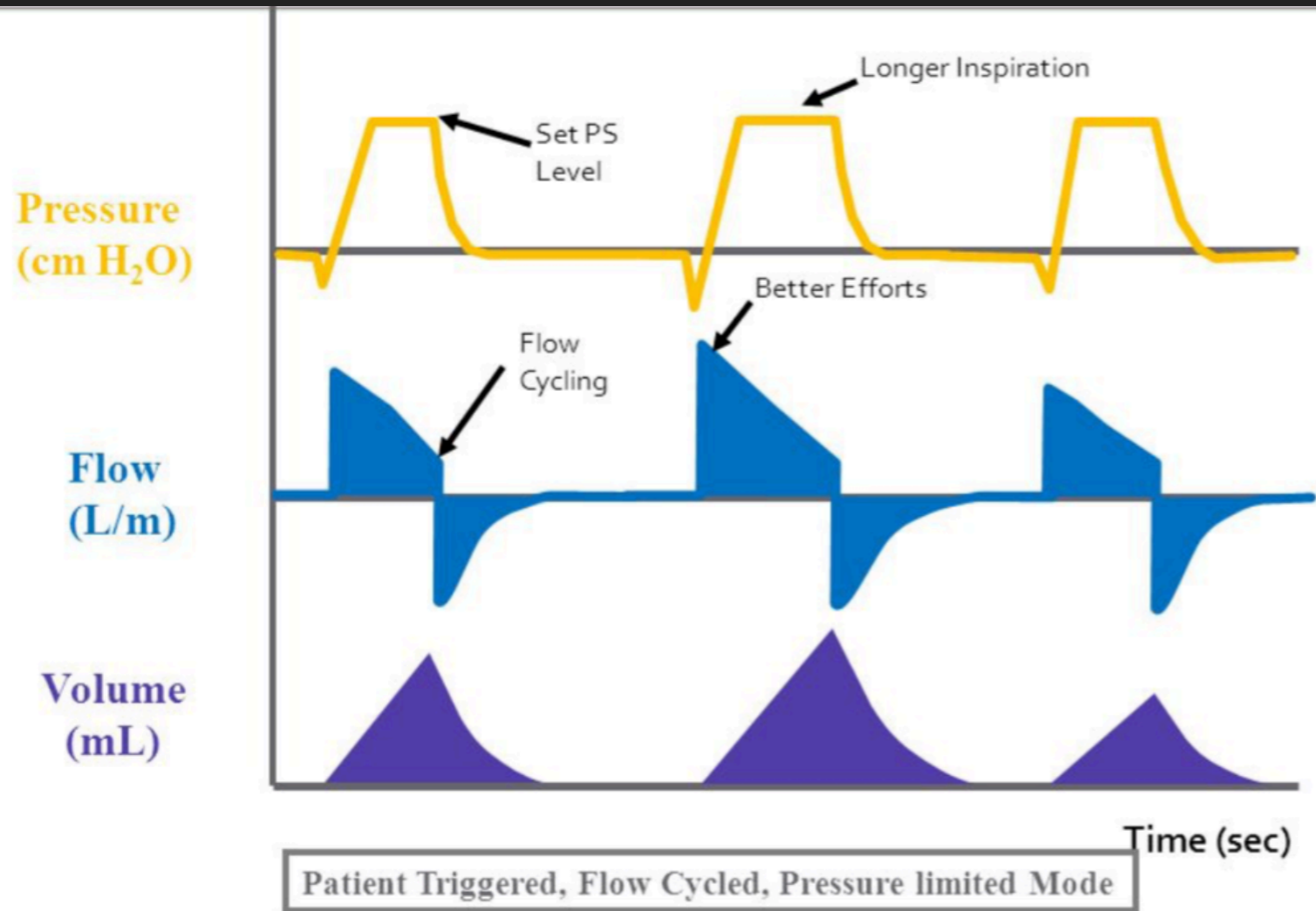


- ▶ Ο ασθενής κάνει δικές του αναπνευστικές προσπάθειες.
- ▶ Ο αναπνευστήρας χορηγεί στον ασθενή μια προεπιλεγμένη σταθερή πίεση σε κάθε εισπνοή όμοια με το pressure control.
- ▶ Ο χρόνος που διαρκεί η χορήγηση της θετικής πίεσης δεν είναι προκαθορισμένος, δεν υπάρχει δηλαδή set  $T_i$ , αλλά εξαρτάται από τη διάρκεια της αναπνευστικής προσπάθειας του ασθενούς και τις ρυθμίσεις του αναπνευστήρα.
- ▶ Αυτό συμβαίνει διότι το κριτήριο τερματισμού της χορήγησης θετικής πίεσης από τον αναπνευστήρα (cycling-off criterion) είναι η πτώση της εισπνευστικής ροής κάτω από ένα προκαθορισμένο ποσοστό της μέγιστης ροής που επιτεύχθηκε κατά τη διάρκεια της εισπνοής.
- ▶ Η λογική του pressure support είναι να συγχρονίσει όσο καλύτερα γίνεται τη διάρκεια χορήγησης πίεσης με την εισπνευστική προσπάθεια του ασθενούς.

# PRESSURE SUPPORT VENTILATION

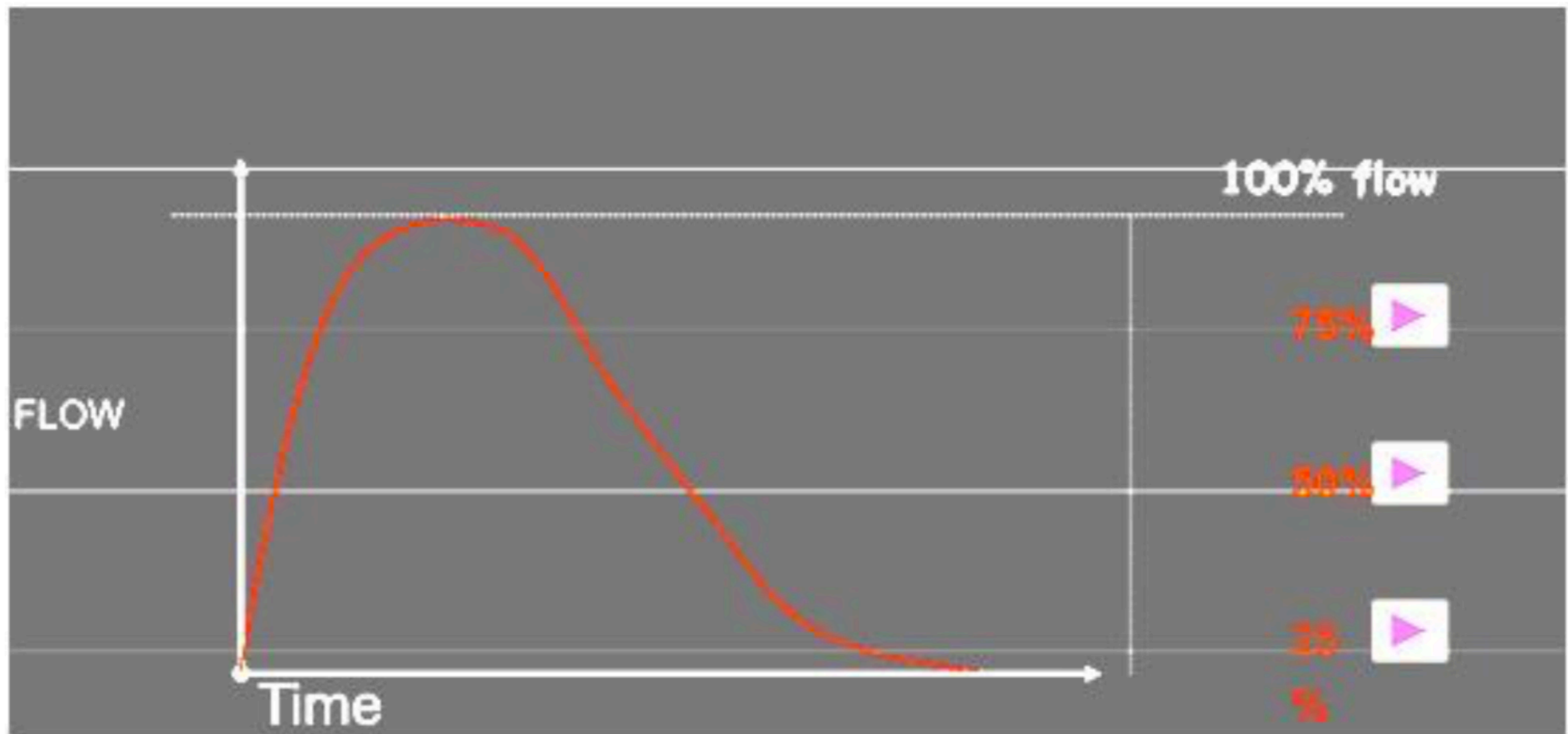
- ▶ Στην αρχή της εισπνοής το αναπνευστικό σύστημα βρίσκεται στον τελοεκπνευστικό του όγκο και η ενδοκυψελιδική πίεση είναι χαμηλή.
- ▶ Όσο εκπτύσσεται το αναπνευστικό σύστημα από την είσοδο του εισπνεόμενου μείγματος, τόσο αυξάνεται η ενδοκυψελιδική πίεση λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του αναπνευστικού συστήματος.
- ▶ Όσο αυξάνεται ο όγκος του αναπνευστικού συστήματος, αυξάνεται η πίεση επαναφοράς (recoil pressure)





Όταν ο ασθενής τερματίσει την εισπνευστική προσπάθεια, η οδηγός πίεση ελαχιστοποιείται διότι παραμένει μόνο η χορηγούμενη από τον αναπνευστήρα πίεση. Η ενδοκυψελιδική πίεση είναι πλέον μεγάλη και άρα η εισπνευστική ροή ελαχιστοποιείται. Συνεπώς η εισπνευστική ροή μειώνεται κάτω από το προκαθορισμένο ποσοστό-ουδό της μέγιστης ροής που επετεύχθη κατά τη διάρκεια της εισπνοής (cycling-off criterion), χρονικά κοντά στο τέλος της εισπνευστικής προσπάθειας του ασθενούς. Στο σημείο αυτό ο αναπνευστήρας παύει να χορηγεί πίεση και επιτρέπει την εκπνοή του ασθενούς

- ▶ Η οδηγός πίεση για την είσοδο του εισπνεόμενου μείγματος στον ασθενή είναι το **άθροισμα της χορηγούμενης πίεσης από τον αναπνευστήρα και της πίεσης που γεννά η εισπνευστική προσπάθεια του ασθενούς.**
- ▶ Συνεπώς, η μέγιστη εισπνευστική ροή επιτυγχάνεται λίγο μετά την έναρξη της εισπνοής, όταν η εισπνευστική προσπάθεια του ασθενούς είναι μέγιστη και η ενδοκυψελιδική πίεση μικρή.
- ▶ Όσο συνεχίζεται η εισπνευστική προσπάθεια, ο αναπνευστήρας χορηγεί την προκαθορισμένη πίεση και συνεχίζεται η εισπνευστική ροή, η οποία όμως συνεχώς μειώνεται. Αυτό συμβαίνει καθώς το αναπνευστικό σύστημα όσο αυξάνει ο όγκος αντιστέκεται περισσότερο στην περαιτέρω έκπτυξή του διότι αυξάνεται η ενδοκυψελιδική πίεση



Το τέλος της μηχανικής εισπνοής, δηλαδή της χορήγησης πίεσης, στον μηχανικό αερισμό υποστήριξης πίεσης (*pressure support*) εξαρτάται από το προκαθορισμένο ποσοστό-ουδότης μέγιστης εισπνευστικής ροής (εν προκειμένω το προκαθορισμένο ποσοστό-ουδός είναι 25% της μέγιστης εισπνευστικής ροής). Η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στην εισπνευστική ροή. *Flow*: ροή αέρα, *Time*: χρόνος, *T.I.*: εισπνευστικός (μηχανικός) χρόνος (δηλαδή ο χρόνος που ο αναπνευστήρας εφαρμόζει την πίεση), *Expiratory threshold*: προκαθορισμένο ποσοστό-ουδός της μέγιστης εισπνευστικής ροής.

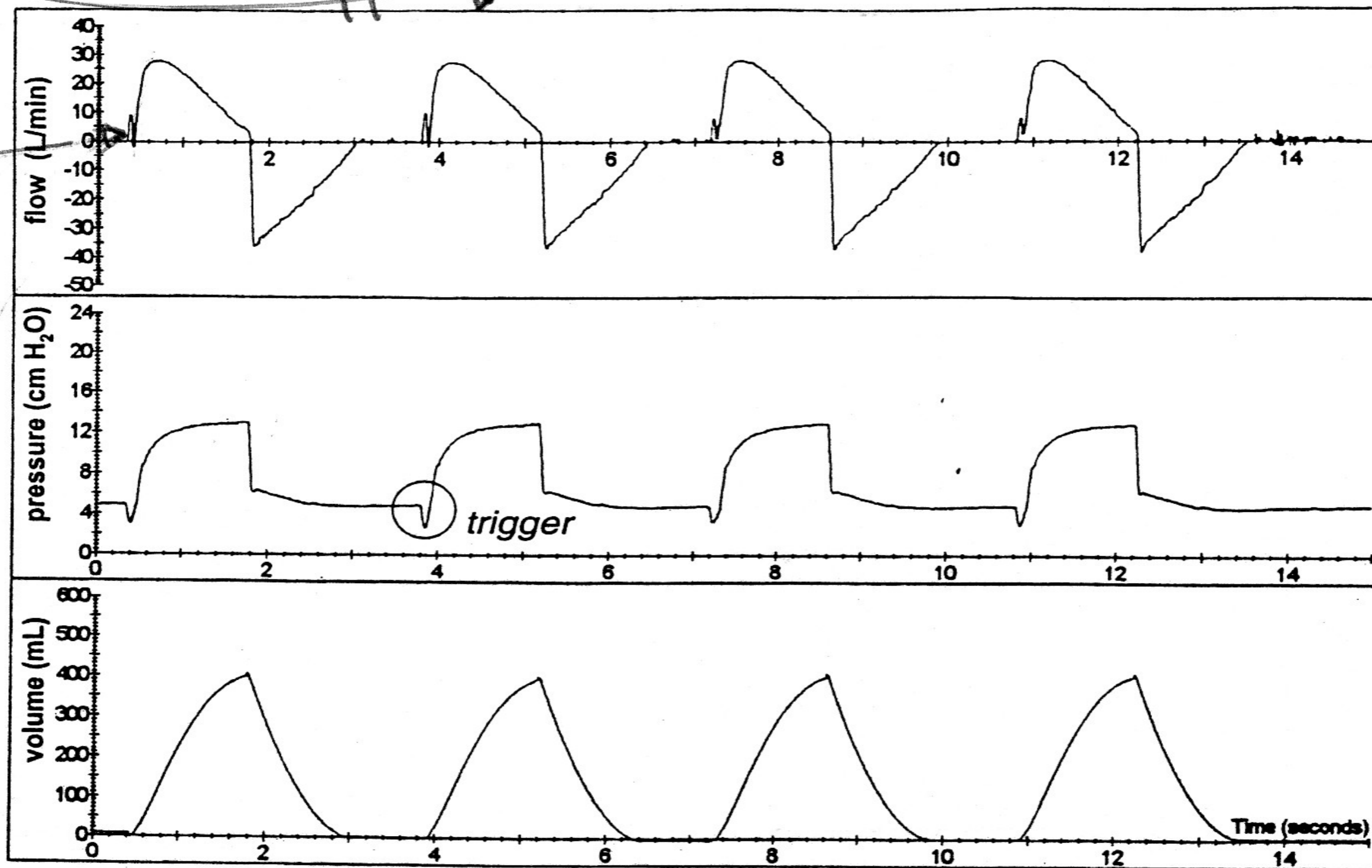
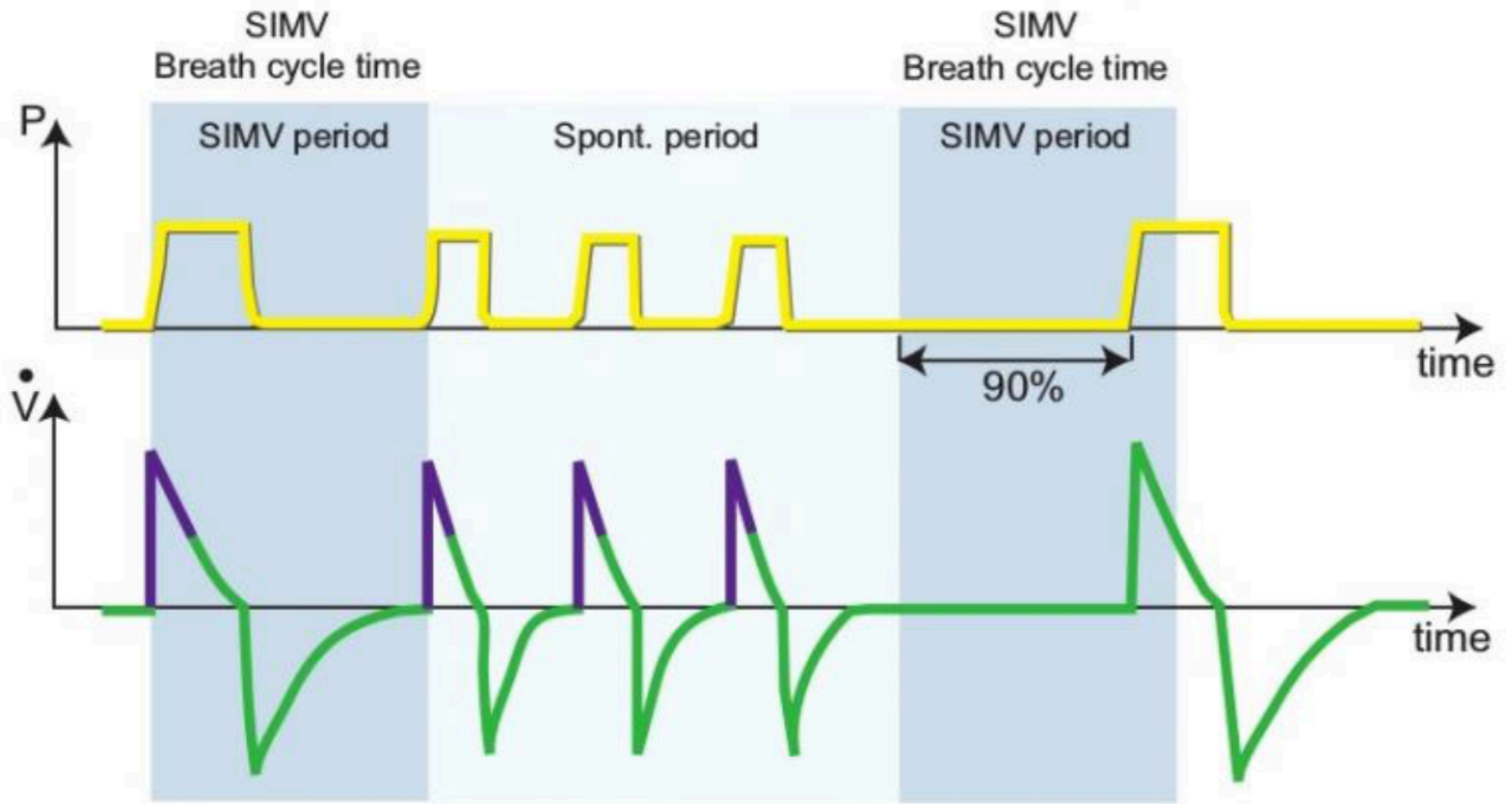


Figure 4-5 Pressure support ventilation. Note that every breath is triggered by the patient and flow cycled.

- ▶ Ταιριάζει περισσότερο με τη φυσιολογική αναπνοή
- ▶ Αποτελεσματικός τρόπος υποβοήθησης των αναπνευστικών μυών.
- ▶ Η υποβοήθηση είναι συνεχής σε κάθε εισπνευστική προσπάθεια και το αναπνευστικό κέντρο έχει τη δυνατότητα να την αντιληφθεί και να μειώσει ανάλογα την νευρική διέγερση προς τους αναπνευστικούς μύες
- ▶ Επιτρέπει τη μείωση της καταστολής λόγω της δυνατότητας βέλτιστης συνεργασίας ασθενούς-αναπνευστήρα συγκριτικά με τον ελεγχόμενο αερισμό (volume ή pressure control).

- ▶ Είναι ένα mode όπου ο ασθενής κάνει δικές του εισπνευστικές προσπάθειες και διαλειπόντως (intermittently) λαμβάνει έναν αριθμό υποχρεωτικών (mandatory) αναπνοών, συγχρονισμένων (synchronized) με τις εισπνευστικές προσπάθειες
- ▶ Στο SIMV ο αναπνευστήρας χορηγεί στον ασθενή έναν **αριθμό υποχρεωτικών (mandatory) αναπνοών**. Οι αναπνοές αυτές μπορεί να είναι είτε volume control είτε pressure control. Υπάρχει η δυνατότητα χορήγησης pressure support σε κάθε αυτόματη αναπνοή (SIMV/PS)





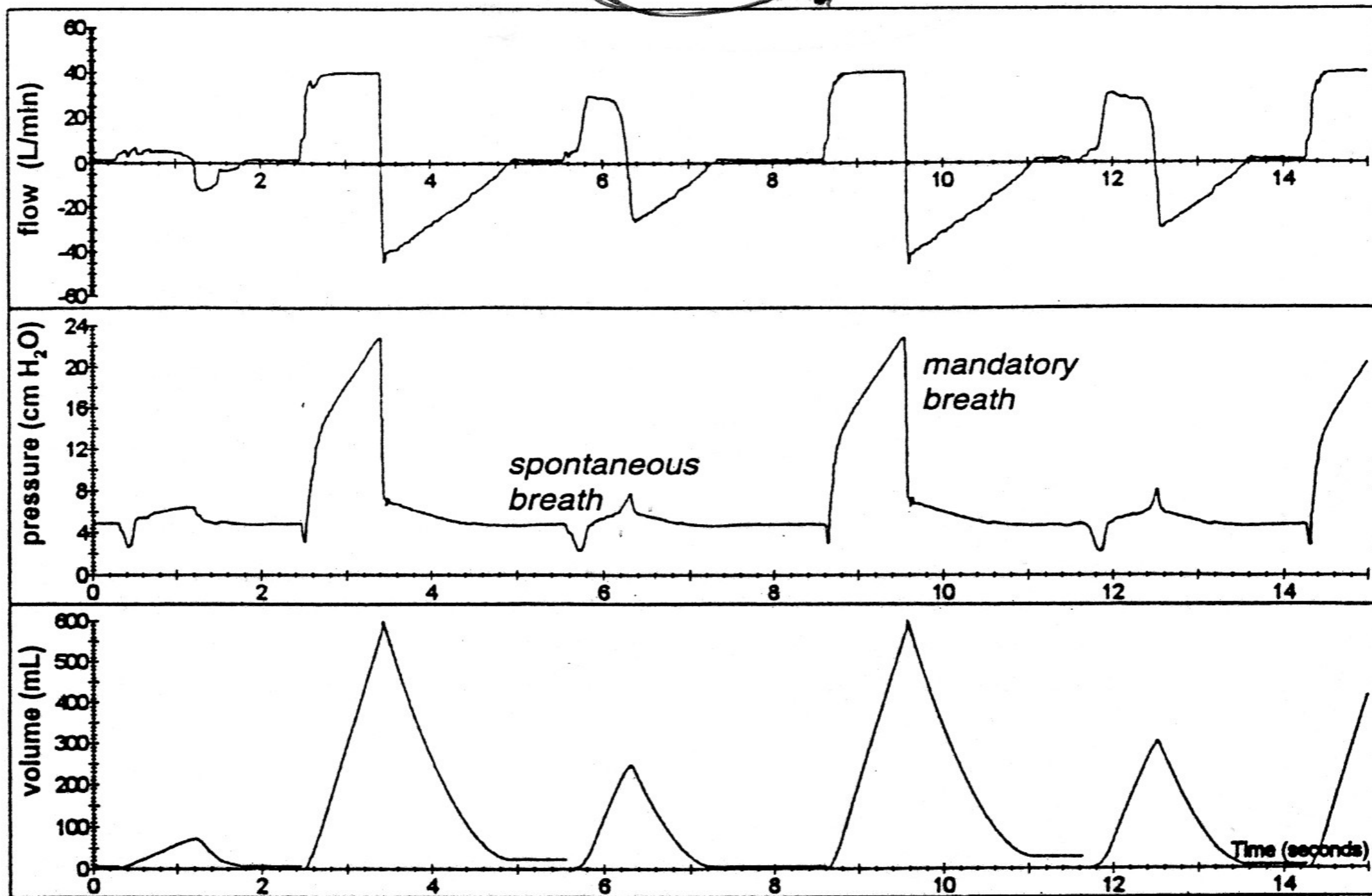
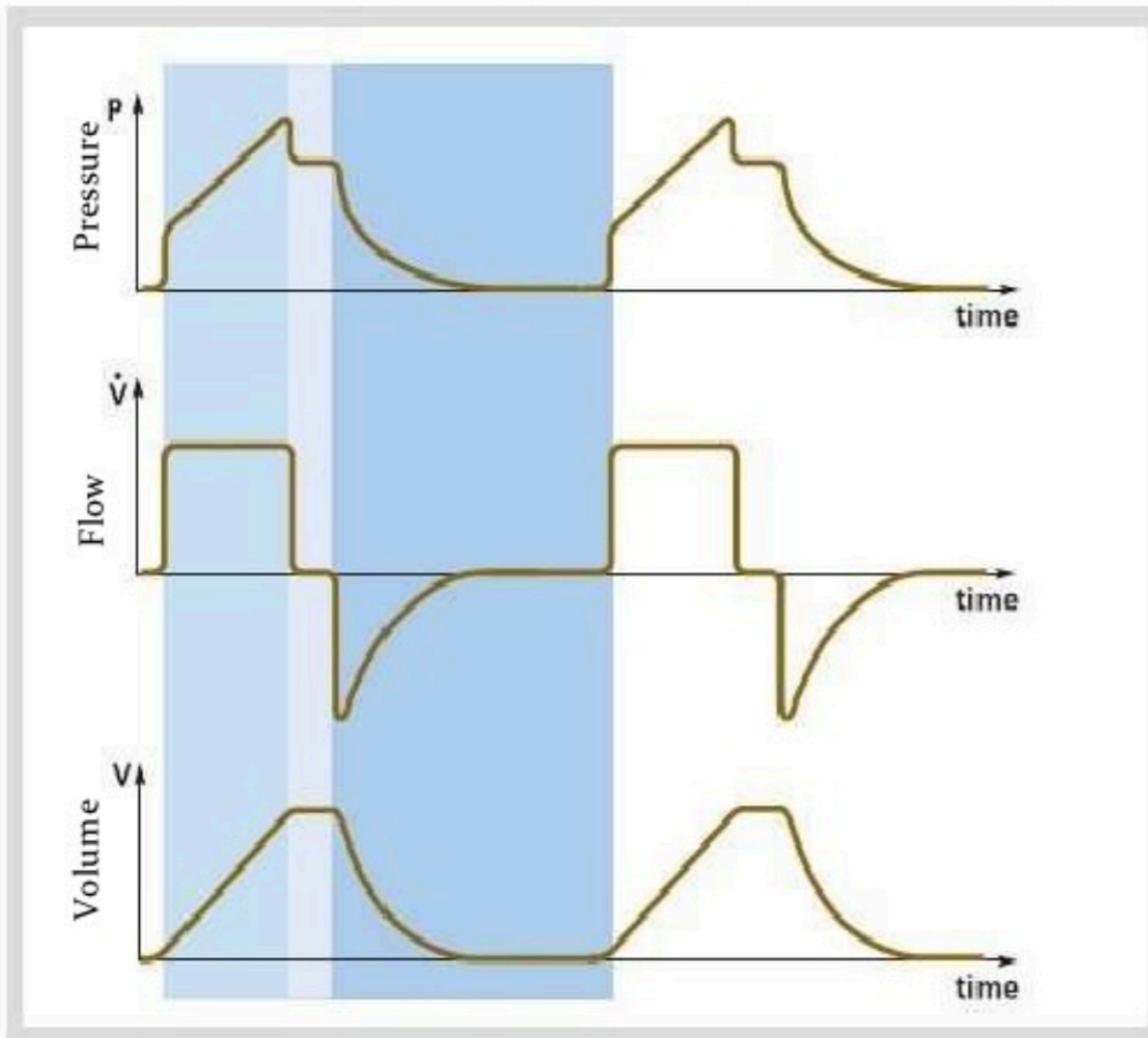


Figure 4-6 Synchronized intermittent mandatory ventilation illustrating mandatory and spontaneous breaths. The mandatory breaths are volume-controlled.

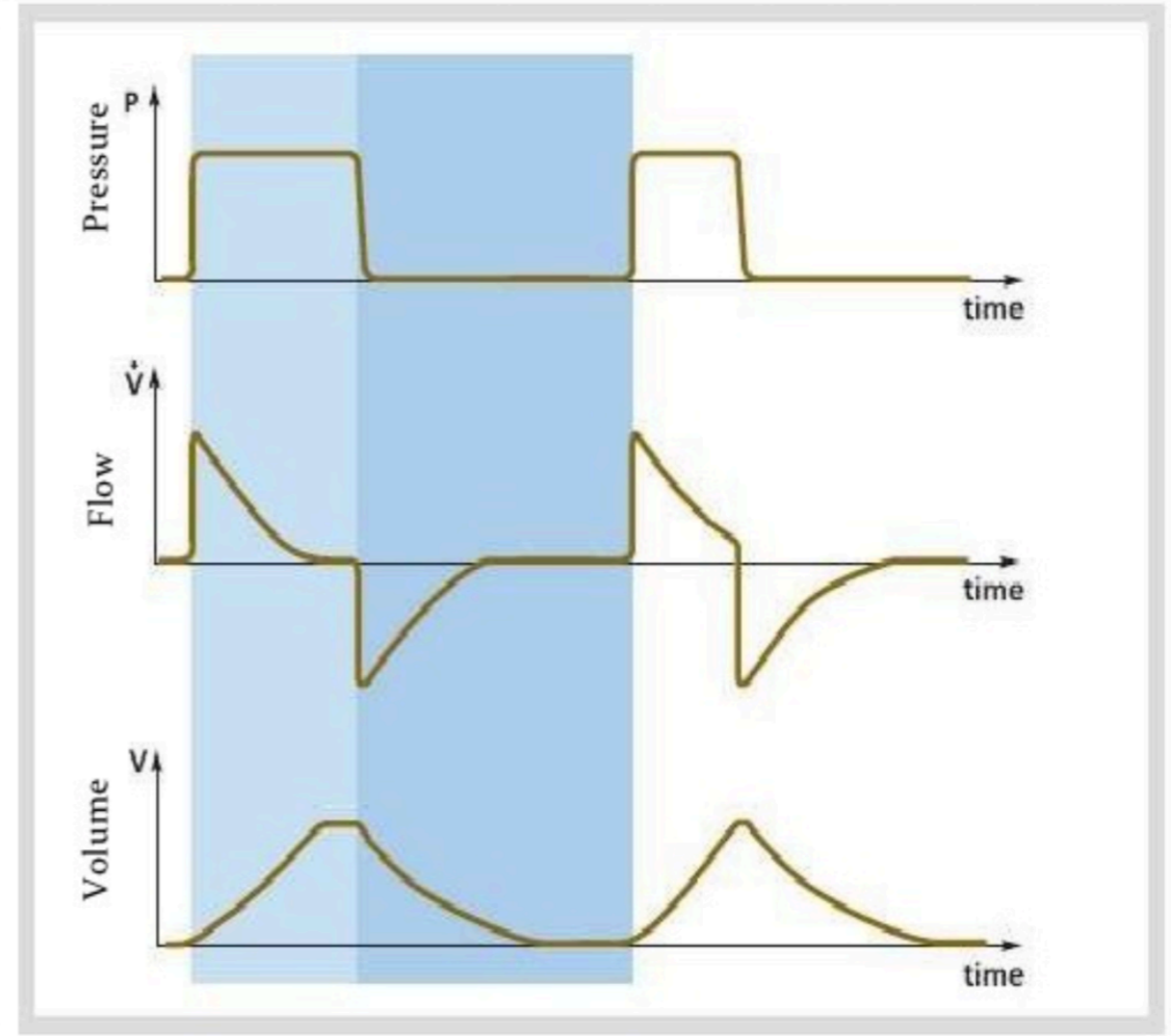
# Types of Waveforms

## Volume Modes



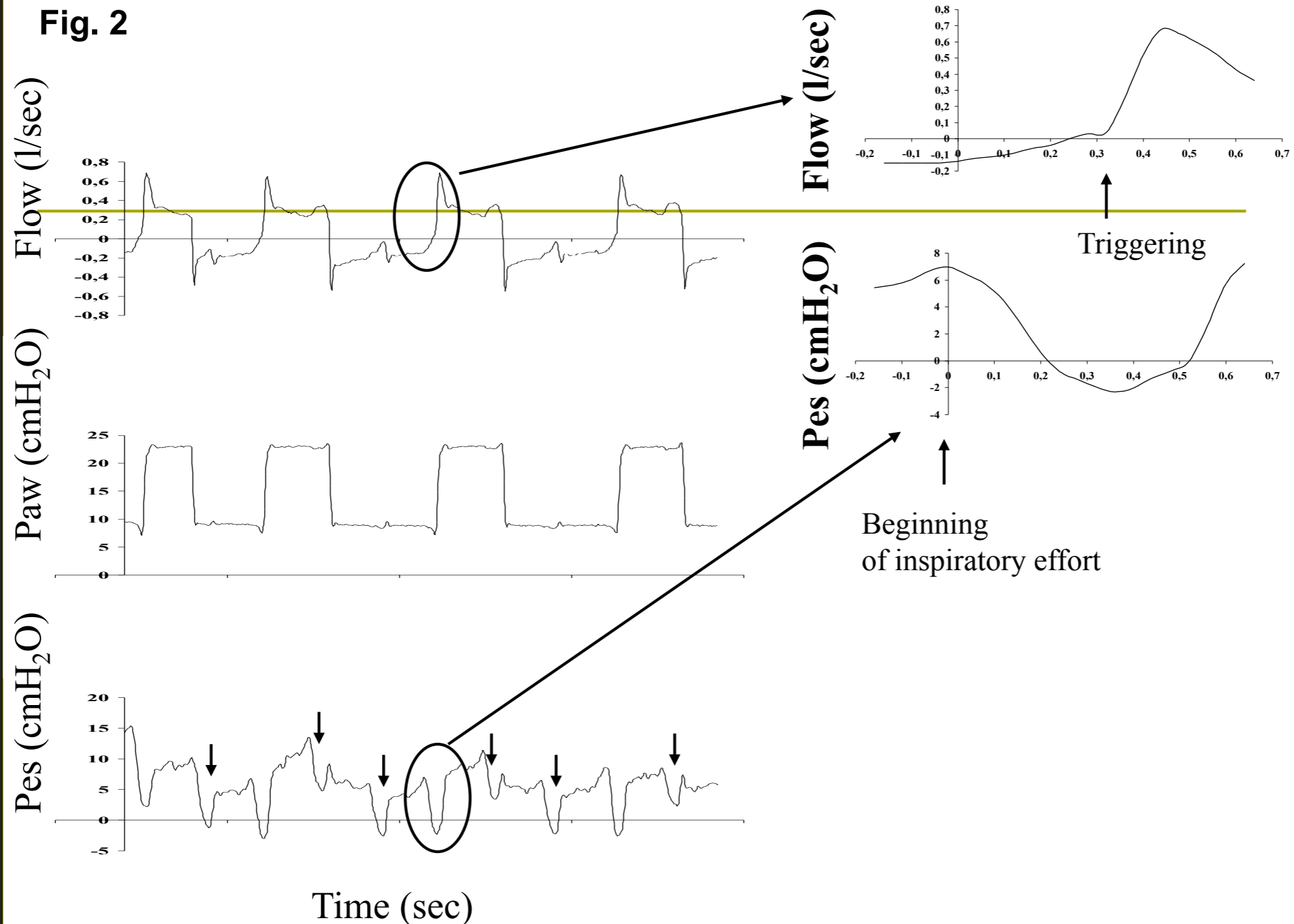
Volume Control/ SIMV (Vol. Control)

## Pressure Modes



Pressure Control/ PRVC  
SIMV (PRVC)  
SIMV (Press. Control)

Pressure Support/  
Volume Support



Μηχανικός Αερισμός 1

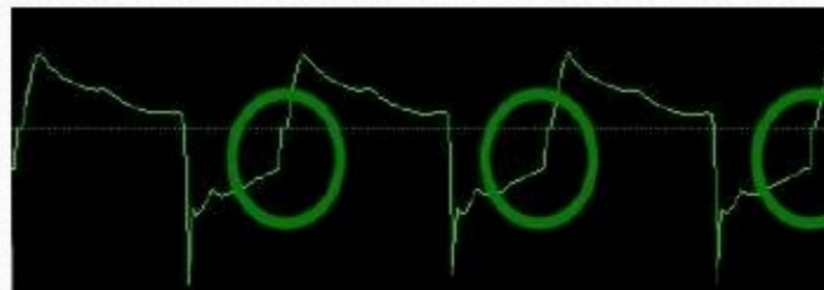
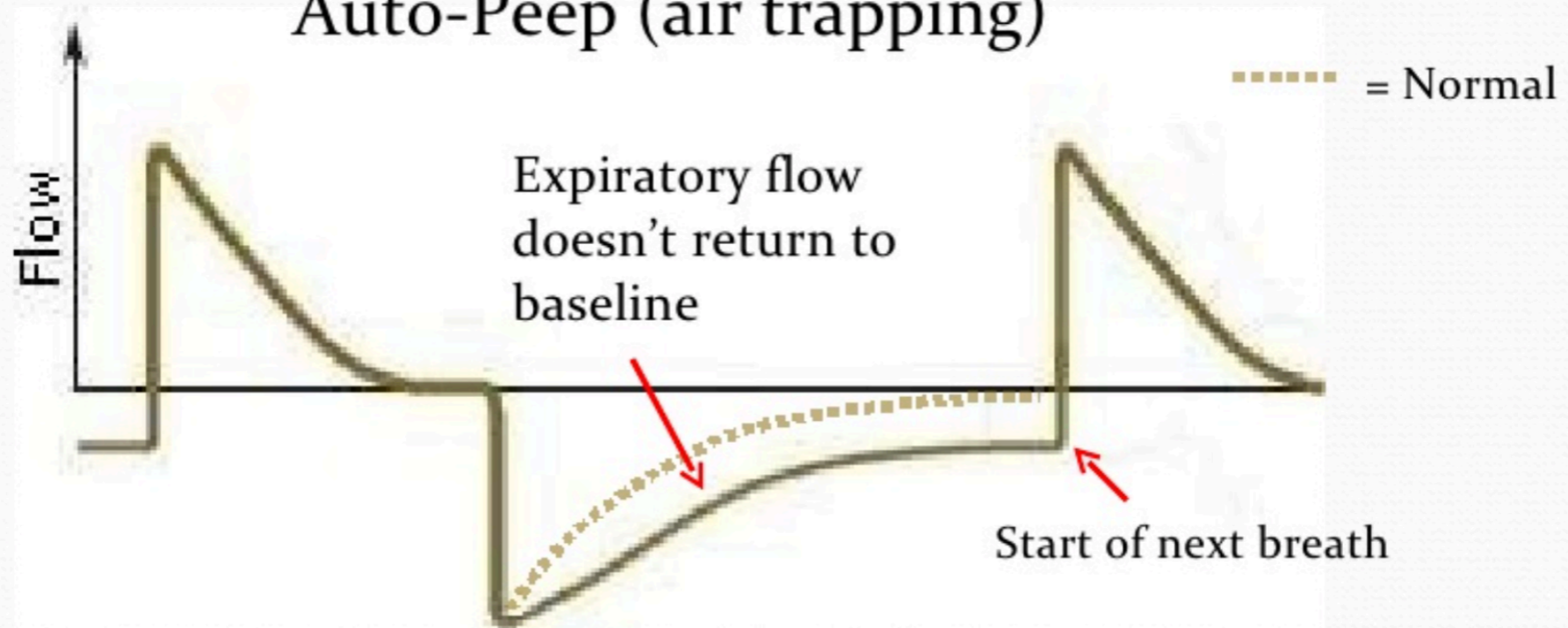
25

Ροή (εισπνοή θετική), πίεση αεραγωγών (Paw) και οισοφάγεια πίεση (Pes) σε ασθενή με αποφρακτική νόσο των πνευμόνων που αερίζεται με pressure support. Παρατηρείστε τη καθυστέρηση διέγερσης σε κάθε μηχανική αναπνοή. Σε μερικές αναπνοές σχεδόν όλη η εισπνευστική προσπάθεια καταναλώνεται για τη διέγερση του αναπνευστήρα (κυματομορφή ροής και οισοφάγεια πίεσης σε μεγέθυνση). Παρατηρείστε επίσης τις αναποτελεσματικές προσπάθειες (βέλη). Η συχνότητα του αναπνευστήρα είναι 12 αναπνοές/λεπτό ενώ η αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς είναι 35 αναπνοές/λεπτό.

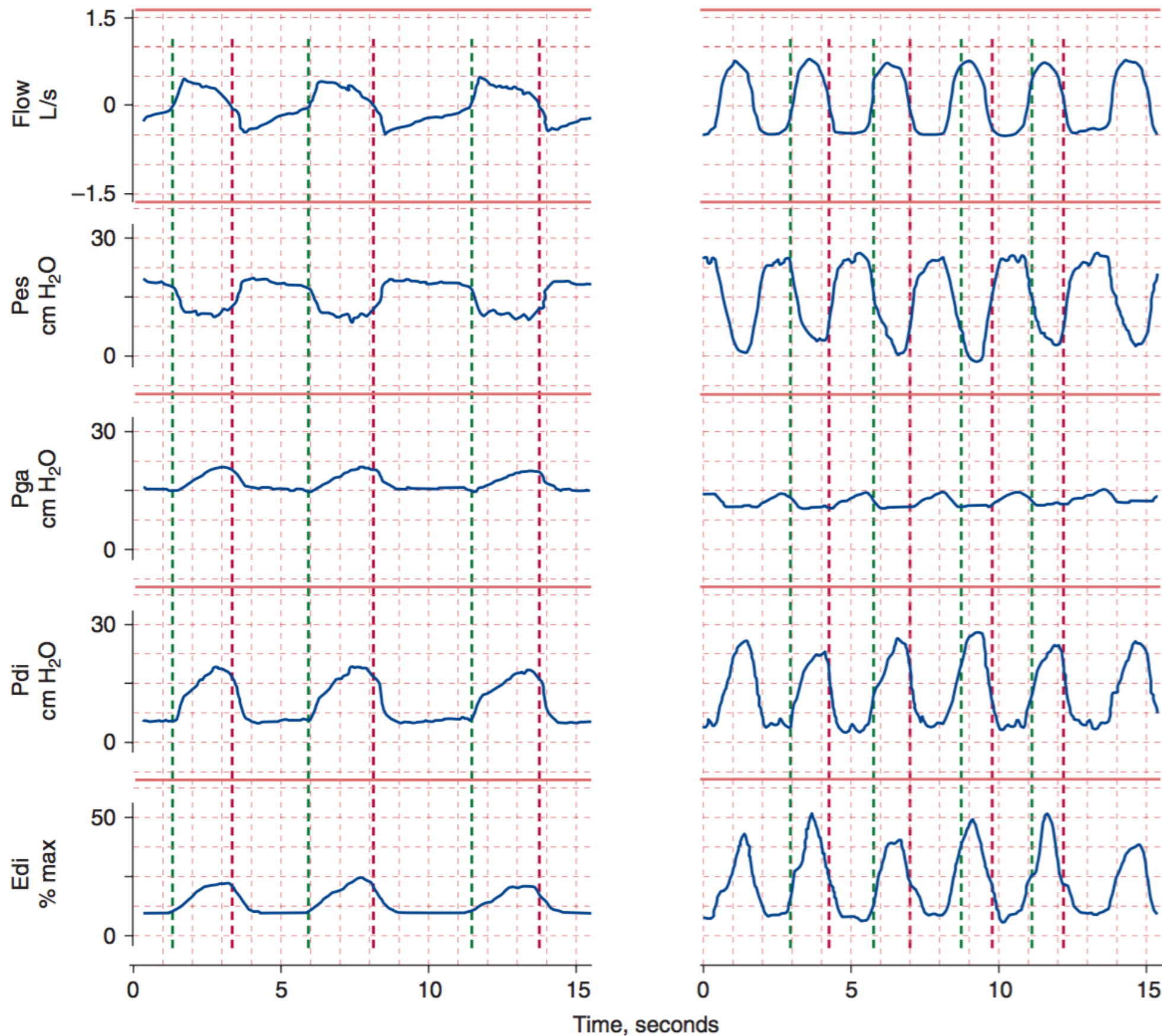
# Flow/Time Scalar



## Auto-Peep (air trapping)



- If expiratory flow doesn't return to baseline before the next breath starts, there's auto-PEEP (air trapping) present, e.g. emphysema.




**FIGURE 4-2** Respiratory effort during unassisted respiration. Recordings of flow (*inspiration upward*), esophageal (*Pes*), gastric (*Pga*), and transdiaphragmatic (*Pdi*) pressures and electrical activity of the diaphragm (*Edi*) in a stable patient with COPD (*left*) and in a patient with respiratory failure (*right*). The *green vertical lines* indicate the onset of inspiratory flow and the *red vertical lines* indicate the onset of expiratory flow. The excursions in *Pes* and *Edi* in the patient in respiratory failure are three times greater than in the stable patient, signifying heightened respiratory motor output. The increase in *Pga* during exhalation in the patient with respiratory failure signifies expiratory muscle recruitment.

- ▶ VILI (ventilation induced lung injury), volutrauma, barotrauma
- ▶ Πνευμονία (VAP-ventilation associated pneumonia)
- ▶ Νεφρική δεισλειτουργία - ΟΝΑ
- ▶ Υπόταση/Αιμοδυναμική αστάθεια
- ▶ Πολυοργανική ανεπάρκεια

## REVIEW

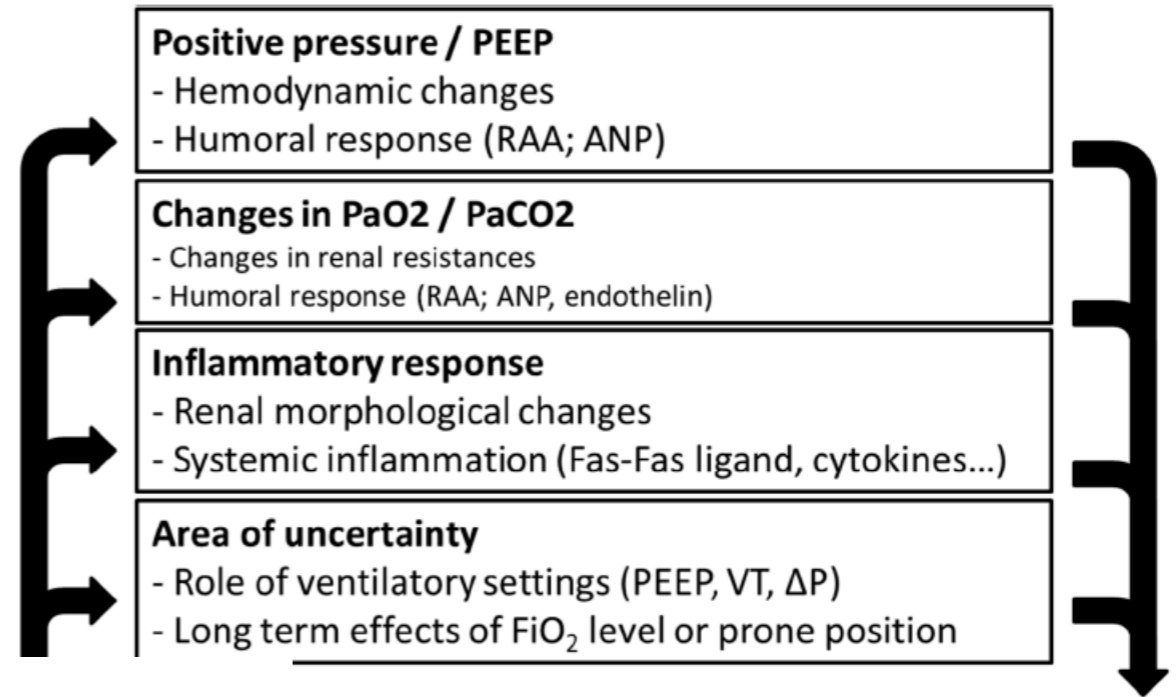


# The standard of care of patients with ARDS: ventilatory settings and rescue therapies for refractory hypoxemia

Thomas Bein<sup>1\*</sup> , Salvatore Grasso<sup>2</sup>, Onnen Moerer<sup>3</sup>, Michael Quintel<sup>3</sup>, Claude Guerin<sup>4,5</sup>, Maria Deja<sup>6</sup>, Anita Brondani<sup>7</sup> and Sangeeta Mehta<sup>7</sup>

© 2016 The Author(s). This article is published with open access at Springerlink.com

Barotrauma/pneumothorax	6–12 %	Depends on the invasiveness ( $P_{plat}$ ) of mechanical ventilation
Damage of other organ systems via cross talk	Not known exactly	Lung, brain, and—renal cross talk via inflammation pathways
Prolonged sedation and immobilization	Not known	Incidence and intensity depend on sedation strategy, (early) wake up, and spontaneous breathing trials
Fibroproliferative response of the lung parenchyma	Up to 50 % in the “lung-protective era”	Decrements in lung function (vital capacity, forced expiratory volume) up to 5 years after discharge

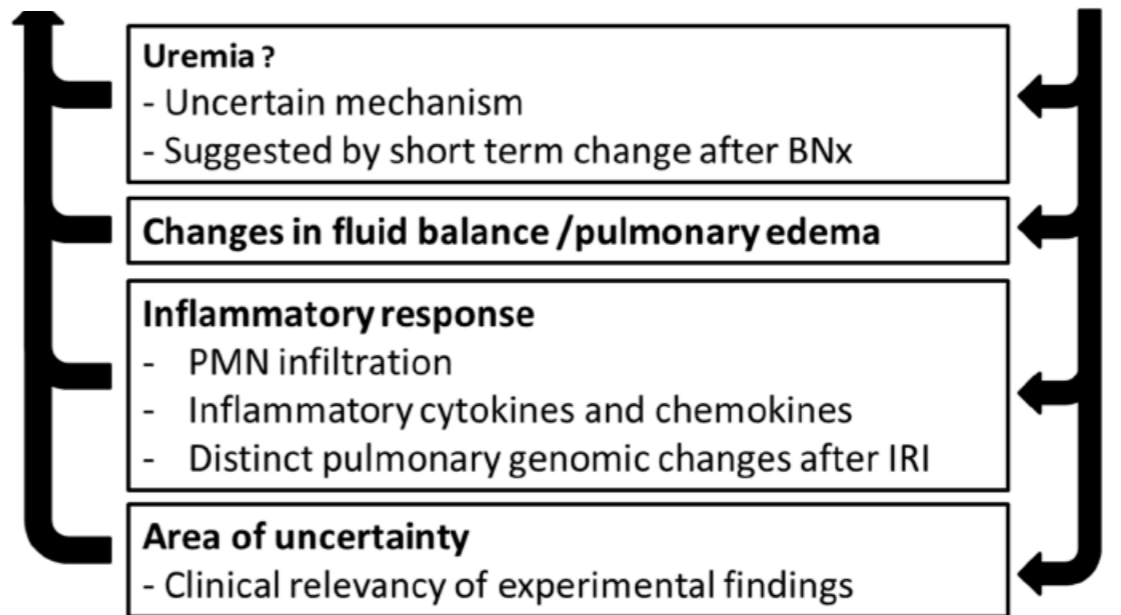


**UNDERSTANDING THE DISEASE**

# Understanding the kidney during acute respiratory failure

Michael Darmon<sup>1,2\*</sup>, Matthieu Legrand<sup>3,4,5</sup> and Nicolas Terzi<sup>6,7,8</sup>

© 2016 Springer-Verlag Berlin Heidelberg and ESICM



**Fig. 1** Mechanisms involved in lung–kidney cross talk. RAA renin–angiotensin–aldosterone axis, ANP atrial natriuretic peptide, PEEP positive end-expiratory pressure, VT tidal volume, ΔP driving pressure

*Intensive Care Med* (2017) 43:1144–1147  
DOI 10.1007/s00134-016-4532-z



# New Modes of Mechanical Ventilation

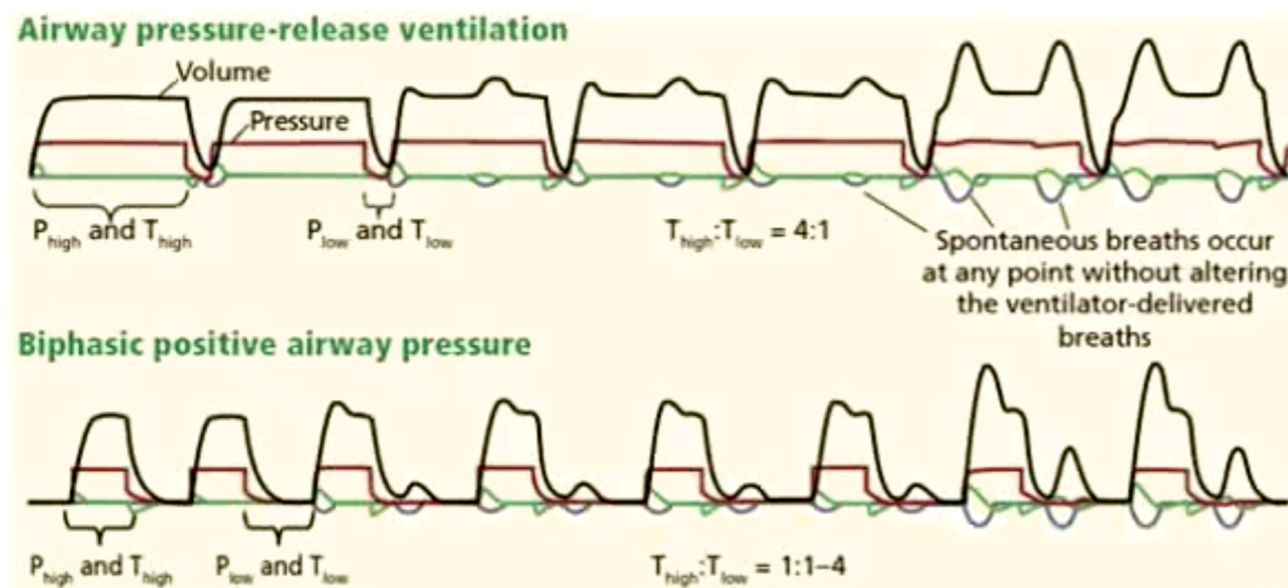
---

## □ Στόχοι:

- Μείωση έργου αναπνοής
- Προσπάθεια να διατηρηθεί η φυσική κατάσταση του αρρώστου
- Βελτίωση ανταλλαγής αερίων
- Πρόληψη πνευμονικής βλάβης
- Βελτίωση συνεργασίας αρρώστου- αναπνευστήρα
- Επιτάχυνση θεραπείας πνευμόνων

- ▶ Bilevel, BiPAP, Bivent, APRV (Airway Pressure Release Ventilation), ASV . . . .

## APRV vs BiPAP



*Cleve Clin J Med 2009;76(7):417-30.*

## Nomenclature Conventions

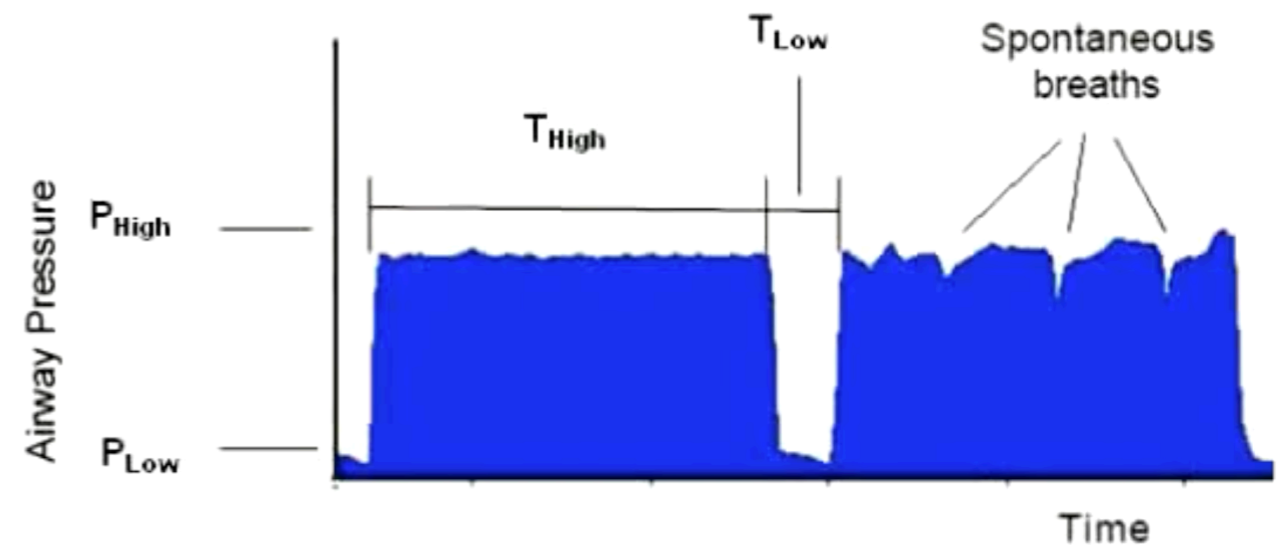
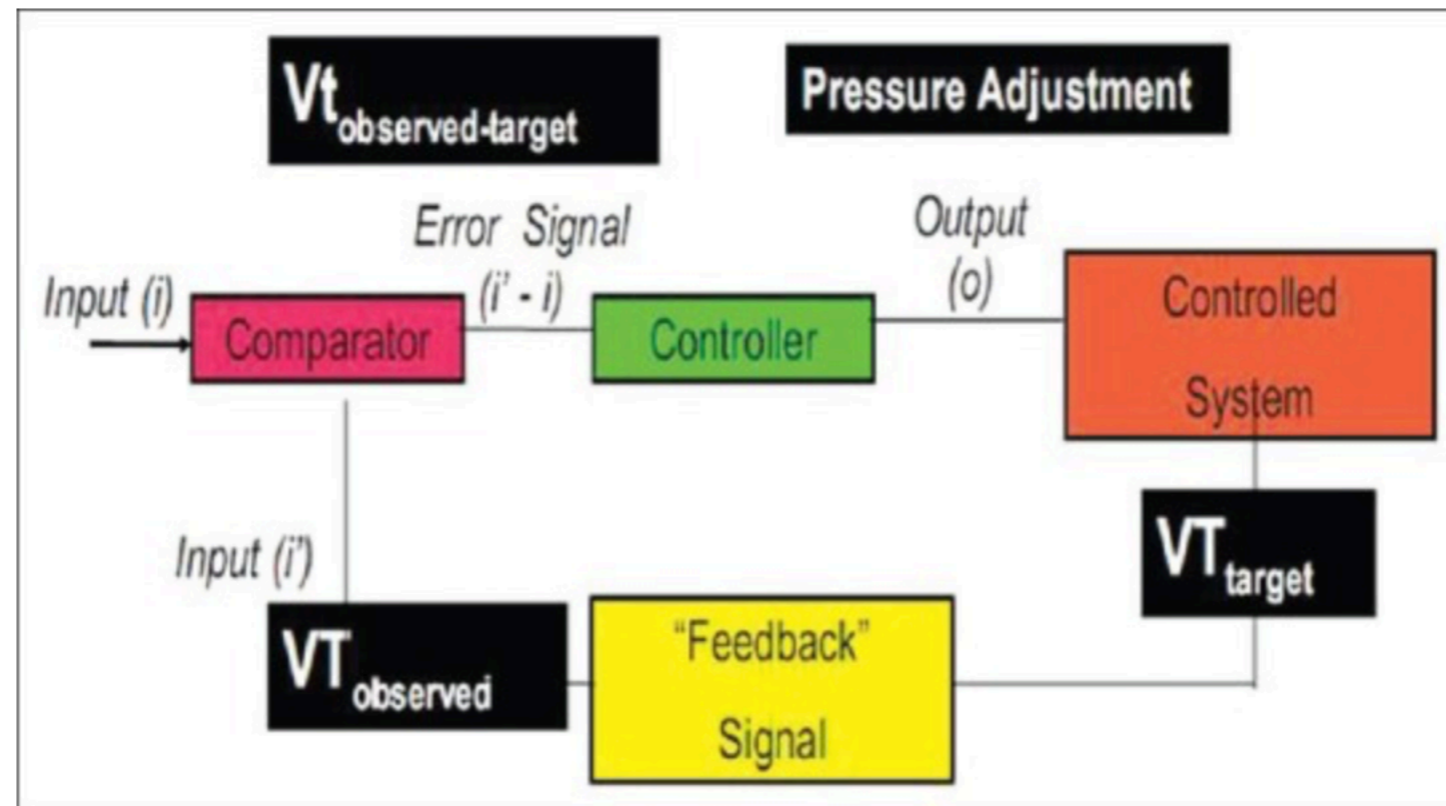
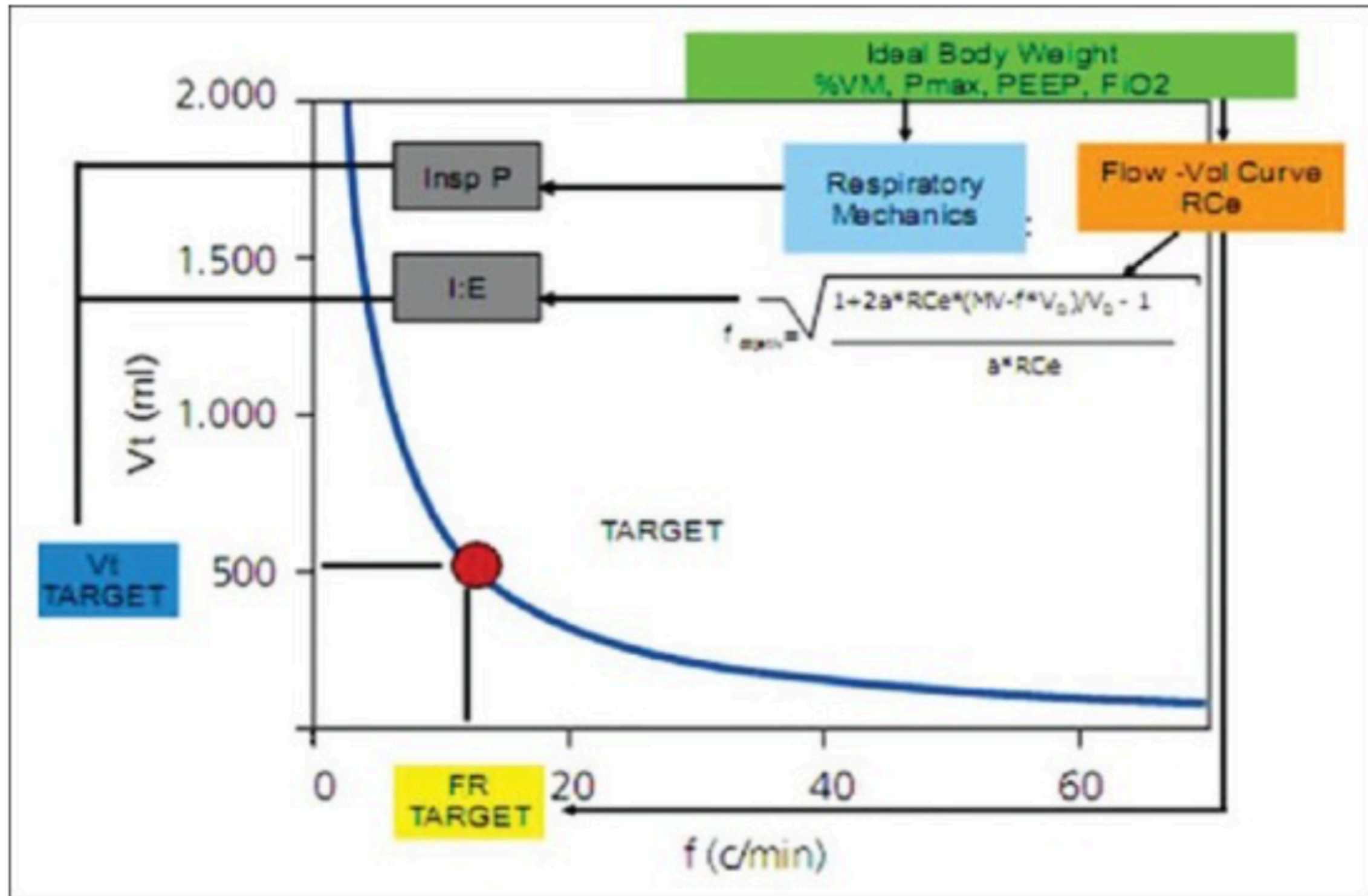


Figure 1



Closed-loop feedback system. The operator preset a target tidal volume (VT), through a feedback signal, the system measures the tidal volume of the patient (VT observed). The target VT and VT observed are compared (added or subtracted) and then an error signal is sent to the controller, which regulates the received signal and makes adjustments as needed to send an output signal, resulting in a desired breathing pattern, which can be eventually measured

# ADAPTIVE SUPPORT VENTILATION - ASV



## **Μειωμένο έργο αναπνοής:**

Μερικές φορές ο κύριος λόγος μηχανικού αερισμού ενός αρρώστου

- ▶ ARDS: αναπνευστική προσπάθεια 4πλάσια της φυσιολογικής μέχρι και . . . .6πλάσια
- ▶ Αυξημένος κίνδυνος κόπωσης των αναπνευστικών μυών
- ▶ Κίνδυνος δομικής βλάβης των ήδη καταπονημένων μυών

# Remember!

Waveforms and loops are graphical representation of the data generated by the ventilator.

## Typical Tracings

Pressure-time,  
Flow-time,  
Volume -time

## Loops

Pressure-Volume  
Flow-Volume



**Assessment of pressure, flow and volume waveforms is a critical tool in the management of the mechanically ventilated patient.**

**ΠΟΤΕ ?????**



**?????**