

Оптимальная инвазивная вентиляция и безопасность пациента при проведении ИВЛ

Грицан А.И.

План

- Клинические показания к ИВЛ
- «Технология» коррекции и поддержания адекватного газообмена и концепция безопасной ИВЛ
- Роль графического мониторинга в обеспечении адекватности и безопасности ИВЛ
- Частные вопросы ИВЛ
- Алгоритмы респираторной поддержки и критерии адекватности ИВЛ

Клиническая классификация ОДН

- Вентиляционная ОДН (гиповентиляция центрального генеза, гипервентиляционный синдром, гиповентиляция периферического генеза)
- Обструктивная ОДН (верхняя: ларингобронхомалация, бульбарные расстройства; нижняя: аспирация, бронхоастматический синдром и т.п.)
- Шунто-диффузионная ОДН (паренхиматозного генеза) - блок альвеолярно-капиллярной мембраны (ОРДС, пневмонии, отек легких, и др)
- Синдром внутригрудного напряжения - пневмоторакс, пневмоперикардит, пневмомедиастинум, пневматоз и парез кишечника, диафрагмальная грыжа.
- Смешанная ОДН.

Клинические показания (1)

- все критические состояния, сопровождающиеся апноэ
- наличие патологических ритмов дыхания
- стойкий гипертермический синдром
- для уменьшения внутричерепного давления у больных с отеком мозга и черепно-мозговой травмой
- компонент интенсивной терапии постреанимационной болезни
- неэффективное медикаментозное лечение судорожного синдрома

Клинические показания (2)

- все нарушения сознания, начиная с сопора (шкала Глазго-Питтсбург)
- для купирования некардиогенного и кардиогенного отека легких
- острый респираторный дистресс-синдром
- тяжелые формы БАС
- стойкая гиповолемия на фоне различных видов шока
- больные с выраженным эндотоксикозом
- с профилактической целью (например, при интенсивной терапии ДВС-синдрома)

Методики коррекции и поддержания адекватного газообмена (1)

1. Увеличение FiO_2
2. Увеличение среднего объема легких и альвеолярного давления - *ИВЛ*
 - *PEEP и ауто-PEEP*
 - *увеличение времени вдоха*
 - *рекрутирующие маневры – периодическое повышение дыхательного объема или PEEP*
3. Кинетическая терапия (на боку, на животе)

Методики коррекции и поддержания адекватного газообмена (2)

4. Улучшение соотношения доставка/потребление O_2

- *Снижение потребностей в O_2*
- *Снижение работы дыхания*
- *Нормализация температуры тела*
- *Коррекция возбуждения (седация)*
- *Повышение сердечного выброса*
- *Повышение гемоглобина (оптимальный гематокрит)*

Методики коррекции и поддержания адекватного газообмена (3)

5. Исключение легочных вазодилататоров, снимающих компенсаторную гипоксическую вазоконстрикцию
6. Дополнительные меры
 - Ингаляция NO или простациклина
 - Экстракорпоральная оксигенация и удаление CO₂
 - Частичная жидкостная вентиляция (удаление альвеолярного экссудата, поддержание сурфактант-дефицитных альвеол открытыми, снижение инфекции)
 - Использование искусственных сурфактантов

Основные положения концепции «безопасной ИВЛ» (1)

- Пиковое давление в дыхательных путях – не более 35 смН₂О
- Дыхательный объем – не более 6-8 мл/кг (для ОПЛ)
- Частота дыхания и МОД – минимально необходимые для поддержания РаСО₂ на уровне 30-40 мм.рт.ст.
- Скорость инспираторного потока – от 40 до 90 л/мин
- Профиль инспираторного потока – нисходящий (замедляющийся) – для ОПЛ
- Фракция кислорода во вдыхаемой газовой смеси (FiO₂) – минимально необходимая для поддержания SaO₂>90%

Slutsky A.S., 1994; 2001

Основные положения концепции «безопасной ИВЛ» (2)

- Выбор ПДКВ – в соответствии с концепцией «оптимального» РЕЕР (варианты при ОПЛ)
- Выбор ауто-ПДКВ – избегать высокого ауто-ПДКВ (не более 50% общего ПДКВ – для ОПЛ, ОРДС)
- Продолжительность ИП – не более 30% от продолжительности времени вдоха
- Отношение вдох/выдох – не инвертировать отношение более 1,5:1
- Синхронизация больного с респиратором – использование седативной терапии и при необходимости непродолжительной миоплегии, а не гипервентиляции

Алгоритм подключения больного к респиратору (1)

- Выбрать дыхательный контур
- Выполнить стерилизацию аппарата ИВЛ
- Заполнить увлажнитель дистиллированной водой
- Включить респиратор, компрессор в сеть, подключить кислород
- Проверить давление кислорода и воздуха

Алгоритм подключения больного к респиратору (2)

- Проверить систему тревоги
- Проверить систему пневматики
- Выбрать режим и параметры вентиляции
- Установка нижнего уровня спонтанного потока
- Подсоединить пациента к дыхательному контуру

Алгоритм подключения больного к респиратору (3)

- Установка нижнего и верхнего предела тревоги по давлению
- Установка тревоги РЕЕР (нижний уровень)
- Установка тревоги апноэ
- Методика синхронизации
- Выбор необходимого мониторинга
- Ведение карты ИВЛ

Стартовые параметры ИВЛ (1)

№ п \п	Параметр	Стартовые показатели
1	Принцип циклирования	Объем или давление
2	Способ ИВЛ	CMV, A/CMV + PEEP (4-5 смH ₂ O
3	Минутный объем вентиляции	150-220 мл/кг/ мин

Стартовые параметры ИВЛ (2)

№ п \п	Параметр	Стартовые показатели
4	Дыхательный объем	6-8-10 мл/кг _{ДМТ}
5	Число аппаратных дыхательных циклов, дых/мин	10-12 в мин или 80% от возрастной нормы
6	Инспираторный поток (замедляющийся)	В 2-4 раза выше МОД или 25-30 л/ мин

Стартовые параметры ИВЛ (3)

№ п \п	Параметр	Стартовые показатели
7	Время вдоха, с	Дети до года – 0,6-0,7 1-7 лет – 0,7-0,9 Взрослые – 1-2
8	Время выдоха, с	$T_{tot} - T_i$
9	Пауза в конце вдоха	10-20% T_i (по необх-ти)

Стартовые параметры ИВЛ (4)

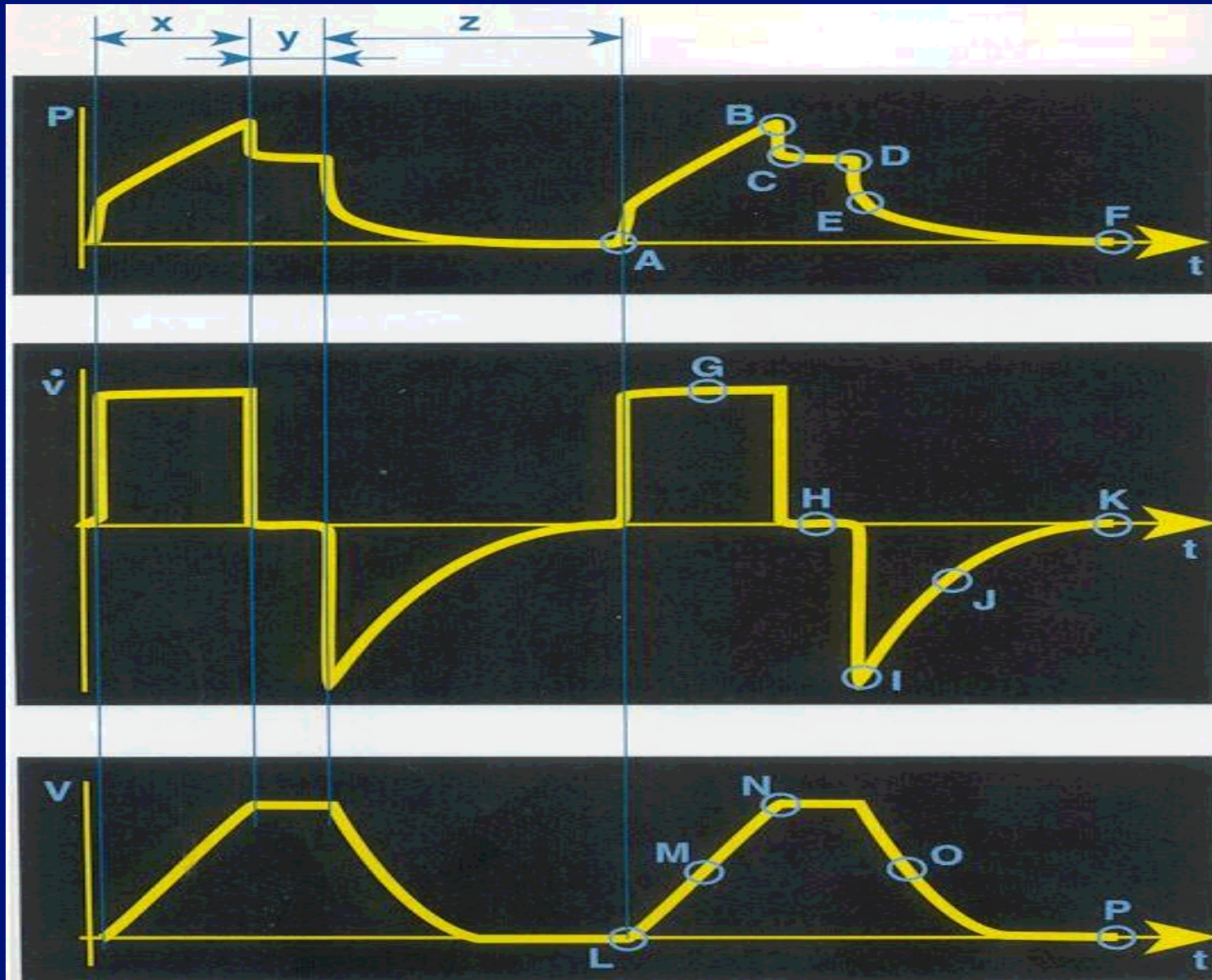
№ п \п	Параметр	Стартовые показатели
10	Соотношение фаз вдоха и выдоха	1:1,5 – 1:3,0
11	$PIP = (V_t/C_{lt}) + (R_{aw} \times \text{Flow}) + PEEP$	- по объему - по давлению – 20-25 смH ₂ O
12	Pplat	По механики дыхания

Стартовые параметры ИВЛ (5)

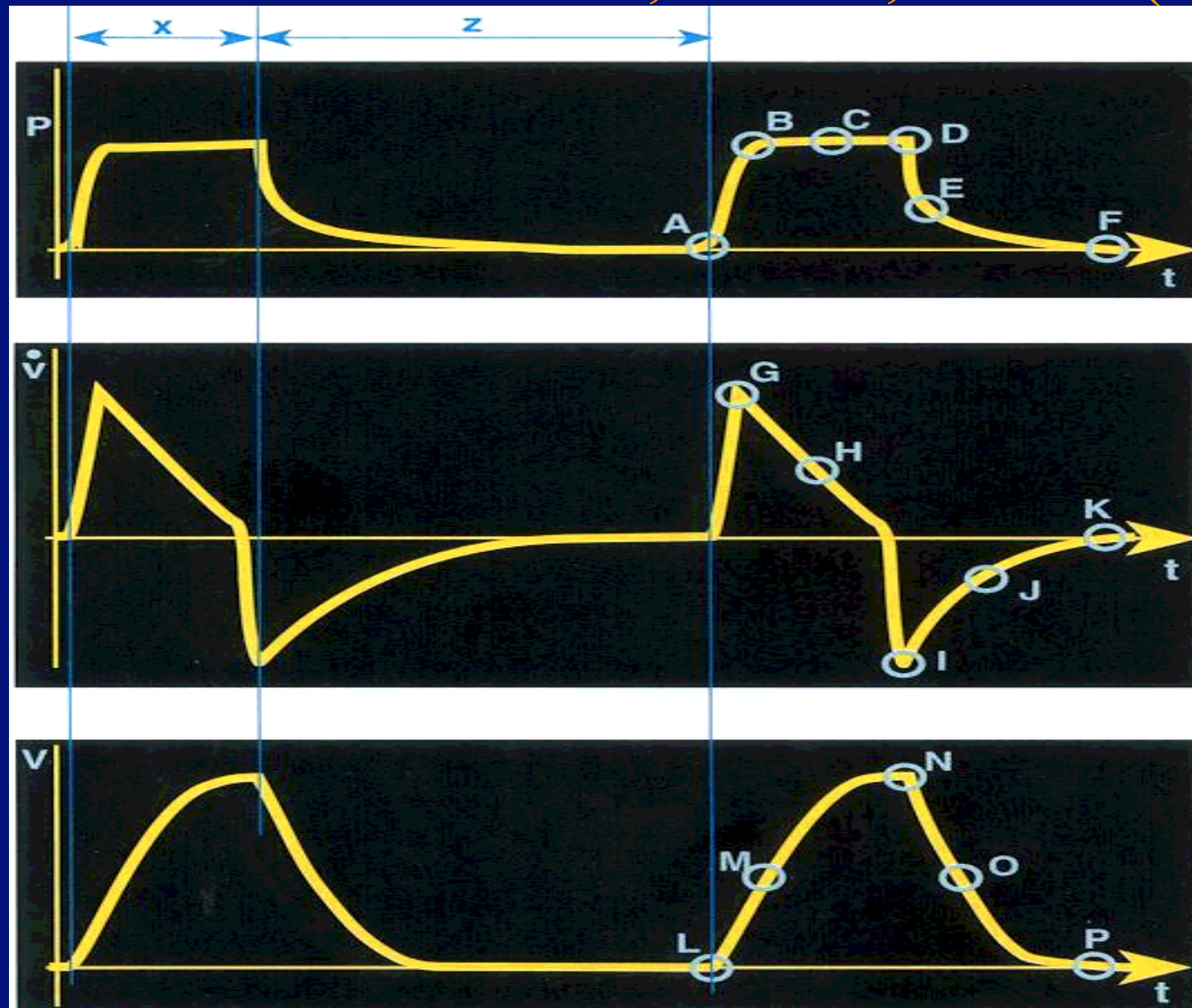
№ п \п	Параметр	Стартовые показатели
13	Среднее давление в дыхат. путях	$((P_{IP} \times T_i) + (P_{EEP} \times T_e)) / (T_i + T_e)$
14	PEEP	4-5 смH ₂ O
15	Форма волны инспираторного п-ка	прямоугольная
16	FiO ₂	0,6 (60%)

Клиническая физиология графического мониторинга вентиляции

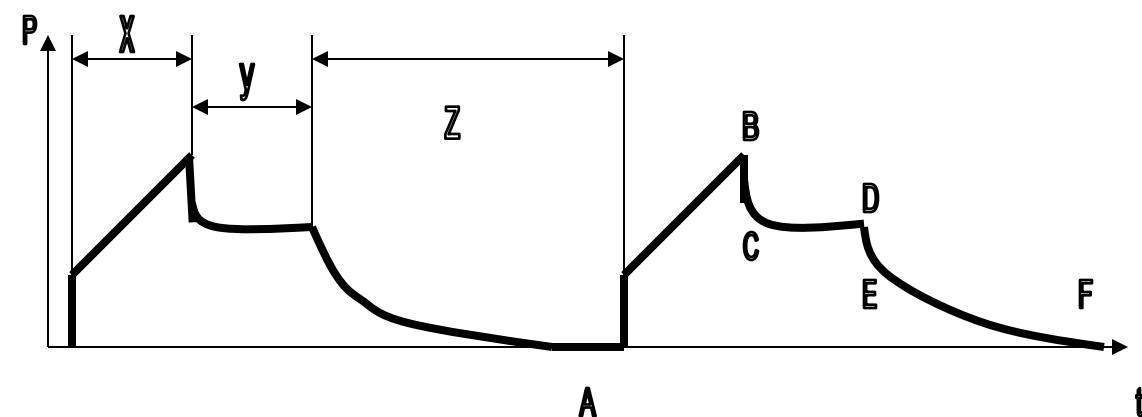
Volume control – VC, SIMV (VC)



Pressure control – PC, PRVC, SIMV (PC)

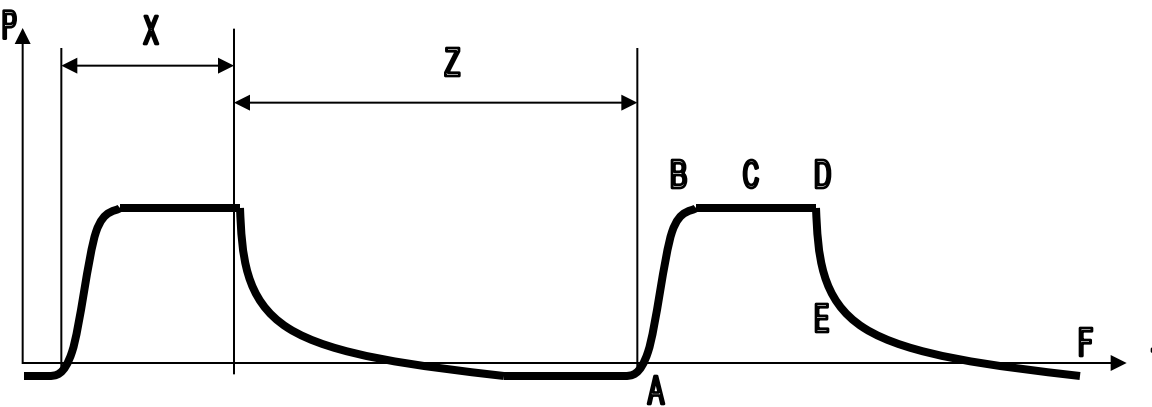


Кривая P_{aw}/Time в режиме CMV



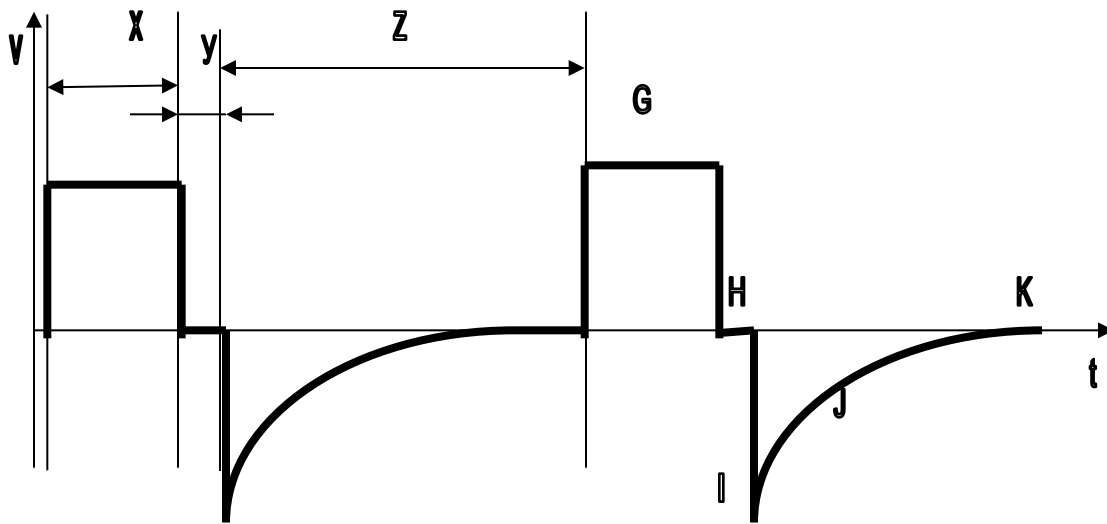
X – время вдоха; Y – пауза на вдохе; Z – время выдоха A – начало вдоха; B – пиковое давление на вдохе; C – давление на вдохе при нулевом потоке, начало паузы вдоха (плато); D – конец паузы(плато) на вдохе; E – начало выдоха; F – конец выдоха

Кривая P_{aw}/Time в режиме PCV



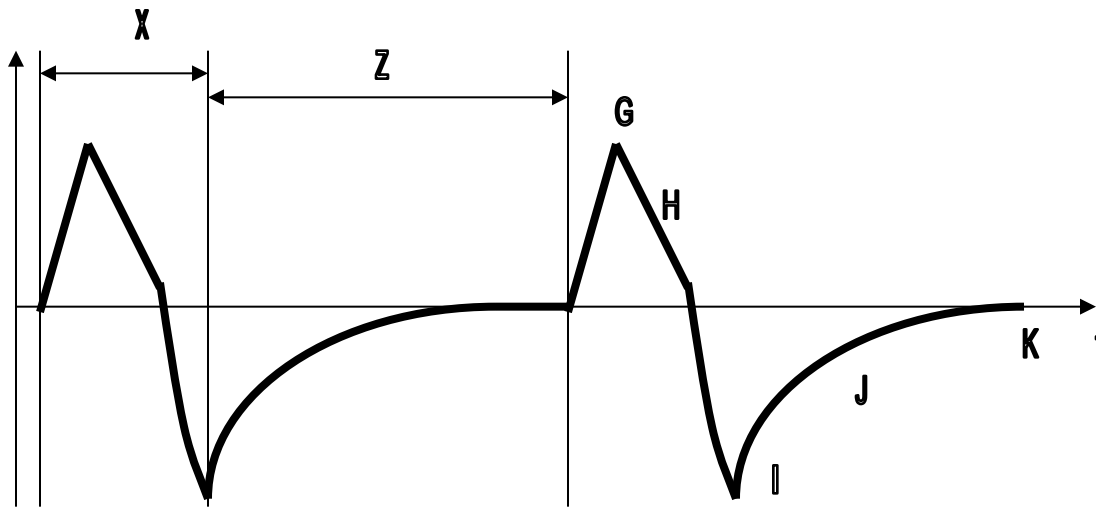
X – время вдоха; Z – время выдоха A – начало вдоха; B – пиковое давление на вдохе; C – давление на вдохе при нулевом потоке, начало паузы вдоха(плато); D – конец паузы(плато) на вдохе; E – начало выдоха; F – конец выдоха

Кривая Flow/Time в режиме CMV



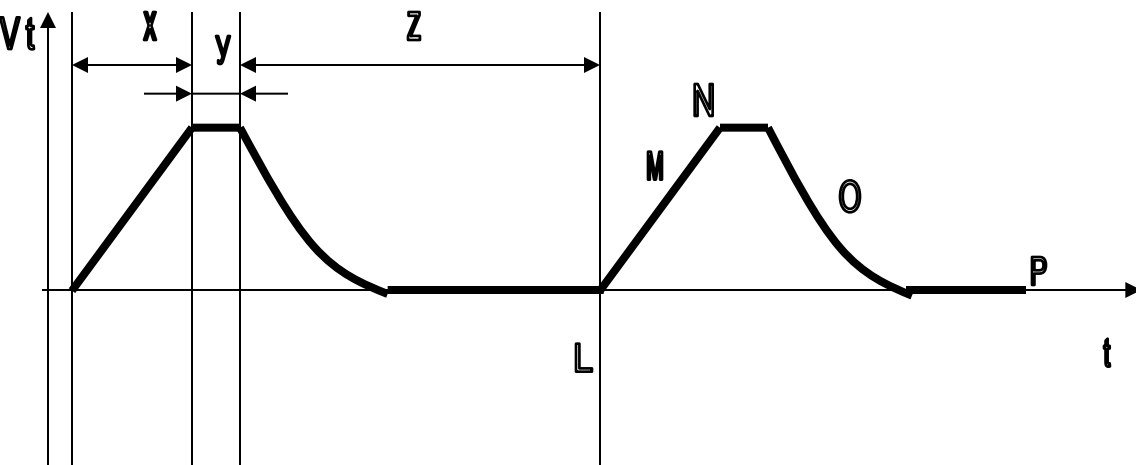
X – время вдоха; Z – время выдоха; G – пиковый поток на вдохе; H – нулевой поток паузы вдоха; I – пиковый поток на выдохе; J – снижение потока на выдохе; K – конец выдоха, нулевой поток

Кривая Flow/Time в режиме PCV



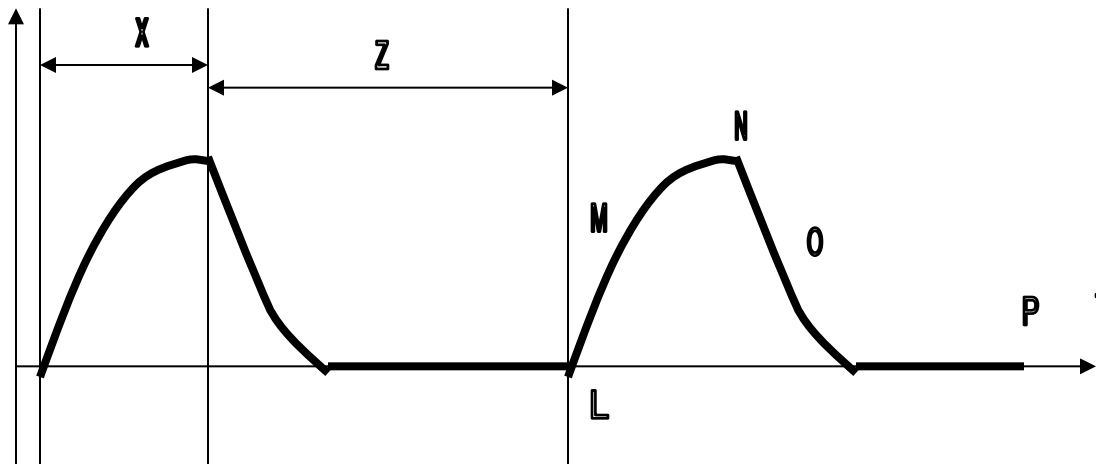
X – время вдоха; Z – время выдоха; G – пиковый поток на вдохе; H – снижение потока на вдохе; I – пиковый поток на выдохе; J – снижение потока на выдохе; K – конец выдоха, нулевой поток

Кривая V_t/Time в режиме CMV



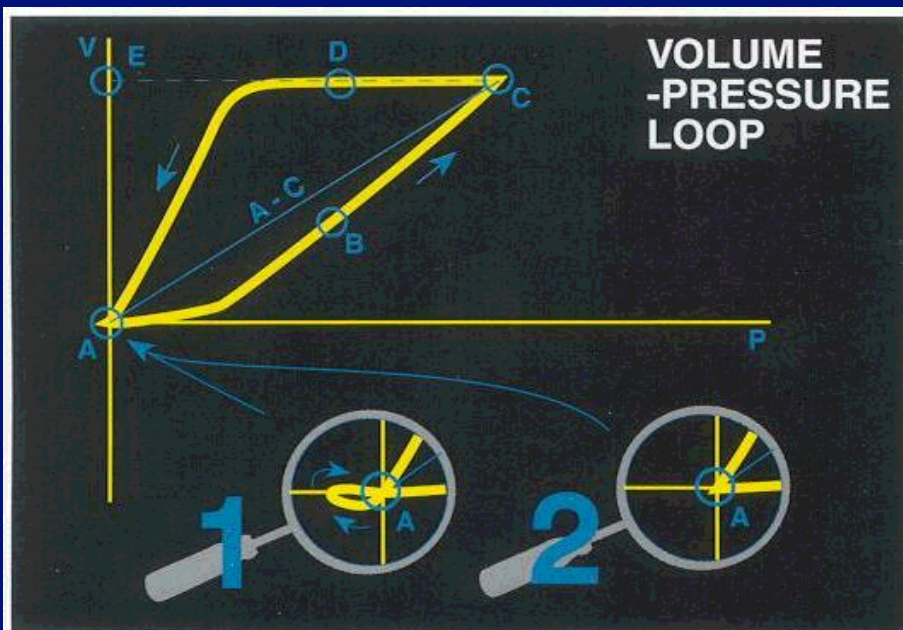
X – время вдоха; Z – время выдоха; L – начало вдоха; M – увеличение дыхательного объема на вдохе; N – конец вдоха, максимальный дыхательный объем; O – снижение дыхательного объема на выдохе; P – конец выдоха, нулевой дыхательный объем

Кривая $V_t/Time$ в режиме PСV

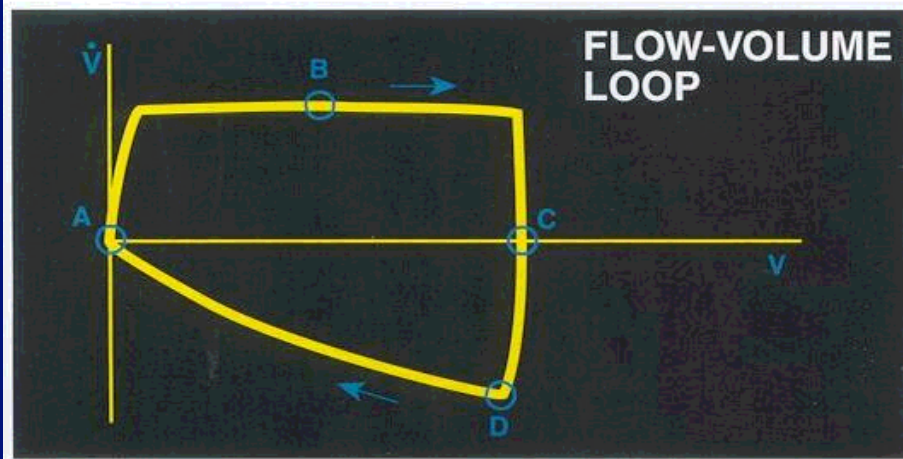


X – время вдоха; Z – время выдоха; L – начало вдоха; M – увеличение дыхательного объема на вдохе; N – конец вдоха, максимальный дыхательный объем; O – снижение дыхательного объема на выдохе; P – конец выдоха, нулевой дыхательный объем

Петли вентиляции VC, SIMV (VC)

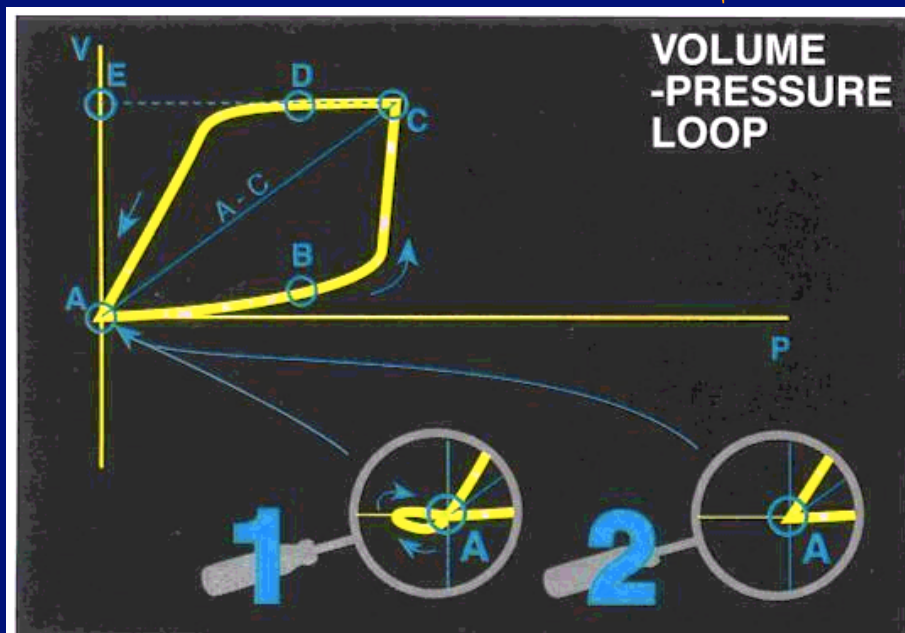


А – начало вдоха/конец выдоха; В – точка открытия легких; С – конец вдоха/начало выдоха (максимальные PIP и Vt); D – точка закрытия легких

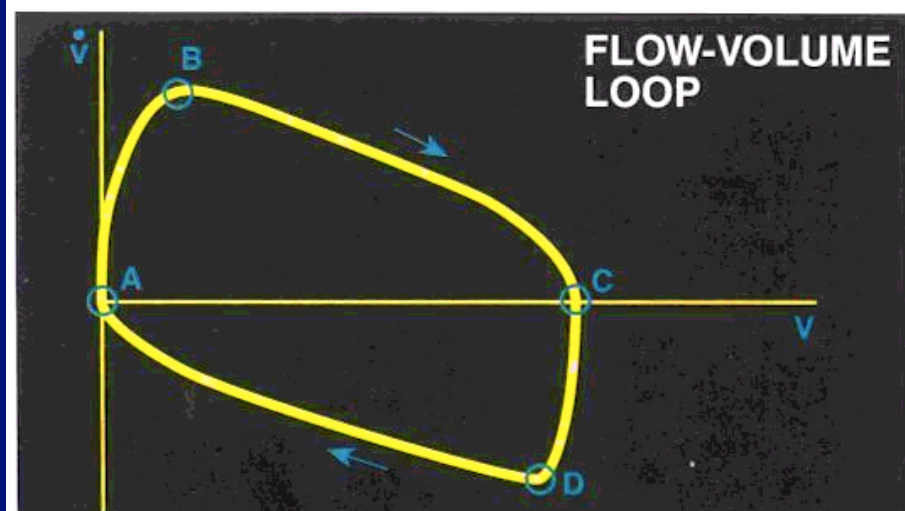


А - начало вдоха/конец выдоха; В - пиковый поток на вдохе; С - конец вдоха/начало выдоха; D - пиковый поток на выдохе

Петли вентиляции PC, PRVC, SIMV (PC)



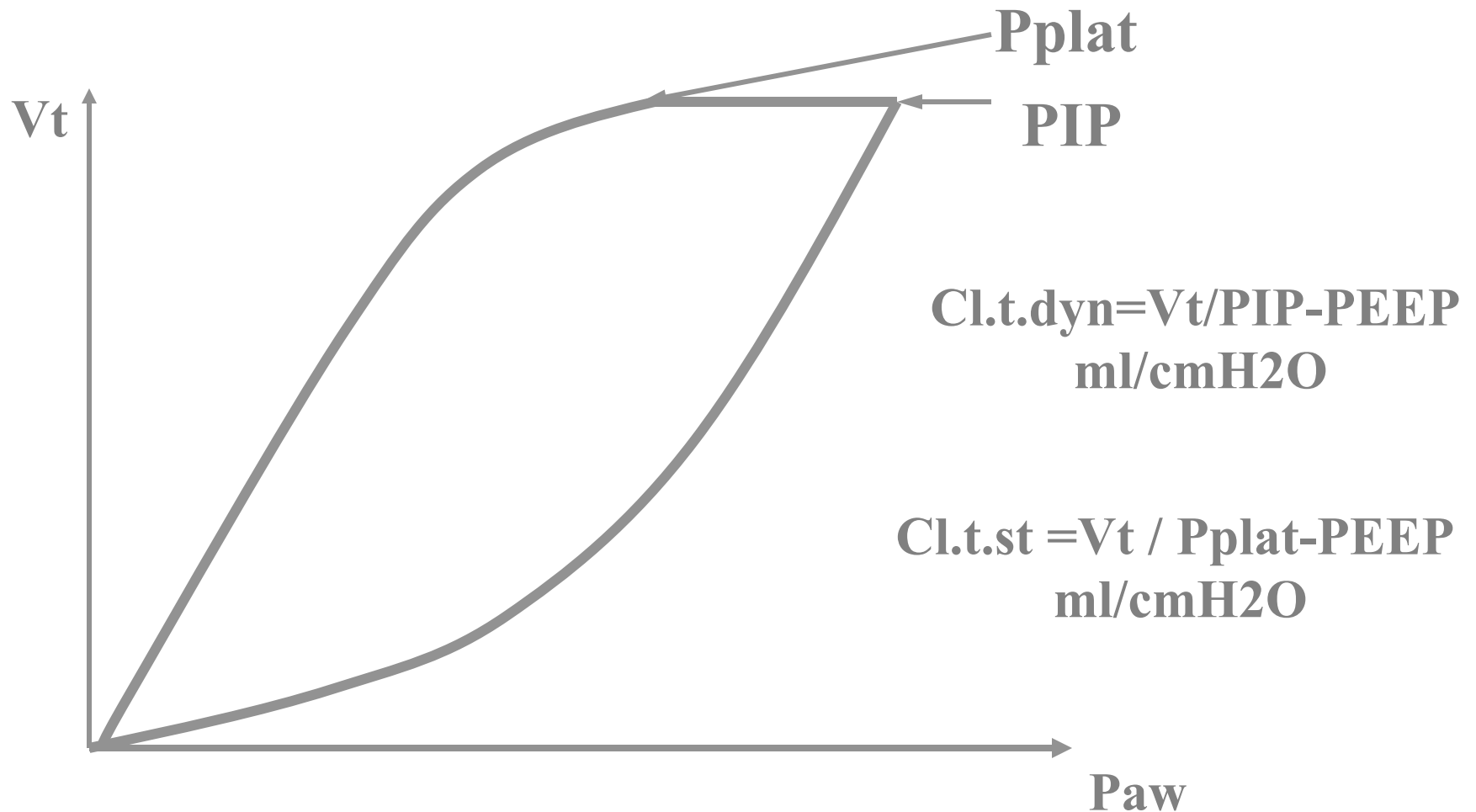
А – начало вдоха/конец выдоха; В – точка открытия легких; С – начало выдоха/конец вдоха; D – точка закрытия легких



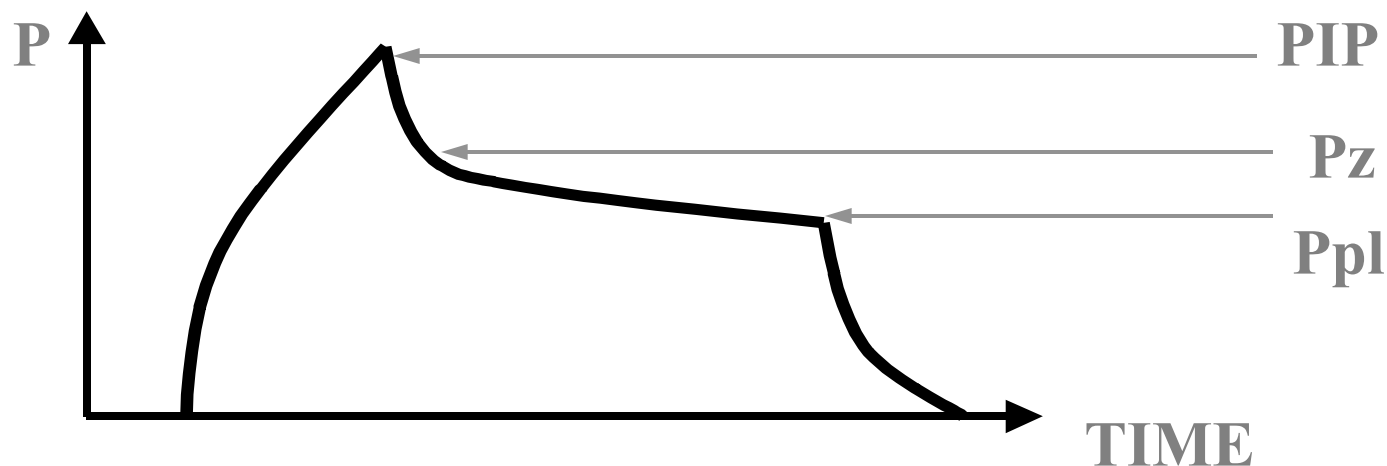
А - начало вдоха/конец выдоха; В - пиковый поток на вдохе; С - конец вдоха/начало выдоха; D - пиковый поток на выдохе

Анализ графики вентиляции

Определение легочно-торакального комплаенса (Clt)



Определение сопротивления дыхательных путей (R_{aw})

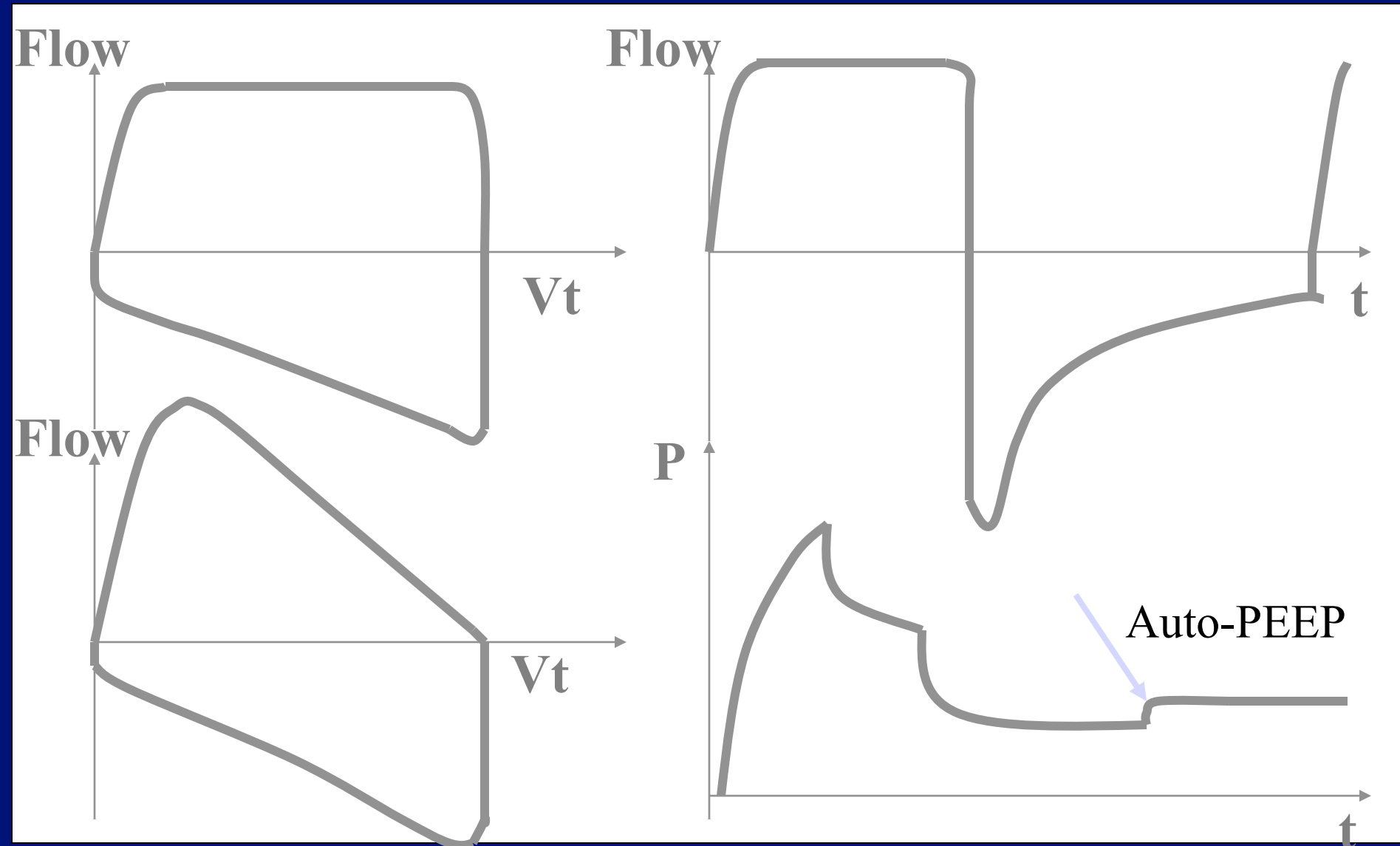


$$R_{\max}(R_{aw}) = PIP - P_{plat}/Flow$$

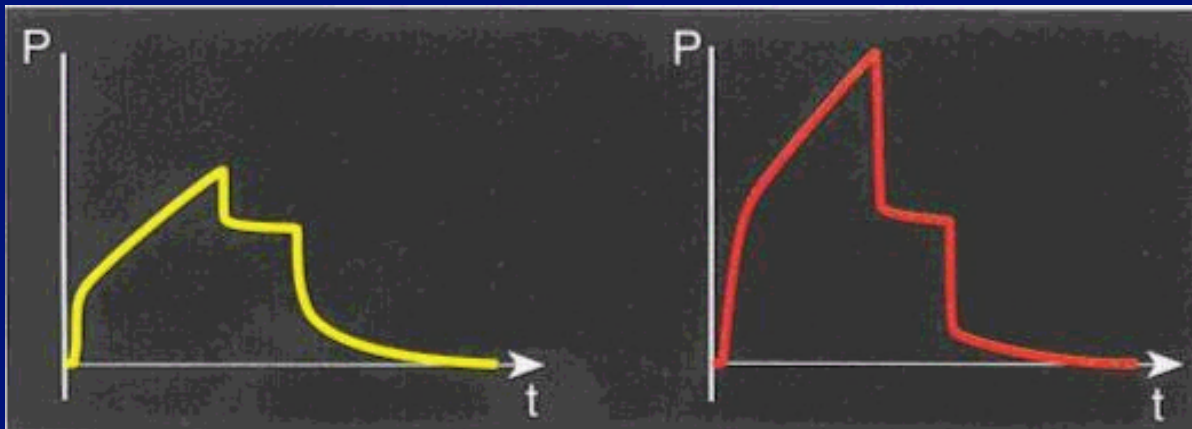
$$R_{\min} = PIP - P_z/Flow$$

$$dR = R_{\max} - R_{\min}$$

Определение auto-PEEP



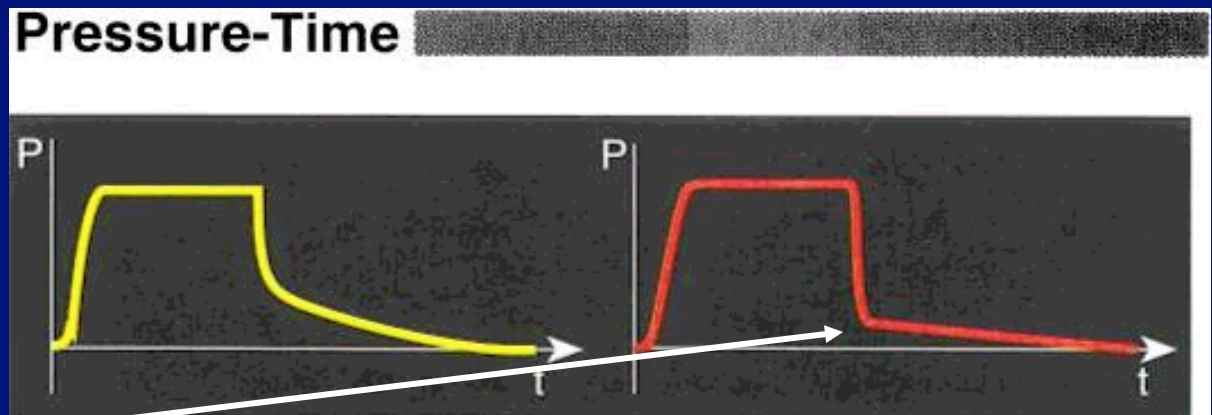
Графика вентиляции (норма и не норма) (1)



VC

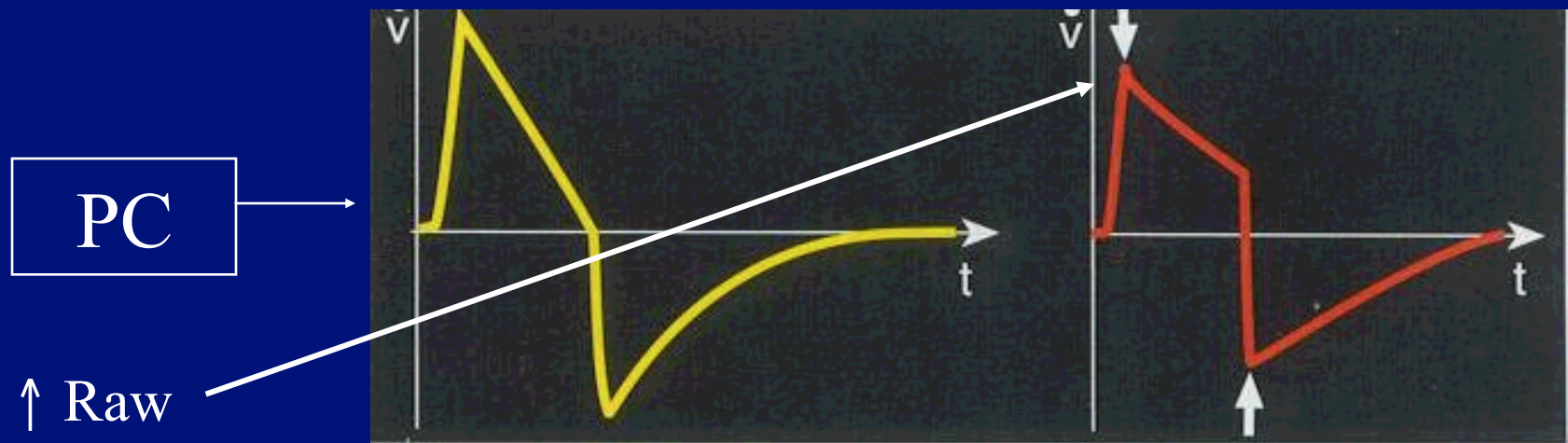
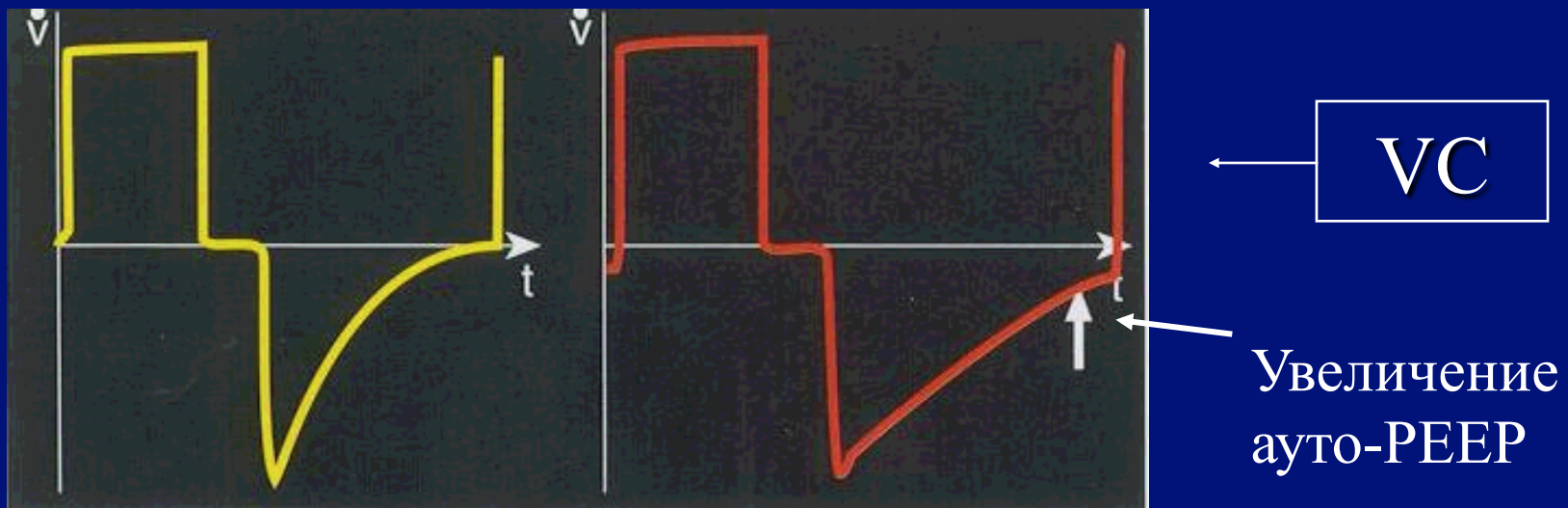
↑ Raw

PC

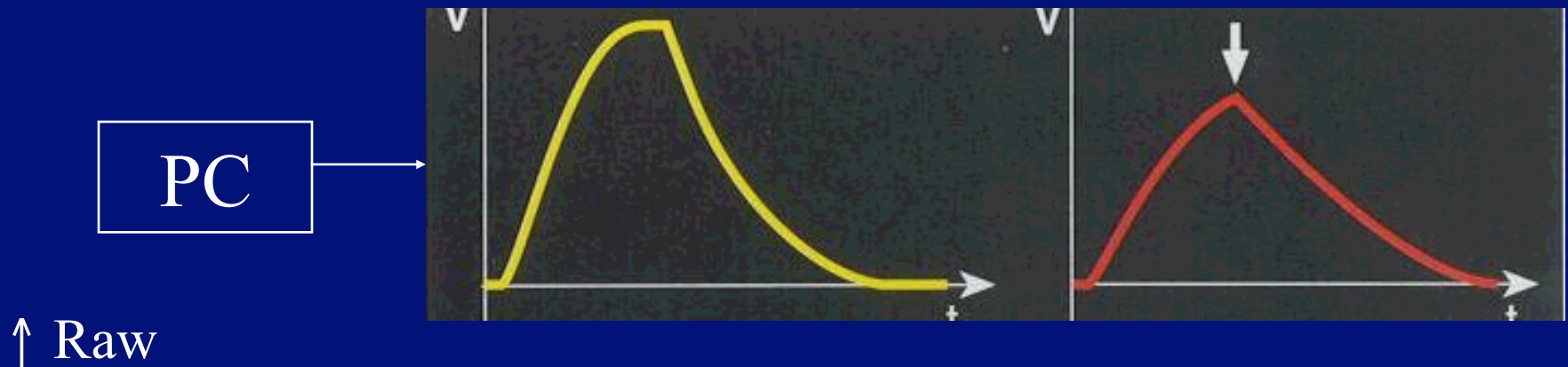
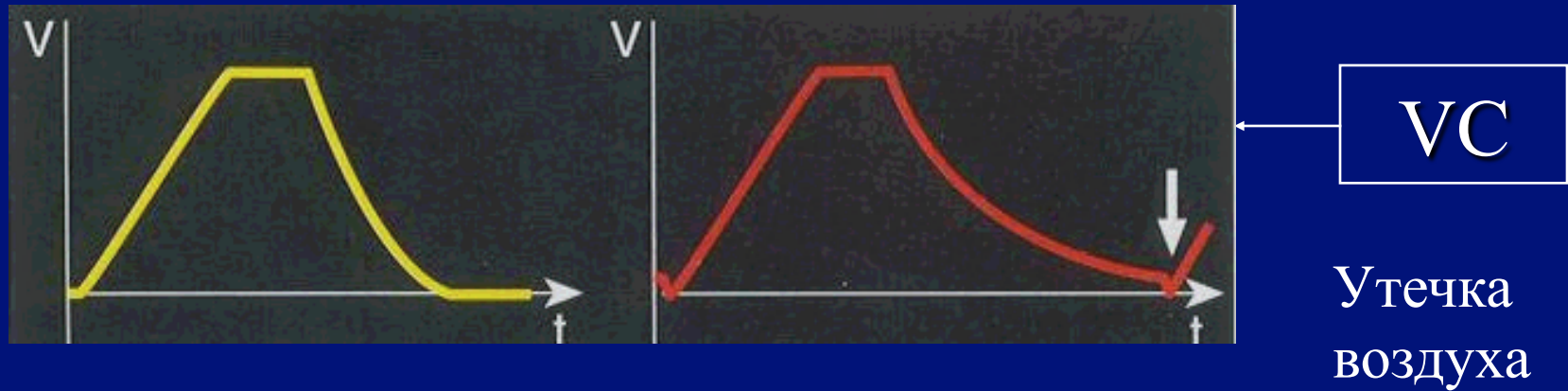


Обструкция

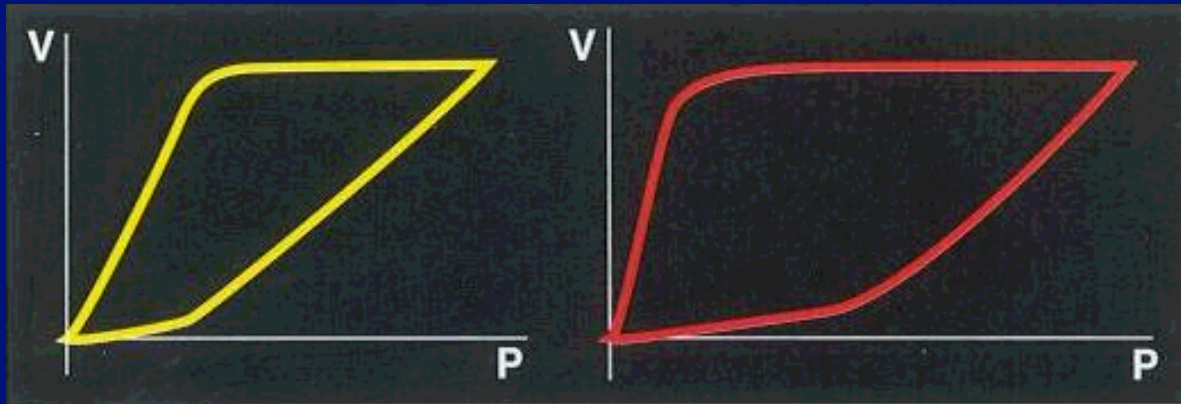
Графика вентиляции (норма и не норма) (2)



Графика вентиляции (норма и не норма) (3)



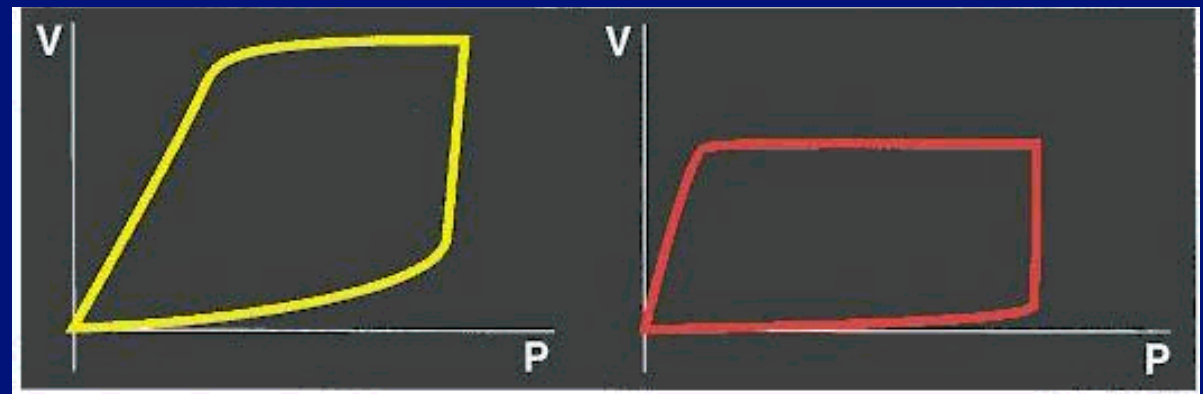
Графика вентиляции (норма и не норма) (4)



VC

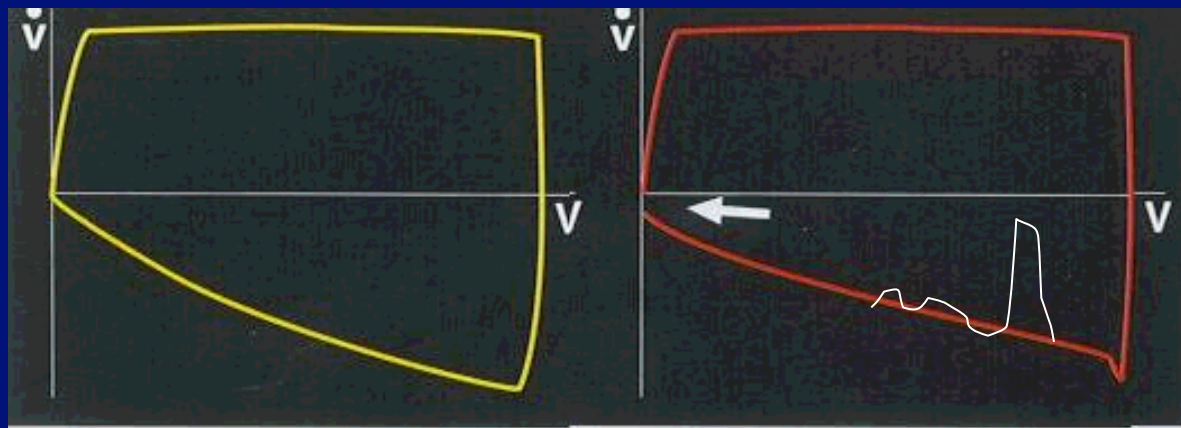
↓ Clt

PC



↓ Clt, ↑ Raw

Графика вентиляции (норма и не норма) (5)

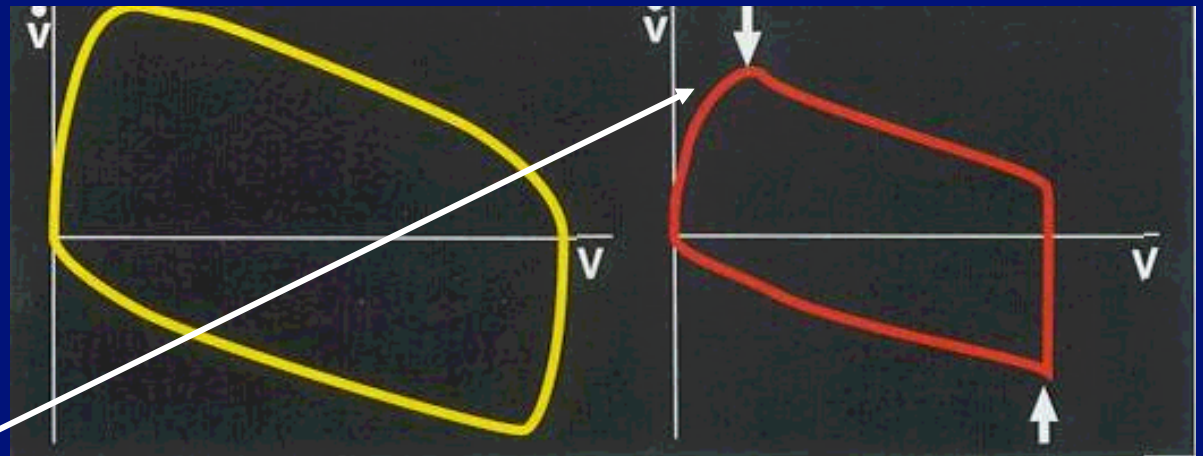


VC

Утечка
воздуха

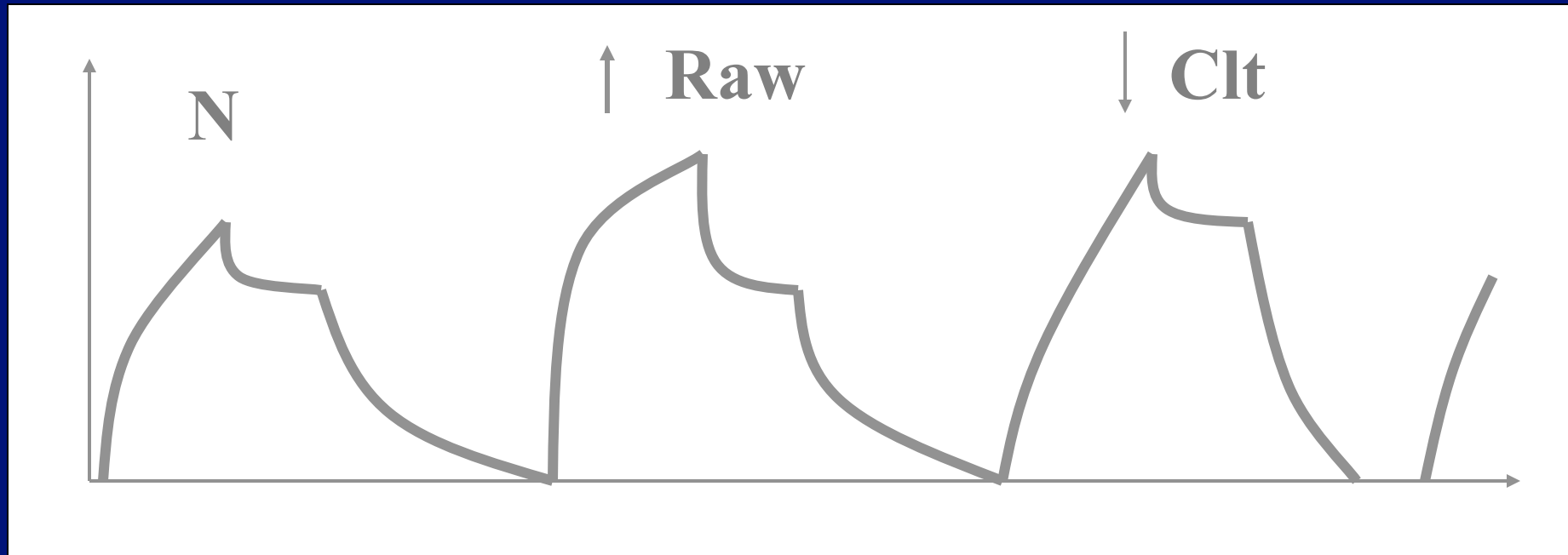
PC

Снижение Flow



Изменение графики вентиляции в
зависимости от изменений
механических свойств легких

Кривая давление при VC



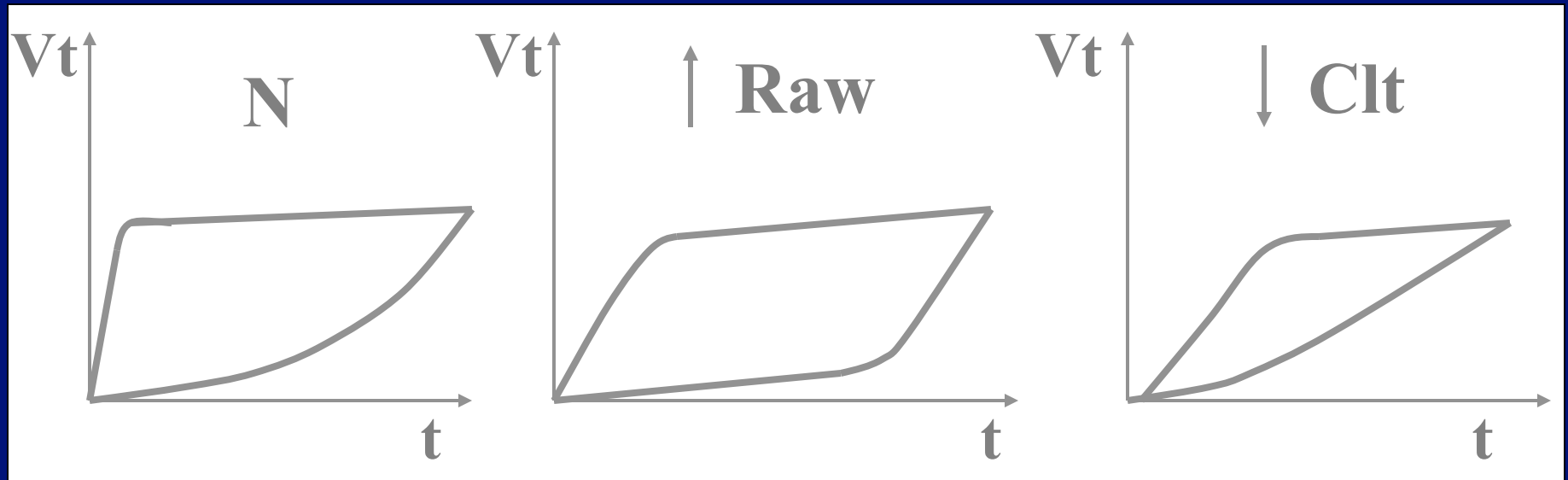
При увеличении R_{aw}

- *крутой подъем*
- *большая разница P_{IP} и P_{rpl}*

При снижении C_{lt}

- *высокое P_{IP} и P_{rpl}*
- *быстрый склон*

Петля объем/давление при VC



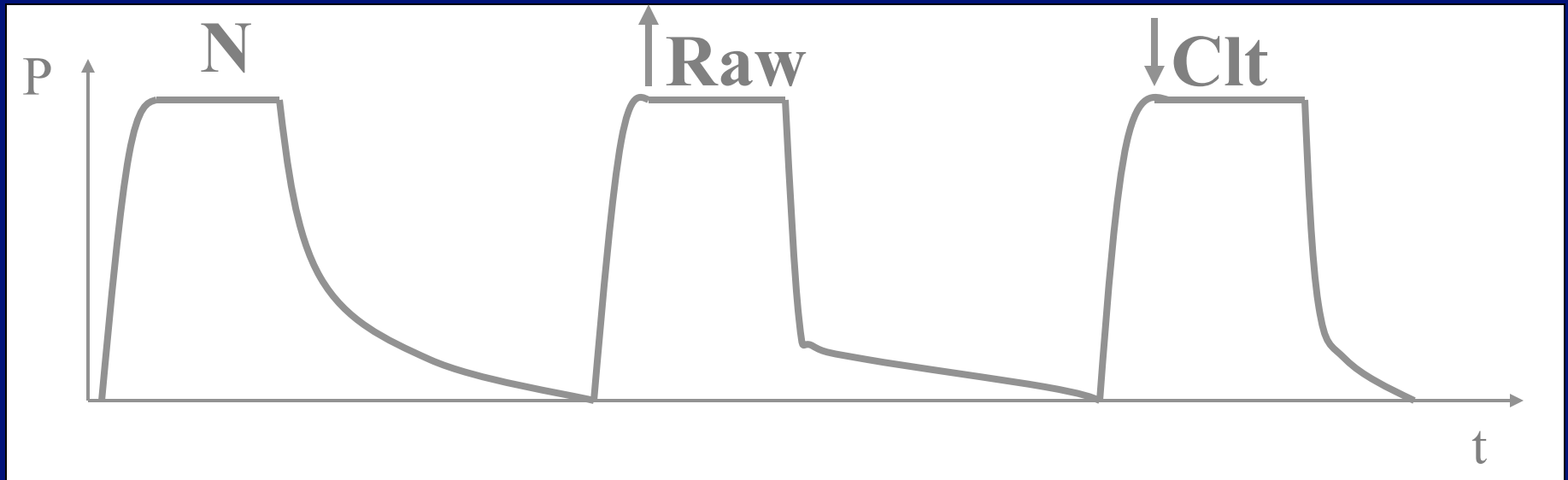
При увеличении R_{aw}

- на вдохе четкий угол и переход в плавный подъем
- на выдохе угол перехода в быстрый склон при большем давлении но ниже P_{oren}

При снижении C_{lt}

- на вдохе угол практически отсутствует и подъем остается быстрый
- на выдохе угол перехода в быстрый склон при большем давлении, но он выше P_{oren}

Кривая давления при PRVC



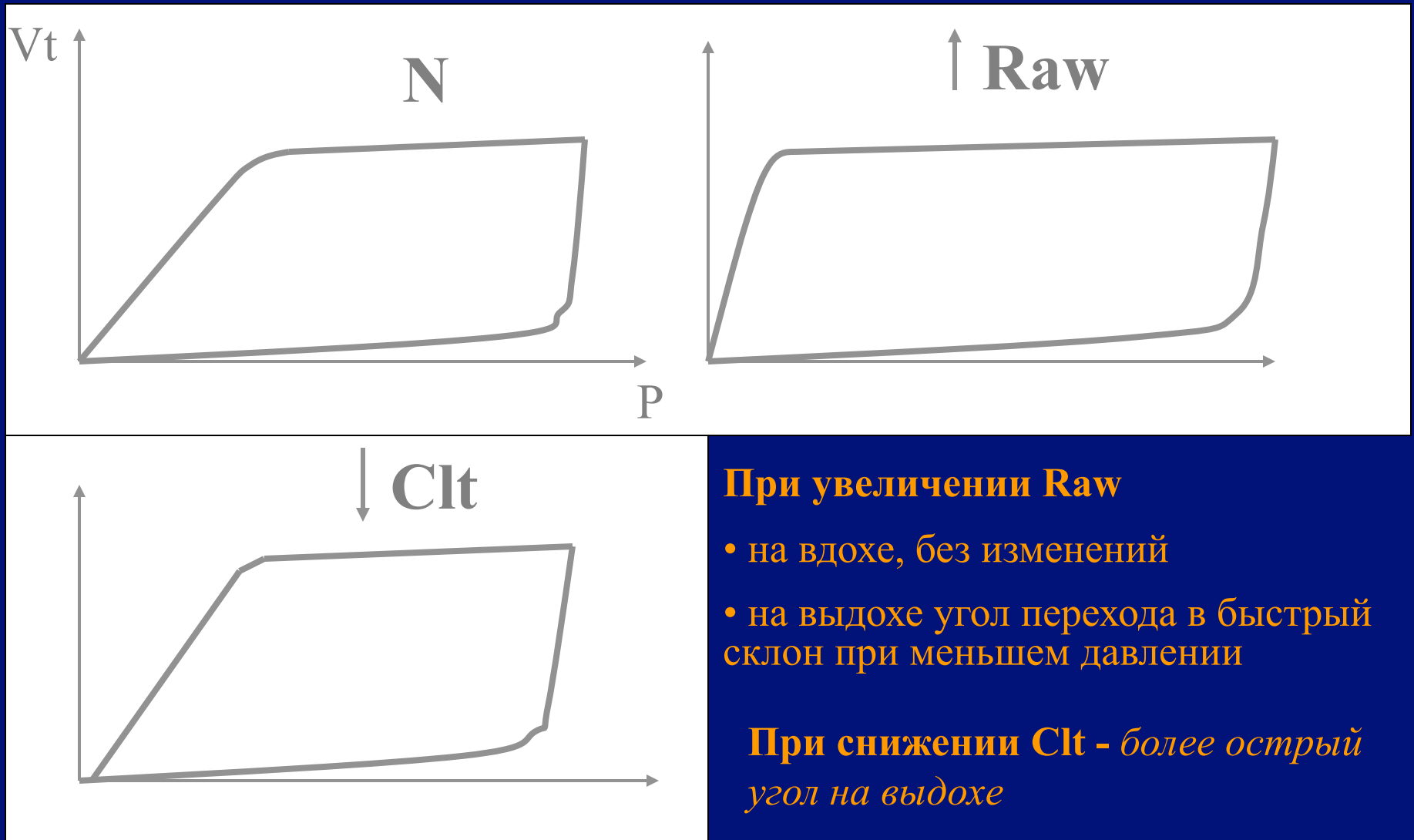
При увеличении R_{aw}

- на вдохе без изменений
- на выдохе имеется угол перехода в медленный склон

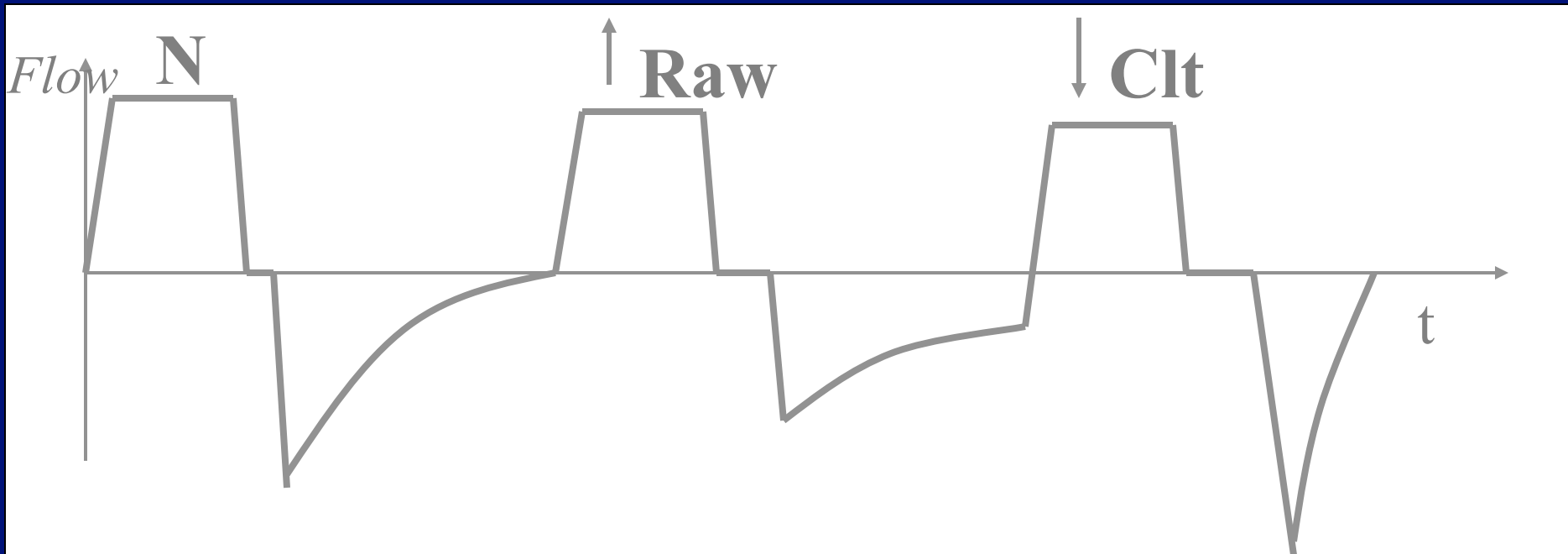
При снижении C_{It}

- на вдохе без изменений
- на выдохе имеется угол перехода в быстрый склон, который упирается в основную линию

Петля объем/давление (PRVC)



Кривая потока при VC



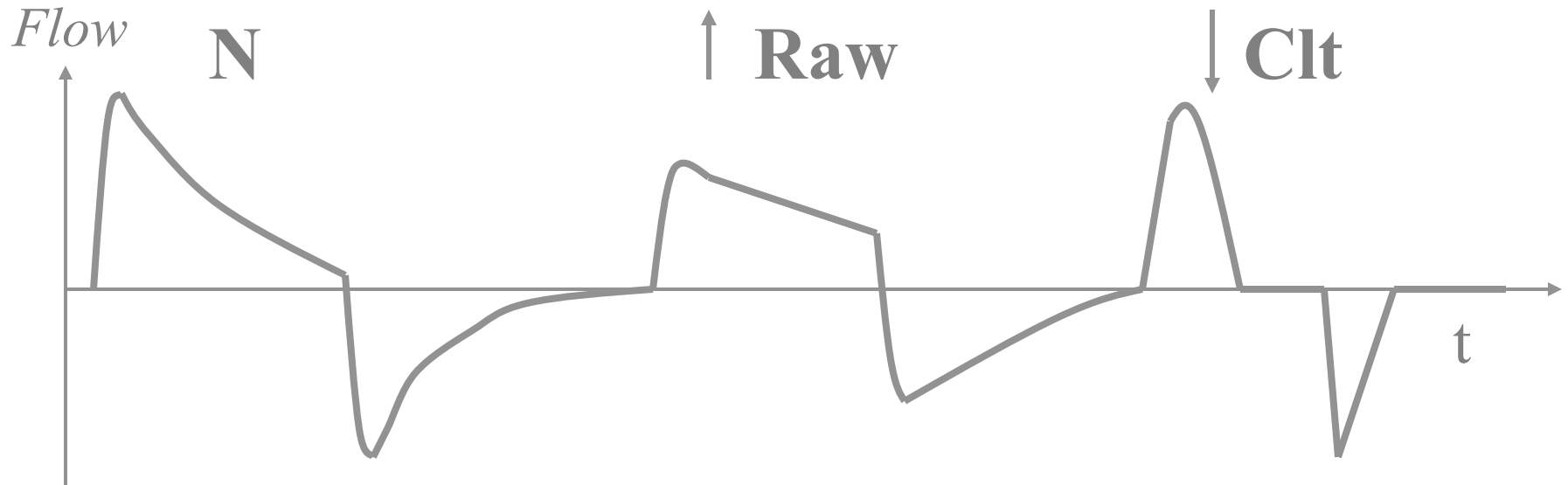
При увеличении R_{aw}

- на вдохе без изменений
- на выдохе поток снижен и не возвращается к нулю

При снижении C_{lt}

- на вдохе без изменений
- на выдохе поток выше и он быстрее стремится к основной линии

Кривая потока при PRVC



При увеличении Raw

- на вдохе пиковый поток ниже и к концу не достигает нуля
- на выдохе поток снижен и линия плавно не переходит в основную

При снижении CIt

- на вдохе остроконечная форма, поток быстро стремится к нулю
- на выдохе поток выше и он быстрее стремится к основной линии

Итог (возможностей)

- Определение в режиме реального времени наличия изменений (и их количество) патофизиологии легких путем оценки кривых и петель дыхания
- Оценка различных методов интенсивной терапии, применяемых с целью улучшения состояния пациента
- Выявление наличия неблагоприятных эффектов ИВЛ (перерастяжение, ретенция воздуха, разгерметизация контура, десинхронизация, и др)



Повышение безопасности ИВЛ

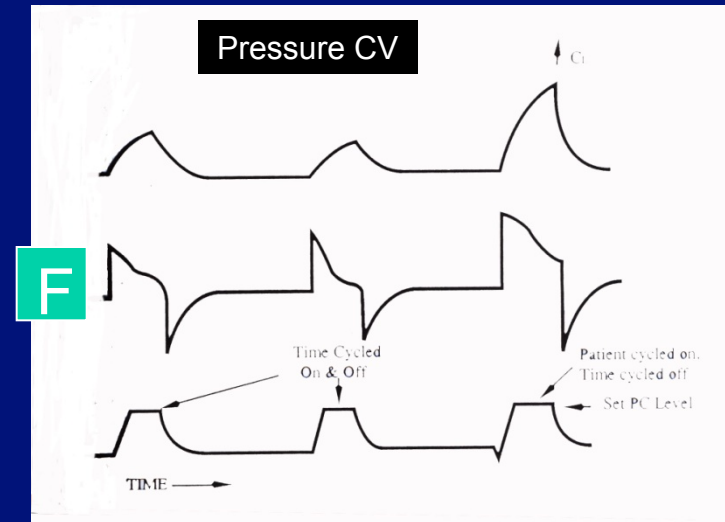
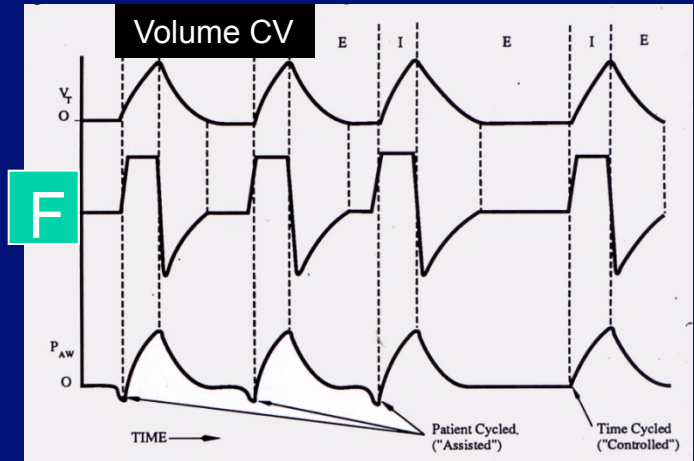
Частные вопросы ИВЛ

Pressure vs. Volume Ventilation

Стратегия, ограничивающая повреждение легких, может быть реализована при обоих типах вдоха

Но PCV безопаснее для легких и обеспечивает лучшее соответствие механического вдоха дыхательному паттерну

Но VCV надежнее обеспечивает оксигенацию и вентиляцию



Спонтанное дыхание — польза или вред? (1)

- При контролируемой вентиляции — всегда вред

Fighting («борьба» с респиратором) всегда приводит к повышению ВЧД и ухудшению гемодинамики

Спонтанное дыхание — польза или вред? (2)

При вспомогательной ИВЛ

Польза

- Дополнительный МОД — дополнительное выведение CO_2 и поступление O_2
- Профилактика ателектазов (неодинаковые вдохи)
- Повышение венозного возврата при низких V_T spont
- Уменьшение необходимости глубокой седации и миорелаксации — снижение длительности ИВЛ
- Улучшение V/Q отношений при ОРДС
- Улучшение синхронизации с респиратором и снижение работы дыхания

Предпосылки для ателектазирования (ателектотравмы!!!)

- Широко используются седативные средства, анальгетики и миорелаксанты
- Высокие концентрации кислорода вызывают абсорбционные ателектазы
- Низкие дыхательные объемы при спонтанном дыхании и искусственных вдохах обеспечивают преимущественно вентиляцию независимых участков легких
- Современная стратегия ИВЛ, сберегающая легкие (“lung protective strategy”), использующая низкие V_T и P_{plato} , может провоцировать альвеолярный дерекрутмент

Преодолеть ателектазирование... рекрутмент?

Множество методик рекрутмента,
преимущества которых друг перед другом
не очевидны.

Проблема - оценка эффективности
рекрутмента:

- улучшение оксигенации
- повышение податливости легких

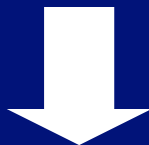
Алгоритмы респираторной поддержки

- Некая последовательность действий...
- Руководство для специалиста...
- Опыт оптимизации ИВЛ с целью повышения безопасности пациента...

Алгоритм подбора параметров ИВЛ (1)

Клинико-лабораторные показания к
проведению СРАР, ВІРАР:

- цианоз
- повышение работы дыхания (одышка, участие вспомогательной мускулатуры)
- $P_{aO_2} \approx 70$ мм.рт.ст., $S_{aO_2} \approx 90\%$ при $F_{iO_2} = 0,4$

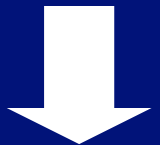


СРАР = 4-7 смH₂O, ВІРАР = 3/6 смH₂O

Алгоритм подбора параметров ИВЛ (2)

Клинико-лабораторные показания к проведению
ИВЛ:

- на фоне $\text{CPAP} \geq 7$ см H_2O или BiPAP сохраняется цианоз, повышенная работа дыхания (одышка, участие вспомогательной мускулатуры)
- $\text{PaO}_2 < 70$ мм.рт.ст., $\text{SaO}_2 = 88-92\%$ при $\text{FiO}_2 = 0,4$
- $\text{AaDO}_2 > 300$ мм.рт.ст. при $\text{FiO}_2 = 1,0$
- Стабильная гемодинамика
- Наличие других клинических показаний (!) и изменений биомеханики дыхания



Алгоритм подбора параметров ИВЛ (3)

Варианты:

- Вспомогательные режимы ИВЛ (!?)
- CMV(VC или PC) + PEEP=4-5 смH₂O, FiO₂=0,6, F=80% от возрастной нормы



1-й вариант результата

- Движения грудной клетки в полном объеме, PaO₂ ≥ 70 мм.рт.ст., SaO₂ = 93-95%
- Установить F, необходимую для поддержания PaCO₂ = 32-35 мм.рт.ст.
- Снизить FiO₂ до 0,45 – 0,3 (по SaO₂)
- Оценка состояния каждые 8-12 часов (?)

Алгоритм подбора параметров ИВЛ (4)

2-й вариант результата

- Движения грудной клетки ограничены
- Увеличивать PIP ступенчато по 2-3 см H₂O



Движения грудной клетки в полном объеме, $PaO_2 < 60$ мм.рт.ст.,
 $FiO_2 = 0,6$

- Увеличивать ступенчато РЕЕР по 1-2 смH₂O

Результат:

- $PaO_2 > 65$ мм.рт.ст $SaO_2 > 92\%$ - удовлетворительная оксигенация (остановиться)

Алгоритм подбора параметров ИВЛ (5)

$PEEP > 10-15 \text{ смH}_2\text{O}$ $PaO_2 < 60 \text{ мм.рт.ст}$ $SaO_2 < 90\%$

- Увеличить FiO_2 до 0,7-1,0

Результат:

- $PaO_2 > 65 \text{ мм.рт.ст}$ $SaO_2 > 92\%$ - удовлетворительная оксигенация (остановиться !)



$PIP > 35-40 \text{ смH}_2\text{O}$

Замедляющаяся форма волны инспираторного потока

- $PIP > 40-45 \text{ смH}_2\text{O}$, $MAP > 17-19 \text{ смH}_2\text{O}$, $I/E = 1:1$ $FiO_2 > 0,7$, $Clt < 10-16 \text{ мл/смH}_2\text{O}$, $PaO_2/FiO_2 < 90 \text{ мм.рт.ст.}$



- PC-IRV(2-6 ч.) – CMV

На каждом этапе оценка состояния !!!

Выбор «оптимального» РЕЕР при СОПЛ\ОРДС

- $P_{aO_2} > 60$ мм.рт.ст. при $FiO_2 < 0,5$ без нарушения сердечного выброса (Venus B., et al., 1979; Falke K.J., 1980)
- По градиенту $P(a-et) CO_2$ (Murray J.F., 1984; Николаенко Э.М., 1989)
- Концепция «Open Lung» (Lachmann B, 1992)
- По петле $Vt \backslash P_{aw}$ (Benito S., Lemaire F., 1990; Lewandowski K., 1995)
- Протокол CMV с малыми дыхательными объемами (ARDS Network, 2005)

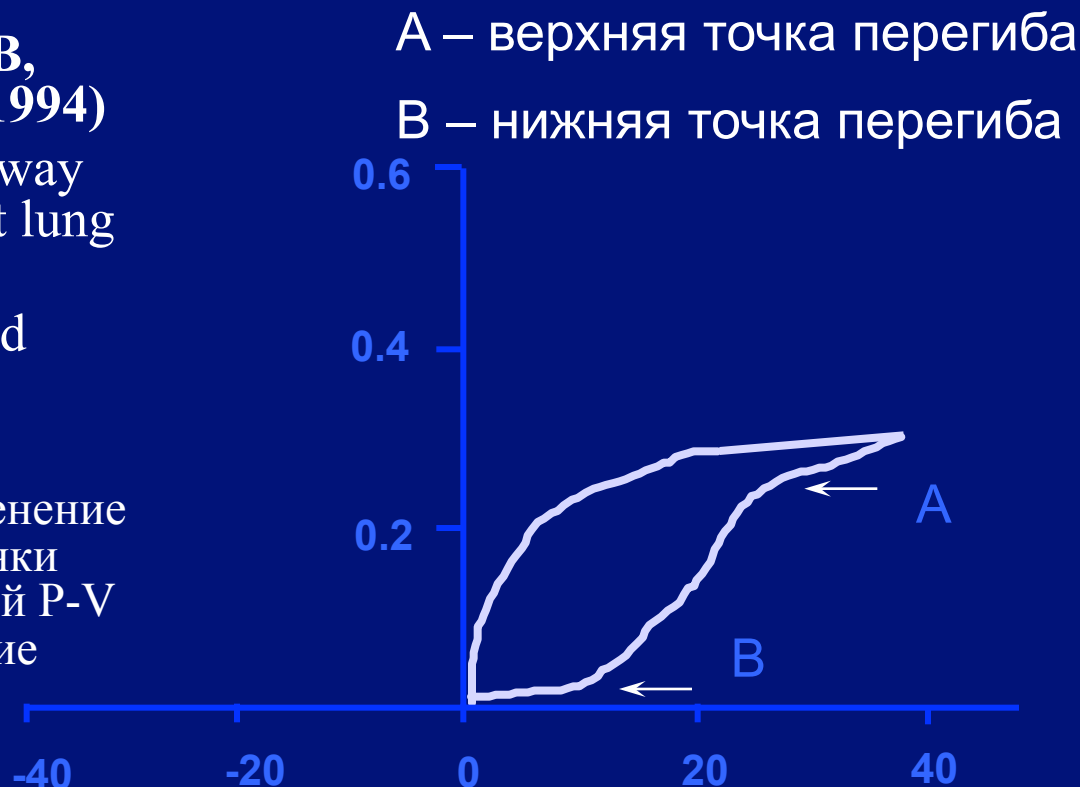
Экспериментальные работы

Muscedere JG, Mullen JB,
Gan K, Slutsky AS (1994)

Tidal ventilation at low airway pressures can augment lung injury.

Am J Respir Crit Care Med
149:1327–1334

- При высоких VT применение РЕЕР выше нижней точки перегиба на статической P-V кривой защищало легкие



Slutsky AS (1999) Lung injury caused by mechanical ventilation. Chest
116:9S-15S

- ◆ Новый термин – ателектотравма

Кривая давление/объем при объемной вентиляции легких

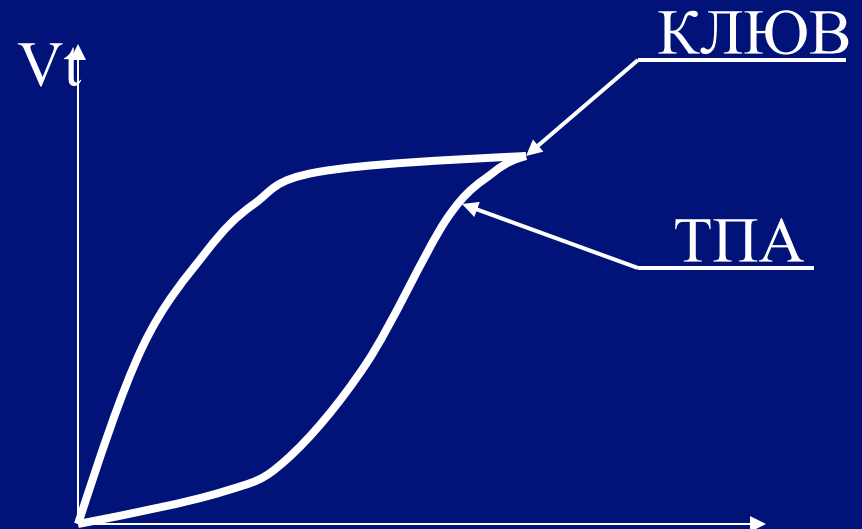


Протокол подбора параметров ИВЛ (1)

1 этап. Респираторная поддержка начиналась в режиме VC с V_t -8 мл/кг и уровнем PEEP=0 смH₂O с нахождением по петле V_t /Paw точки открытия альвеол (ТОА)



2 этап. При появлении признаков перерастяжения: клювообразная петля и точка перерастяжения альвеол (ТПА) V_t снижался на 30-50 мл до исчезновения «клюва» на петле

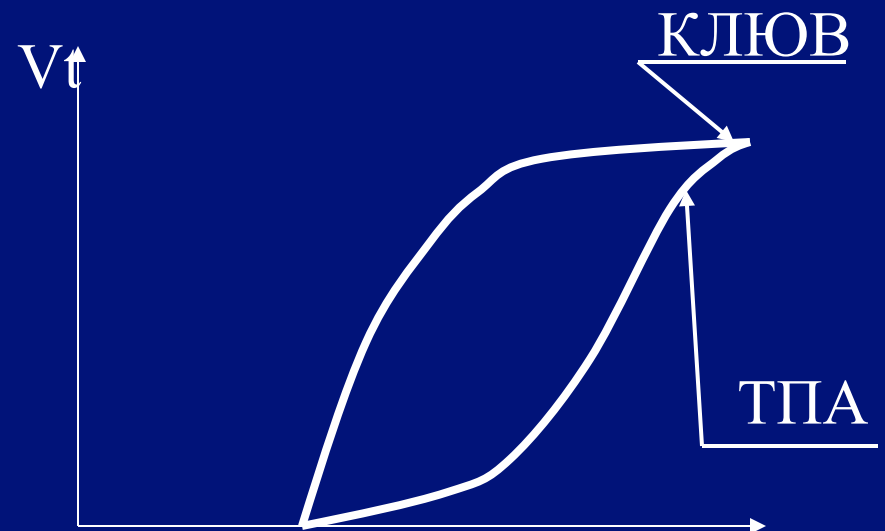
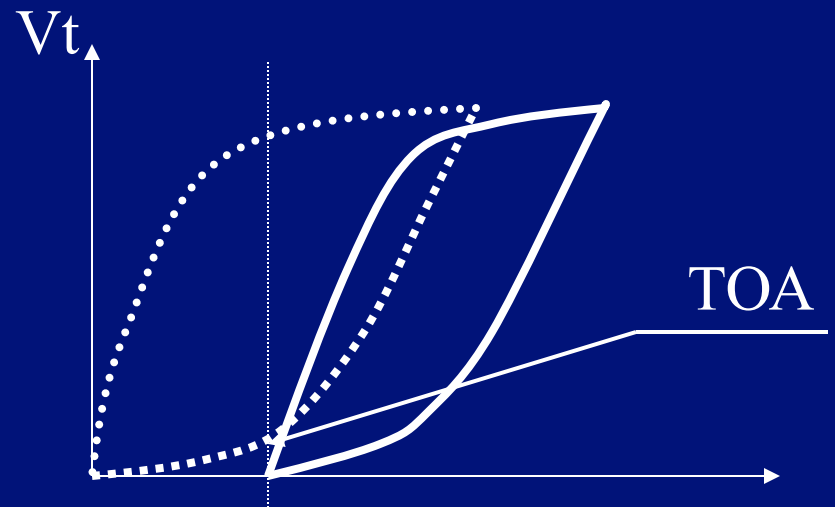


Протокол подбора параметров ИВЛ (2)

3 этап. Установка РЕЕР на уровне точки открытия альвеол (ТОА)

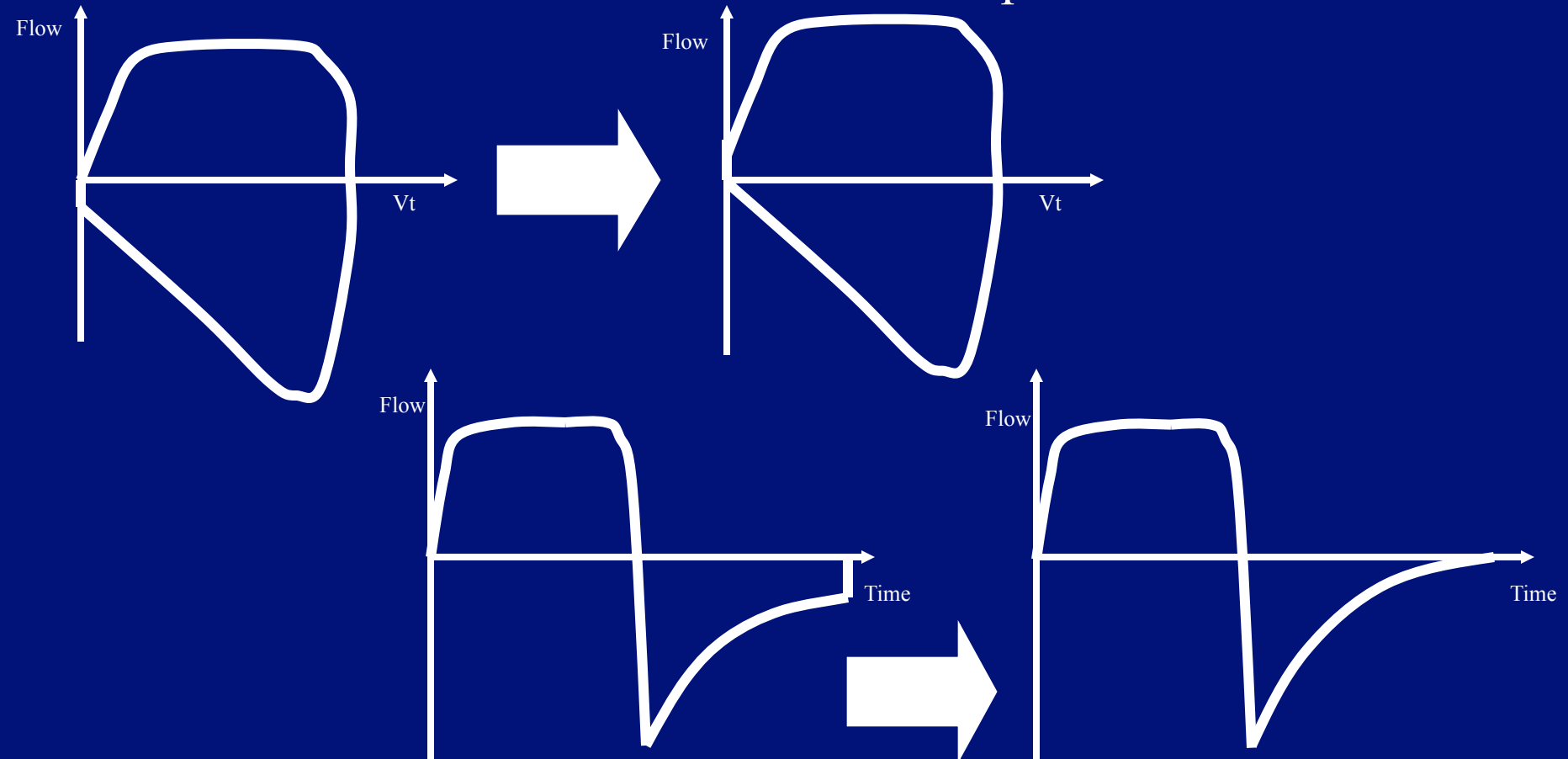
4 этап. Коррекция V_t :

- при появлении признаков перерастяжения: клювообразная петля и точка перерастяжения альвеол (ТПА) - осуществлялось снижение V_t на 30-50 мл до исчезновения «клюва» на петле;
- при эллипсообразной петле увеличиваем V_t на 30-50 мл до появления «клюва» или снижения C_{lt} , снижаем V_t на 5-10% и устанавливаем уровень РІР не более точки перерастяжения альвеол.



Протокол подбора параметров ИВЛ (3)

5 этап. Подбор MV по $P_{et}CO_2$ - 30-35 мм.рт.ст., с дальнейшей коррекцией F, I:E, Flow по кривой поток/время и петле поток/объем - создание достаточного времени выдоха

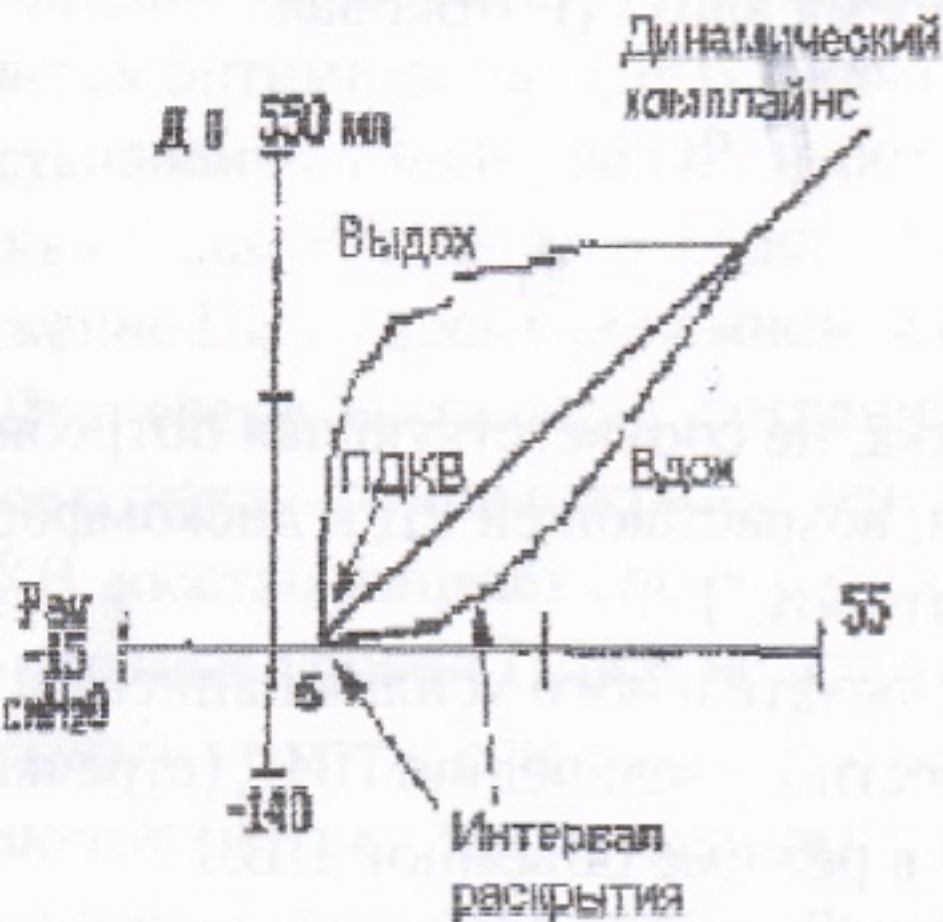


Протокол подбора параметров ИВЛ (4)

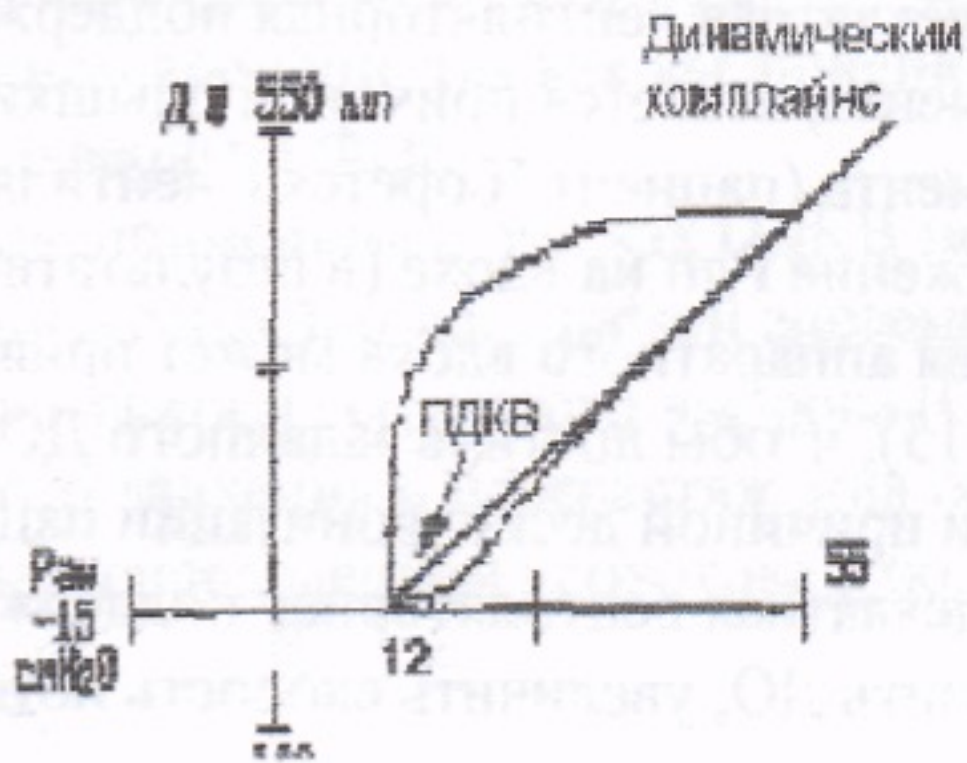
6 этап. Выбор FiO_2 по данным оксигенации: SpO_2 более 95%,
 PaO_2 более 80 мм.рт.ст.

7 этап. Регистрация параметров респираторной поддержки VC
и механических свойств легких (Clt, Raw)

Подбор РЕЕР по петле объем/давление (клинический пример)



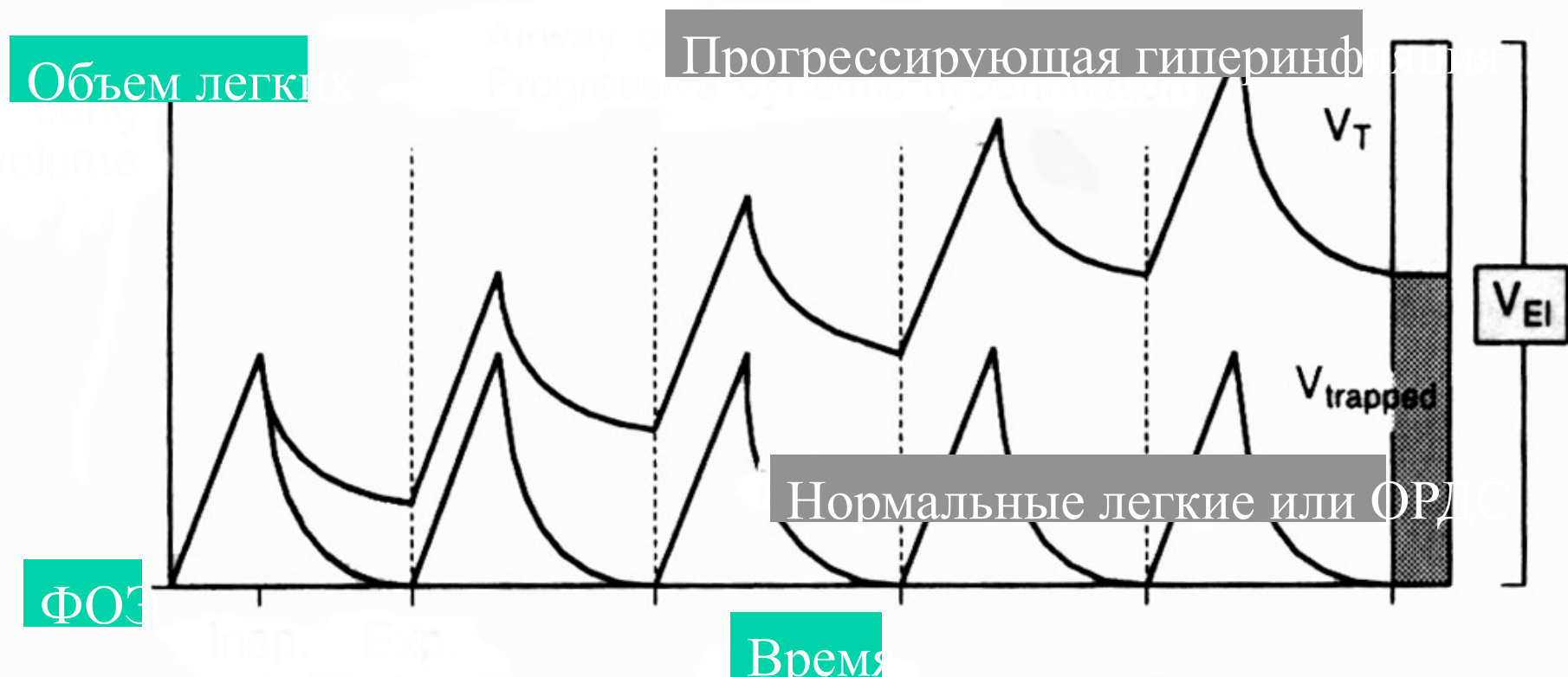
Увеличение РЕЕР
с 5 до 12 смН2О



Особенности ИВЛ при обструктивной ОДН

Механизм динамической гиперинфляции и auto-PEEP

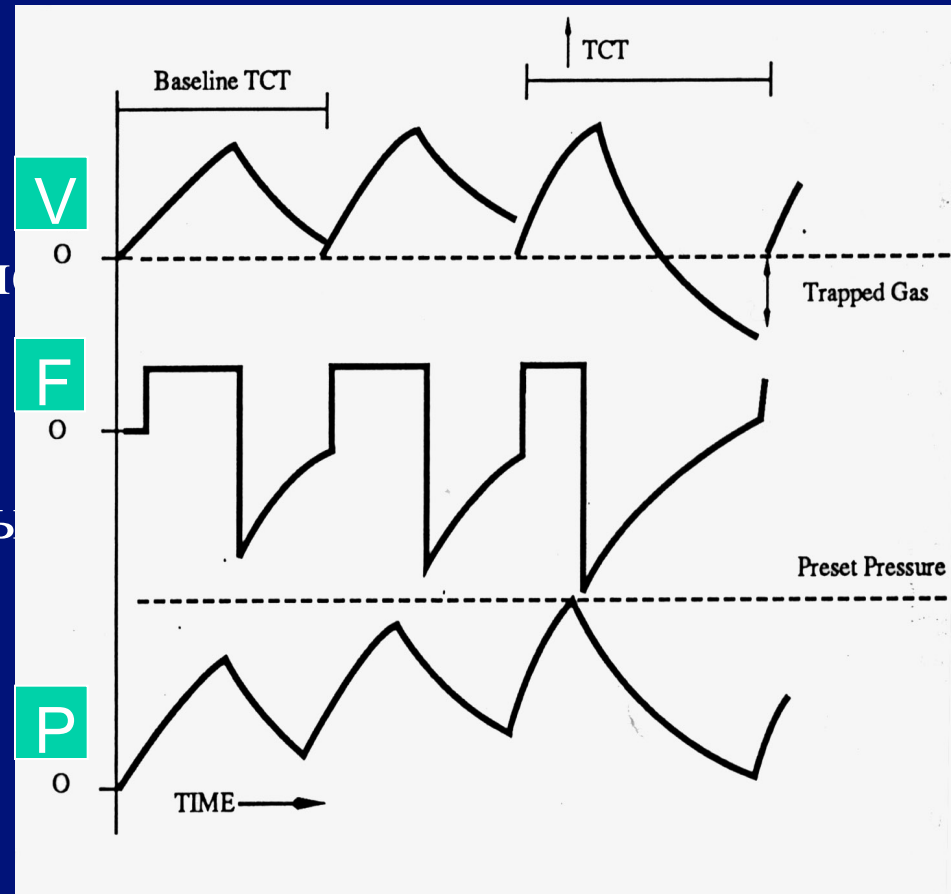
Воздушная ловушка в
легких



Диагностика динамической гиперинфляции и auto PEEP

Подозрение:

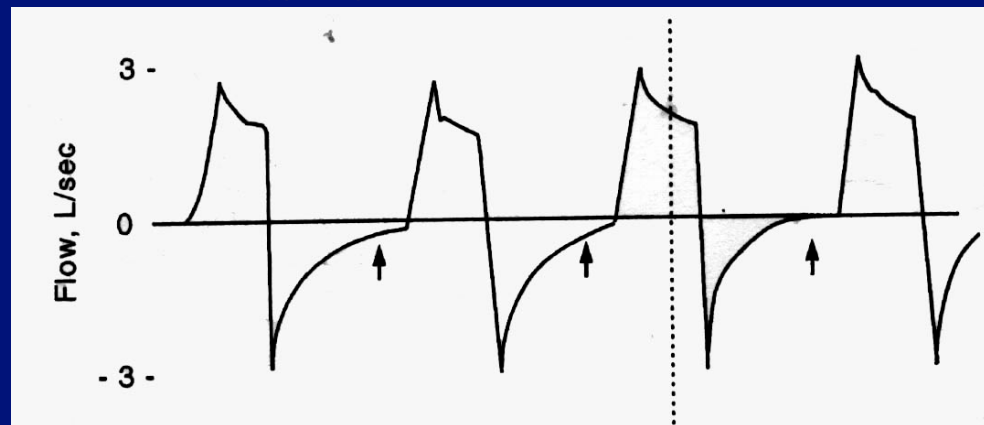
- повышение давления в дыхательных путях (объемный режим), снижение V_t (режим по давлению), снижение комплайенса
- гемодинамические проблемы
- нарушение триггирования вдоха



Диагностика динамической гиперинфляции и auto PEEP

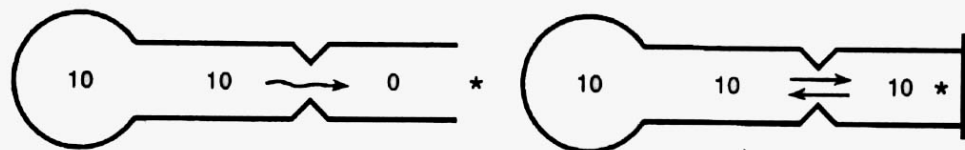
Оценка:

- после апноэ 30-50 с давление в дыхательных путях снижается (объемный режим), V_t нарастает (режим по давлению), комплаенс увеличивается
- окклюзия в конце выдоха — оценка давления
- кривая поток-объем — незавершенность выдоха



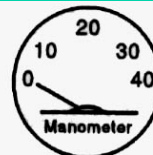
С auto PEEP

Без auto PEEP



Конец выдоха

Окклюзия в конце выдоха



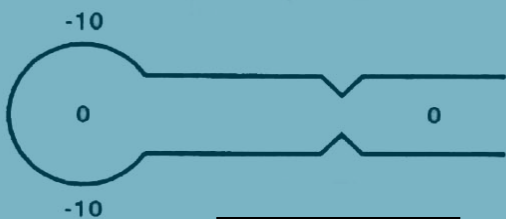
Компенсация динамической гиперинфляции и auto PEEP

- Внешний контр – РЕЕР (до 80% от auto РЕЕР из-за опасности гемодинамических нарушений)

Внешний РЕЕР=0



Постоянный поток в конце выдоха

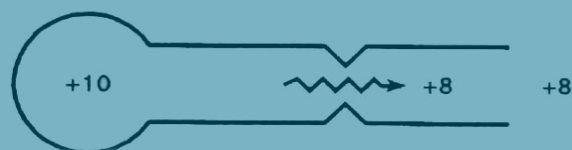


Нет потока

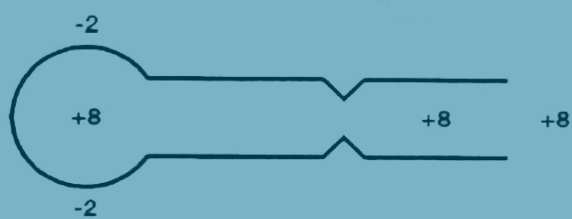


Поток триггирован

Внешний РЕЕР=8 cm H₂O



Постоянный поток в конце выдоха



Нет потока



Поток триггирован

Принципы ИВЛ при обструктивной ОДН (ХОБЛ)

- Легкая седация и ИВЛ в любом режиме, лучше неинвазивном
- Предупреждение гиперинфляции:
 - F— лучше 10-12
 - Вентиляция по объему: - 8 мл/кг, высокий пиковый поток — 70-100 л/мин
 - Вентиляции по давлению: высокая скорость повышения давления, ограничение P_{max} 30 *см H₂O*
 - Слегка сдутая манжета интубационной трубки
 - Внешний РЕЕР — до 80% от ауто-РЕЕР (варианты подбора)
- Разрешительная гиперкапния: (?)
 - $pH > 7,15-7,20$
 - pCO_2 - не принципиально
 - Бикарбонат натрия — при нестабильности гемодинамики

Оценка эффективности респираторной поддержки

- Удовлетворительная (достаточная) экскурсия грудной клетки
- Проведение дыхательных шумов с обеих сторон
- Выполнение условий концепции «безопасной ИВЛ»
- Удовлетворительная ($\text{SaO}_2 > 90\%$, $\text{PaO}_2 > 60$ мм.рт.ст.) или достаточная ($\text{SaO}_2 > 95\%$, $\text{PaO}_2 > 80$ мм.рт.ст.) оксигенация
- Стабильное состояние жизненно важных функций организма?!



НЕТ ПАНАЦЕИ !

**«Золотые руки» + «Золотые головы»
опытного специалиста не
воспроизведены пока еще ни в одном из
самых современных аппаратов !**