

# ИВЛ у пациентов с обострением ХОБЛ



Кулаков В.Ф.  
Назаренко А.О.

# Определение



## Хроническая Обструктивная Болезнь Легких

**ХОБЛ** – заболевание, характеризующееся персистирующим ограничением воздушного потока, которое обычно прогрессирует и является следствием хронического воспалительного ответа дыхательных путей и легочной ткани на воздействие ингалируемых повреждающих частиц или газов. Обострения и коморбидные состояния являются неотъемлемой частью болезни и вносят значительный вклад в клиническую картину и прогноз.

**Обострение ХОБЛ** это острое событие, характеризующееся ухудшением респираторных симптомов, которое выходит за рамки их обычных ежедневных колебаний и приводит к изменению режима используемой терапии.

# Распространенность



ХОБЛ относится к числу наиболее распространенных заболеваний человека. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), заболеваемость ХОБЛ составляет 9,3 на 1000 населения среди мужчин и 7,3 – среди женщин старше 40 лет. В структуре заболеваемости, ХОБЛ занимает 4-е место среди причин смерти в мире.

# Прогноз



По прогнозам ERS к 2030 году ХОБЛ будет третьей ведущей причиной смерти.

Одногодичная летальность пациентов с обострением ХОБЛ, требующих неинвазивной вентиляции (НВЛ) составляет 28%, а перевода в отделение реанимации и интенсивной терапии - 43%.

European Respiratory Society. European Respiratory Society's white book. Sheffield: European Respiratory Society; 2016.

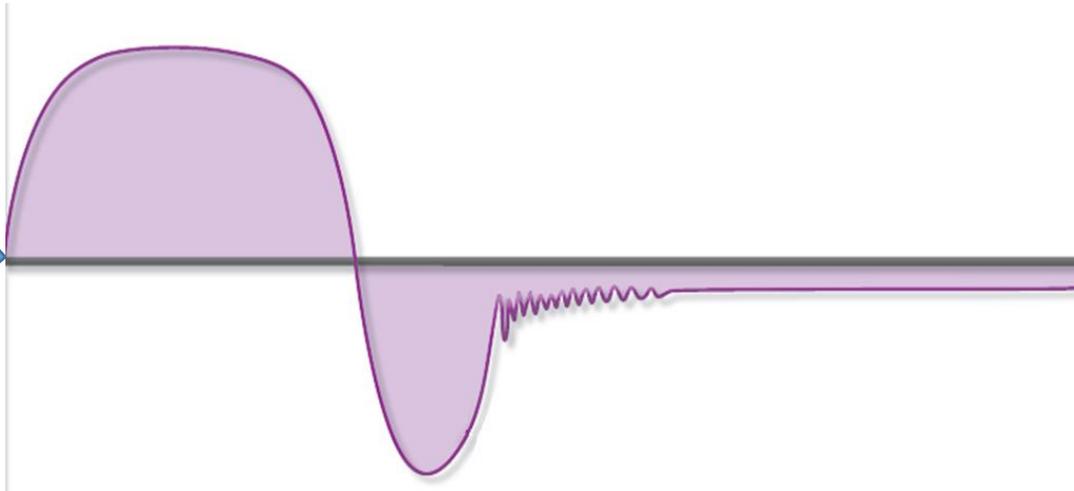
Marco Mantero et al. Management of severe COPD exacerbations: focus on beclomethasone dipropionate/formoterol/glycopyrronium bromide. Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. 2018;

Ko FW, et al. Acute exacerbation of COPD. Respirology. 2016;

# Патофизиология ХОБЛ

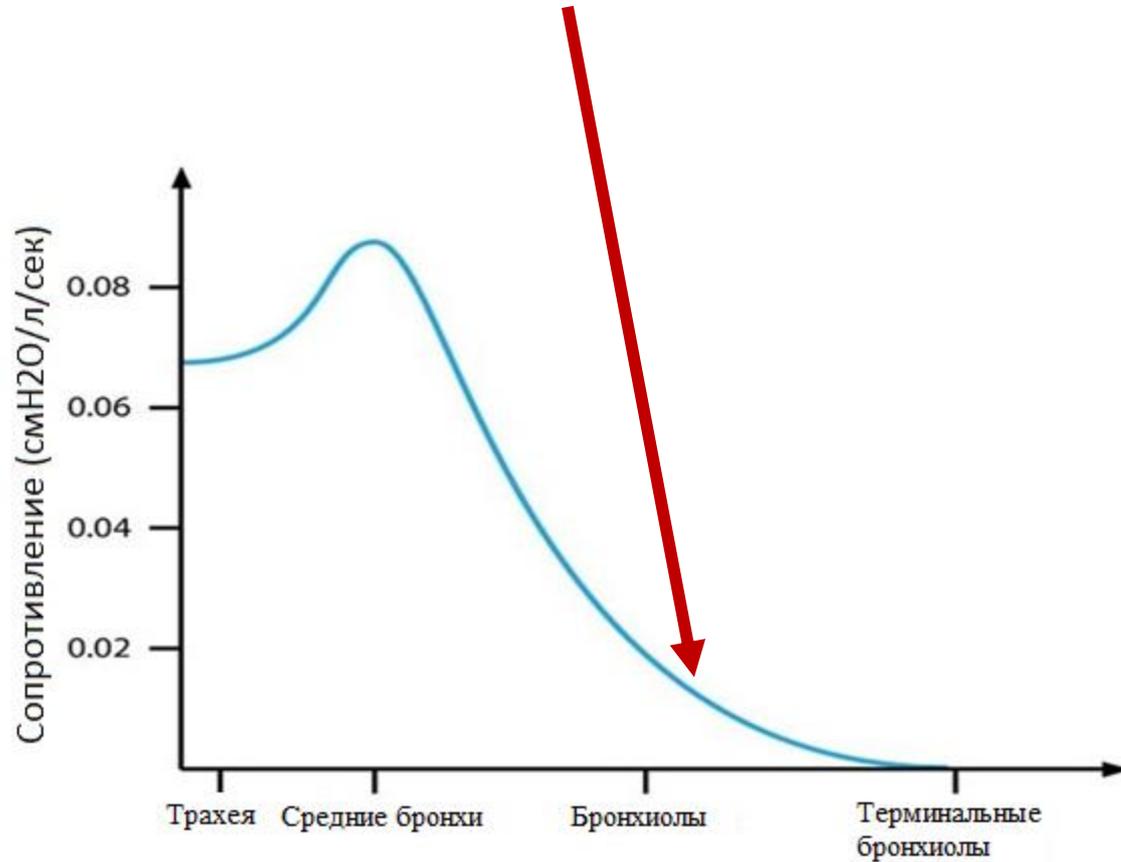
## ОБСТРУКЦИЯ

... ведет к персистирующему и прогрессирующему ограничению воздушного потока



# Сопrotивление воздухоносных путей

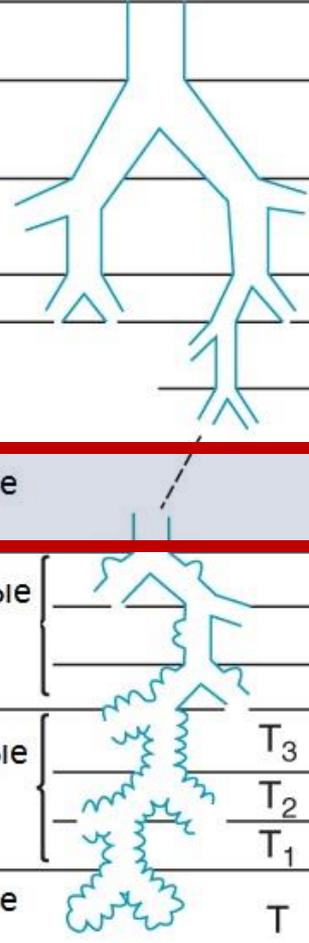
В здоровых легких мелкие воздухоносные пути вносят незначительный вклад в общее сопротивление: около 10 %



# Площадь поперечного сечения

Морфометрическая структура легких по А. Weibel, 1963

		Генерация	Диаметр, см	Длина, см	Кол-во	Общее поперечное сечение, см.кв	
Кондуктивная зона	Трахея	0	1.80	12.0	1	2.54	
	Бронхи	1	1.22	4.8	2	2.33	
		2	0.83	1.9	4	2.13	
	Бронхиолы	3	0.56	0.8	8	2.00	
		4	0.45	1.3	16	2.48	
		5	0.35	1.07	32	3.11	
	Терминальные бронхиолы	16	0.06	0.17	$6 \times 10^4$	180.0	
Транзиторная и респираторная зоны	Респираторные бронхиолы	17	↓	↓	↓	↓	
		18	↓	↓	↓	↓	
		19	0.05	0.10	$5 \times 10^5$	$10^3$	
	Альвеолярные ходы	T <sub>3</sub>	20	↓	↓	↓	↓
		T <sub>2</sub>	21	↓	↓	↓	↓
		T <sub>1</sub>	22	↓	↓	↓	↓
	Альвеолярные мешочки	T	23	0.04	0.05	$8 \times 10^6$	$10^4$



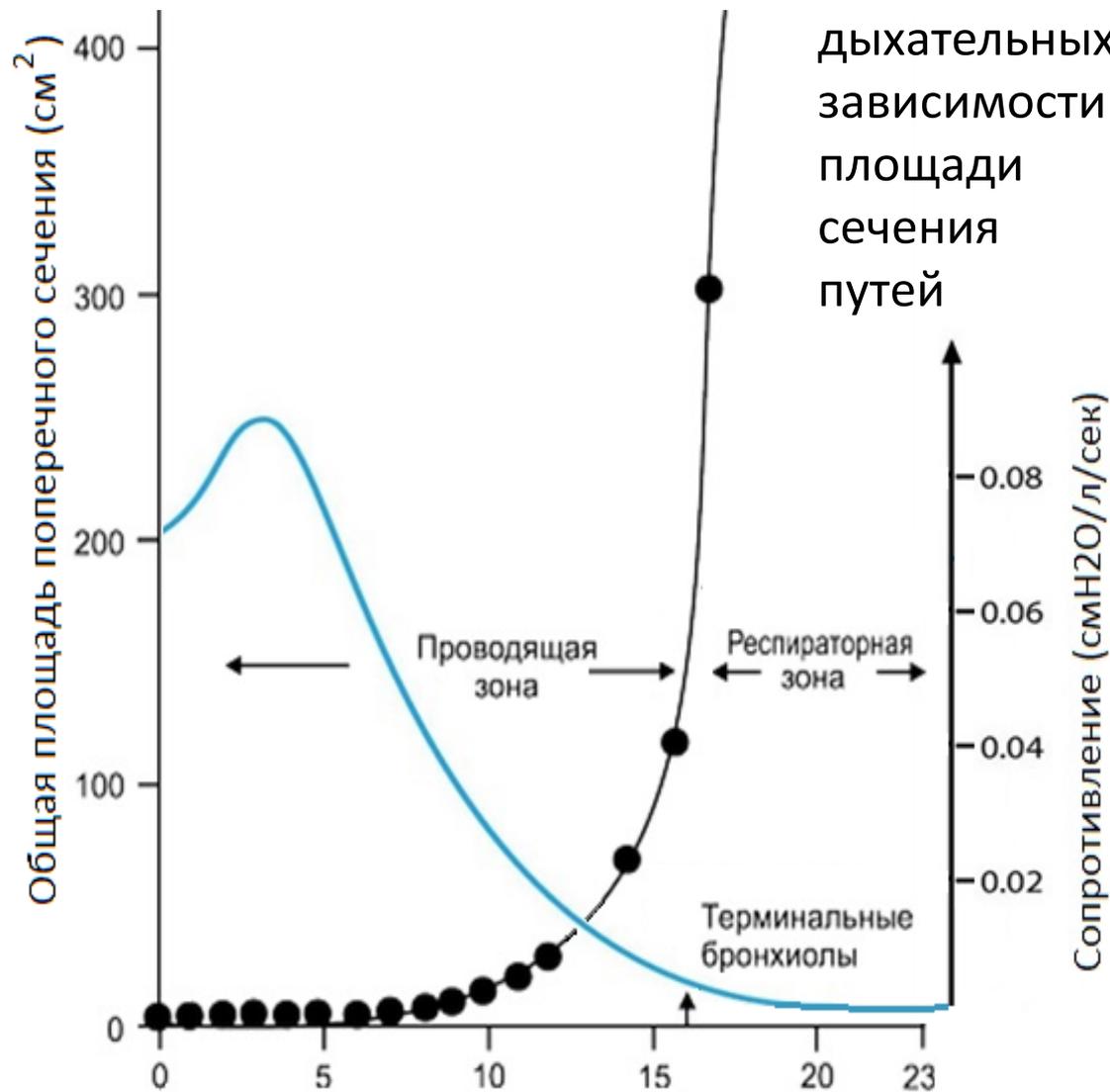
Weibel ER. Morphometry of the Human Lung. New York: Academic, 1963.

# Площадь поперечного сечения



Резкое возрастание площади поперечного сечения дыхательных путей в соответствии с моделью Weibel (1963)

# Сопrotивление падает по мере возрастания площади сечения

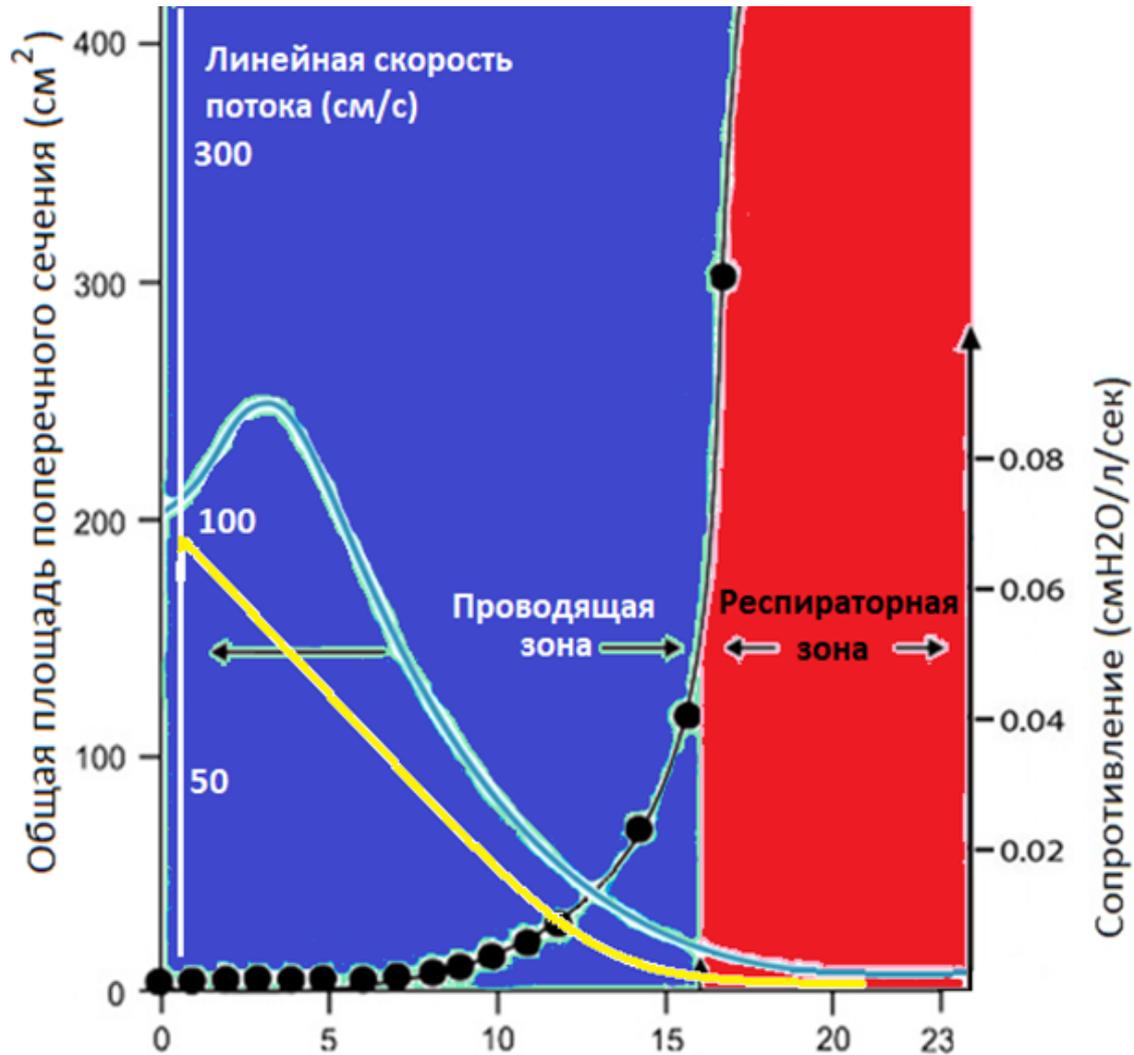


Снижение сопротивления дыхательных путей в зависимости от роста площади поперечного сечения дыхательных путей

Weibel ER. Morphometry of the Human Lung. New York: Academic, 1963.

West J.B. Respiratory Physiology — the Essentials. 7th ed. — Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins, 2005.

# В респираторной зоне скорость линейного потока близка к нулю



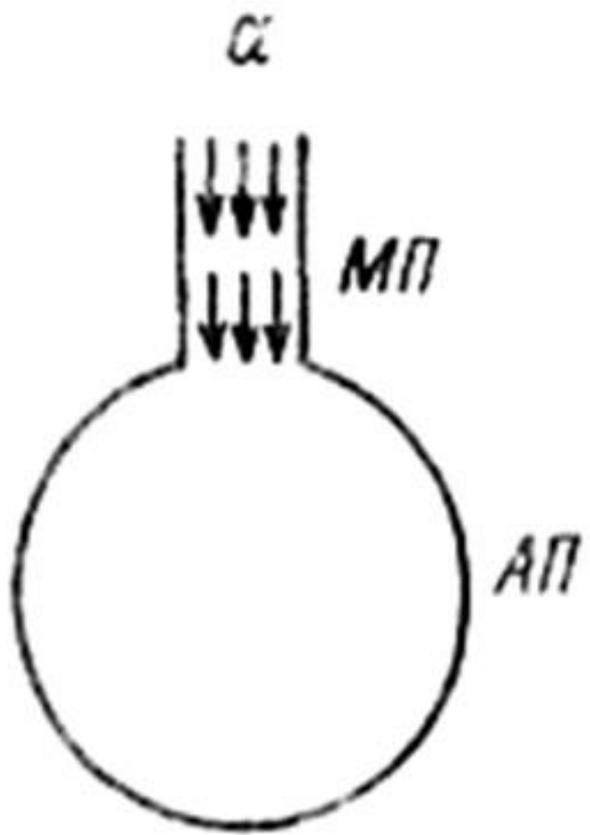
Падение скорости линейного потока

Weibel ER. Morphometry of the Human Lung. New York: Academic, 1963.

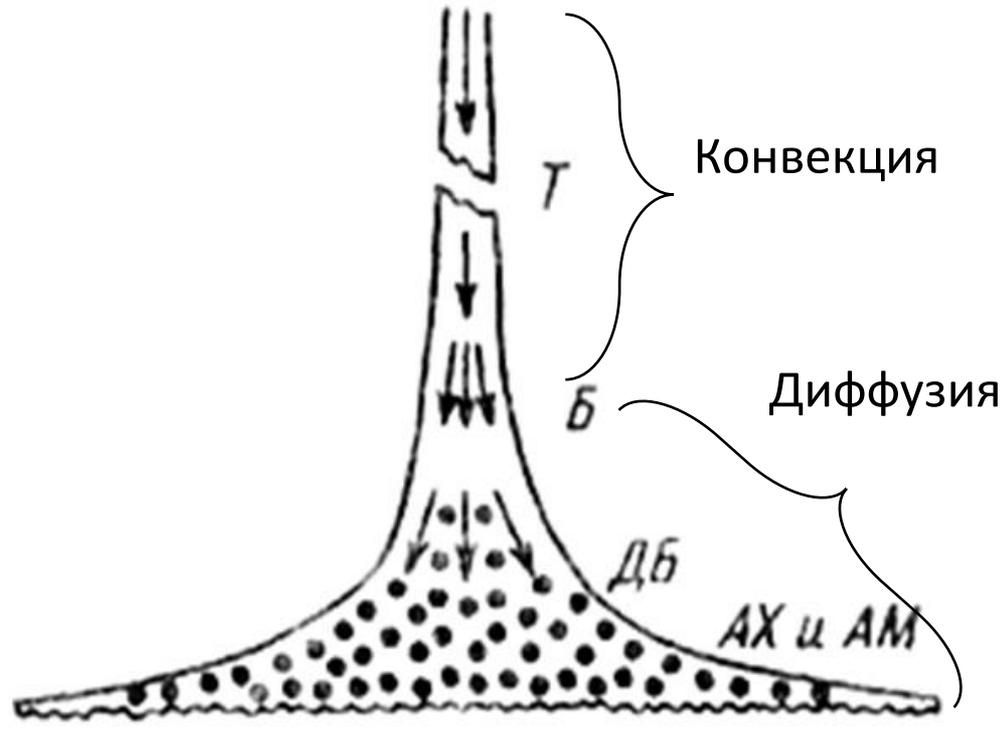
Руководство по клинической физиологии дыхания; Под ред. Л. Л. Шика, Н. Н. Канаева. 1980.

West J.B. Respiratory Physiology — the Essentials. 7th ed. — Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins, 2005.

# Две модели вентиляции альвеол



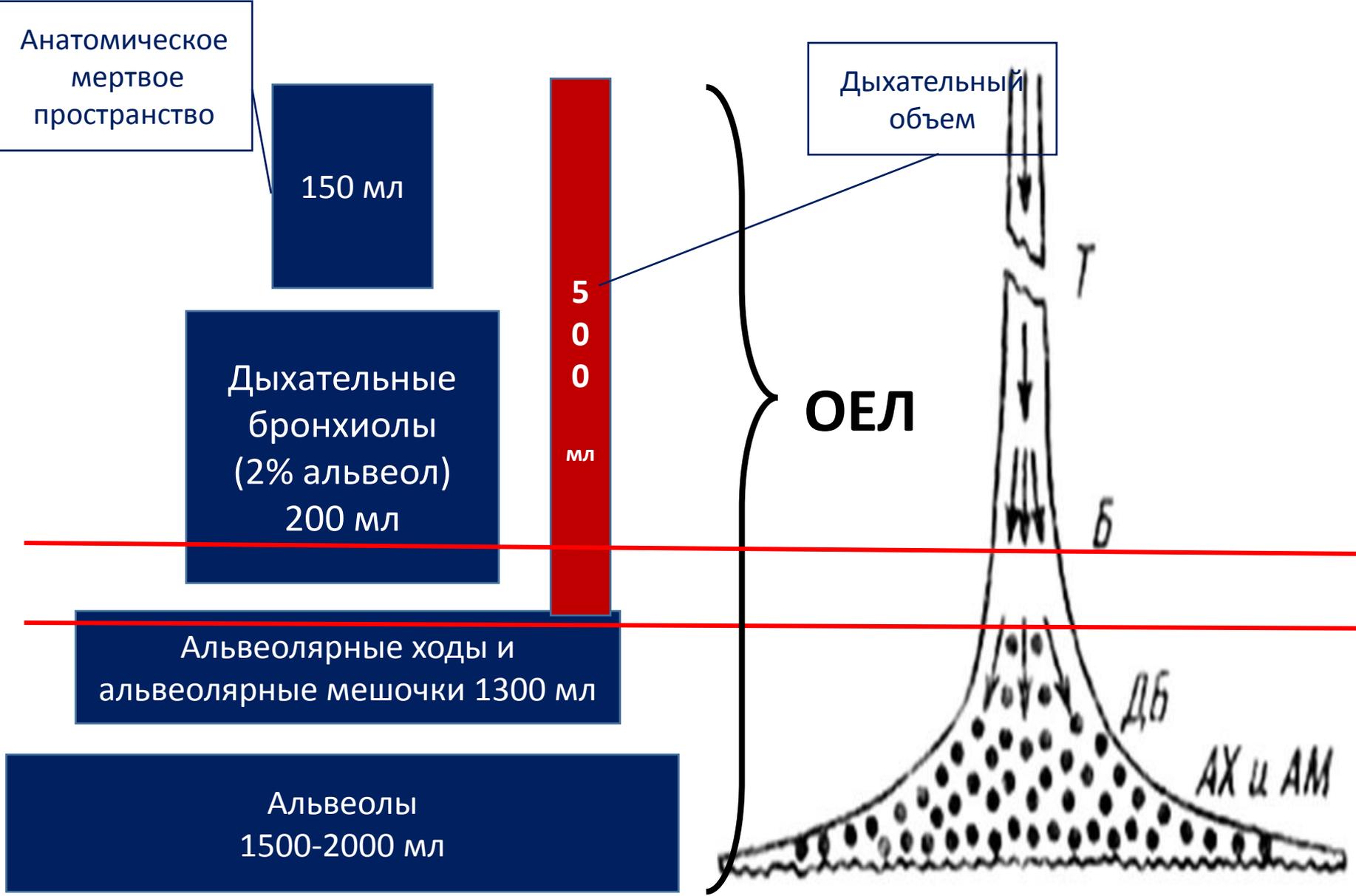
Анатомическая  
(классическая)



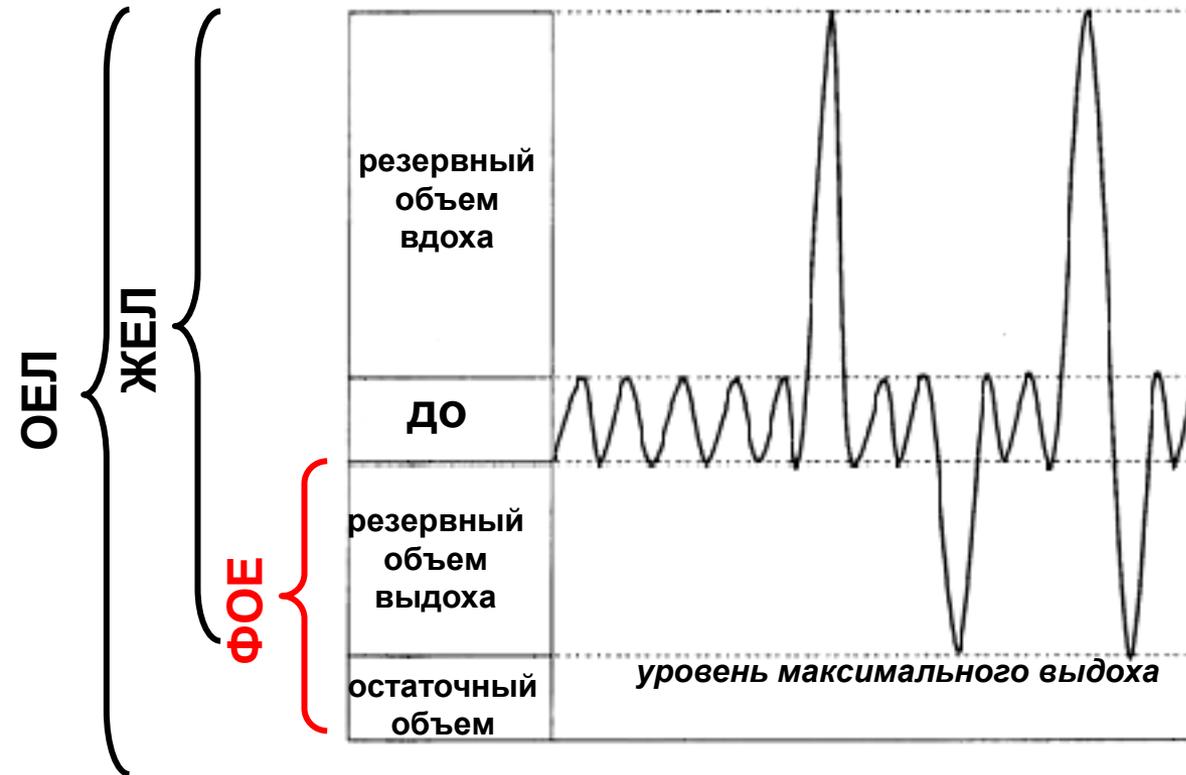
Функциональная

**Диффузия** — процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого, приводящий к самопроизвольному выравниванию их концентраций по всему занимаемому объёму.

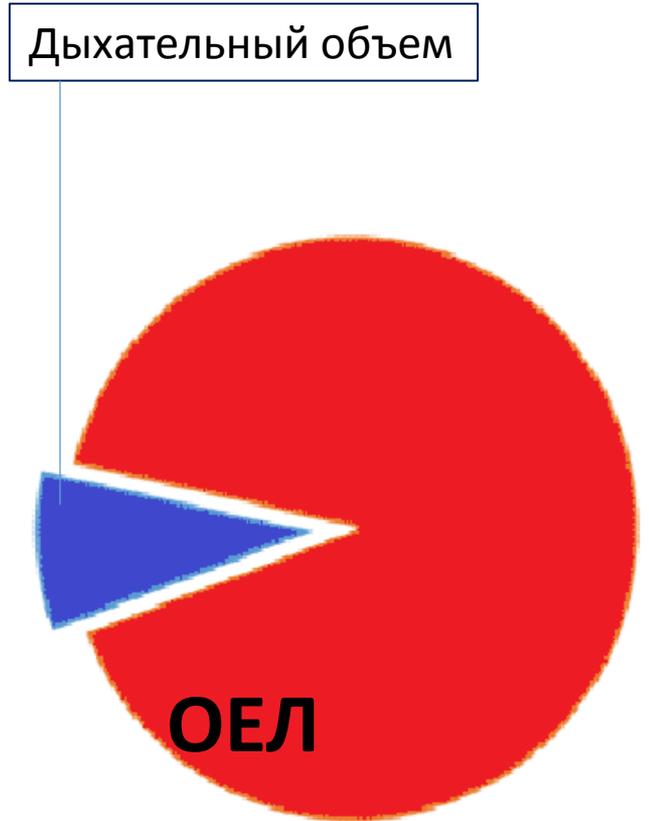
# Соотношение объемов легких



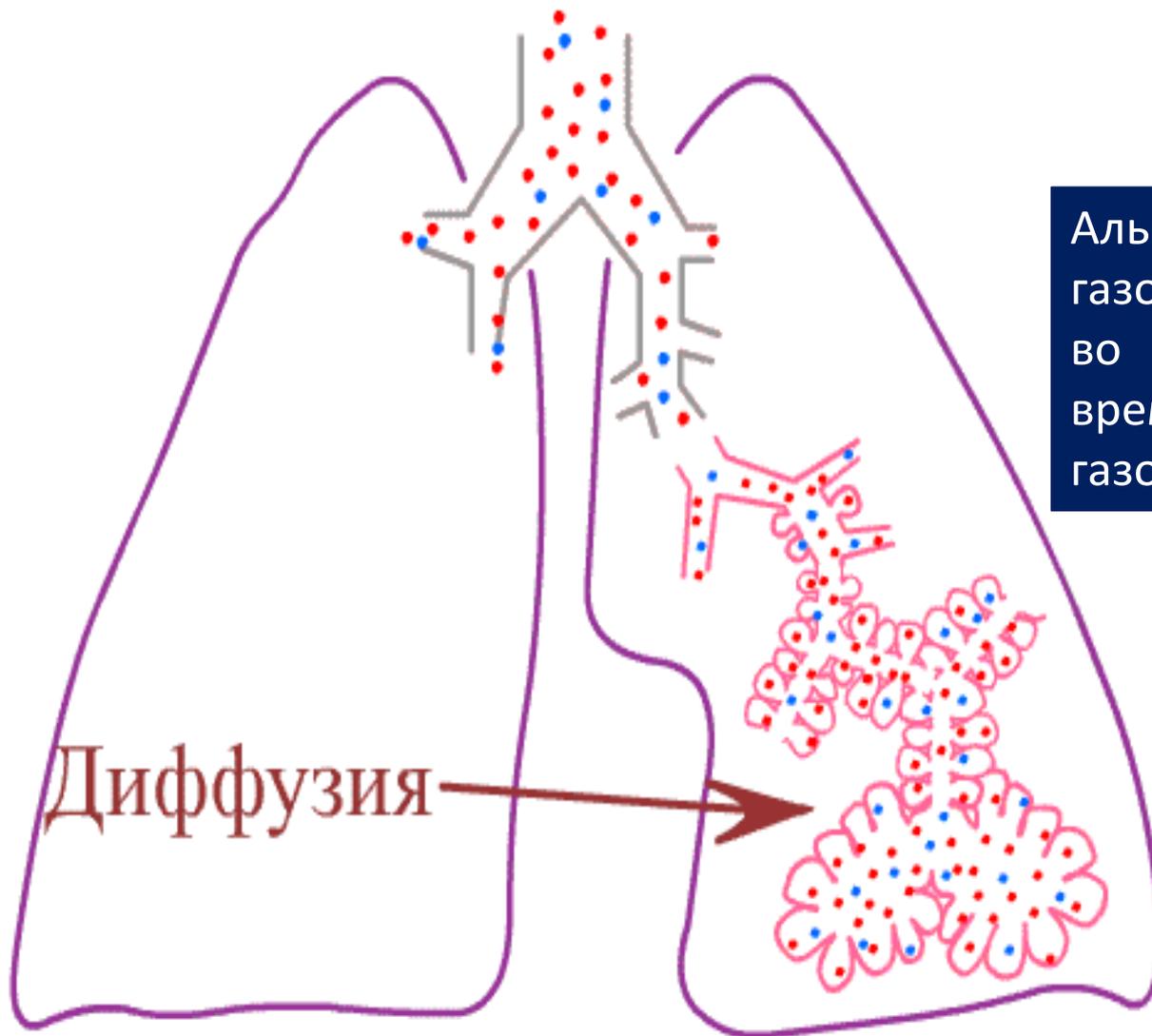
# Соотношение объемов легких



Легочные объемы



# Зона конвекции и зона диффузии



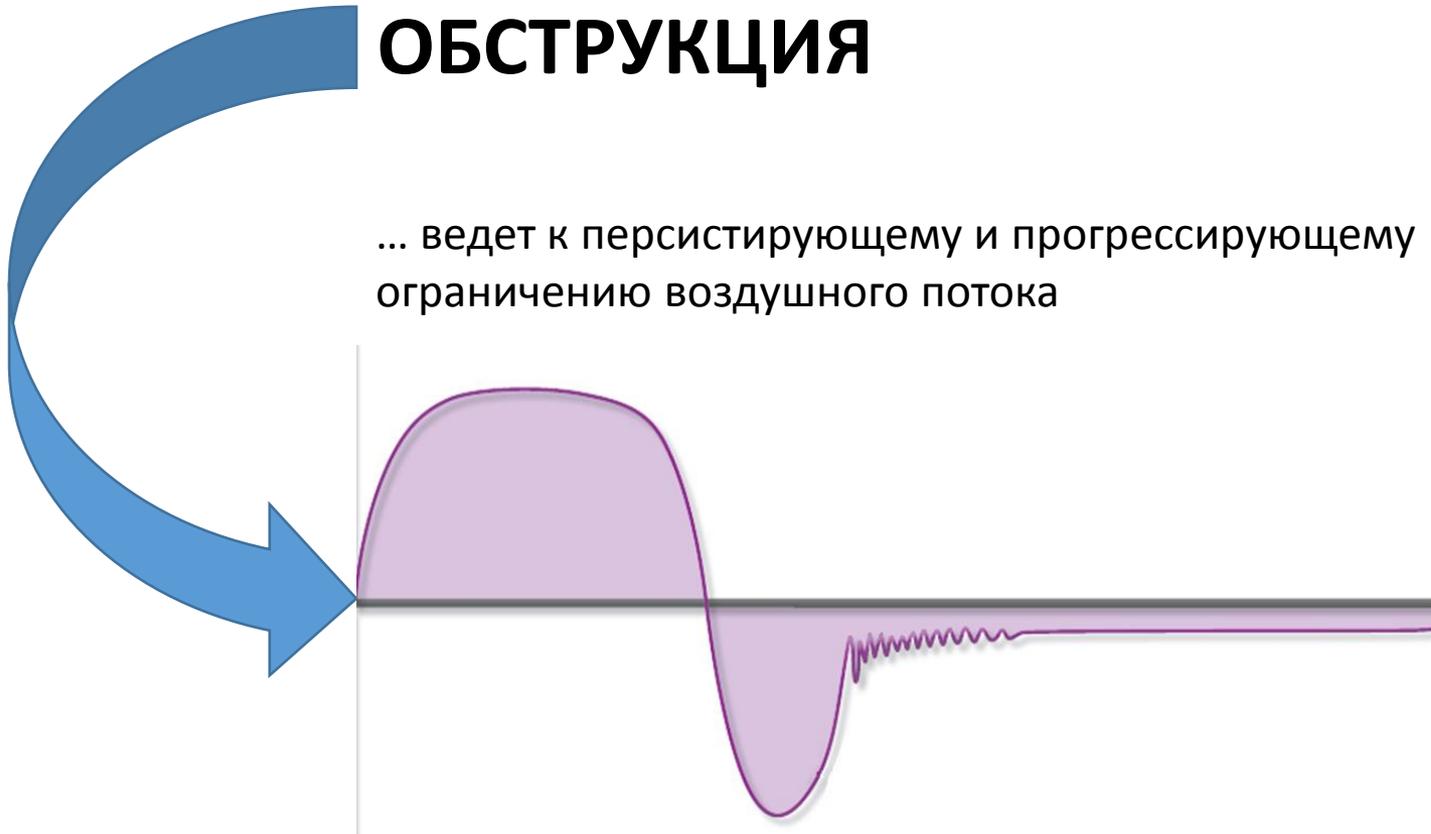
Альвеоларно-капиллярный газообмен происходит как во время вдоха, так и во время выдоха за счет газовой смеси ФОЕ

$P_{aO_2}$  не меняется в зависимости от фазы вдоха или выдоха

Почему область дыхательных путей, которая в норме обладает наименьшим сопротивлением, при ХОБЛ играет ключевую роль в ограничении потока?

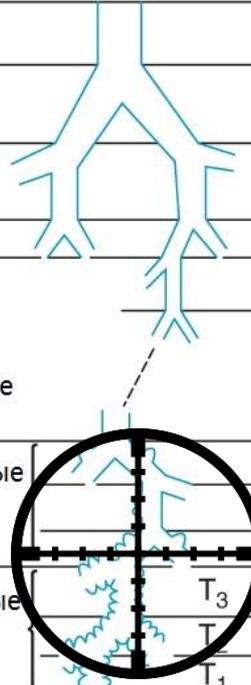
## ОБСТРУКЦИЯ

... ведет к персистирующему и прогрессирующему ограничению воздушного потока



# ХОБЛ - «Болезнь малых дыхательных путей»

	Генерация		Диаметр, см	Длина, см	Кол-во	Общее поперечное сечение. см.кв	
Кондуктивная зона	Трахея	0	1.80	12.0	1	2.54	
	Бронхи	1	1.22	4.8	2	2.33	
		2	0.83	1.9	4	2.13	
	Бронхиолы	3	0.56	0.8	8	2.00	
		4	0.45	1.3	16	2.48	
		5	0.35	1.07	32	3.11	
Терминальные бронхиолы		16	0.06	0.17	$6 \times 10^4$	180.0	
Транзиторная и респираторная зоны	Респираторные бронхиолы	17	↓	↓	↓	↓	
		18	↓	↓	↓	↓	
		19	0.05	0.10	$5 \times 10^5$	$10^3$	
	Альвеолярные ходы	T <sub>3</sub>	20	↓	↓	↓	↓
		T	21	↓	↓	↓	↓
		T <sub>1</sub>	22	↓	↓	↓	↓
	Альвеолярные мешочки	T	23	0.04	0.05	$8 \times 10^6$	$10^4$



Частицы, вызывающие воспаление, задерживаются на уровне терминальных бронхиол и не способны продвигаться дальше из-за прекращения конвекционного потока.

**16-19 порядок**

Altshuler B, Palmes ED, Yarmus L, Nelson N. Intrapulmonary mixing of gases studied with aerosols. J.Appl. Physiol. 1959;

# Редукция числа терминальных бронхиол и их диаметра



NIH Public Access

Author Manuscript

*N Engl J Med.* Author manuscript; available in PMC 2012 April 27.

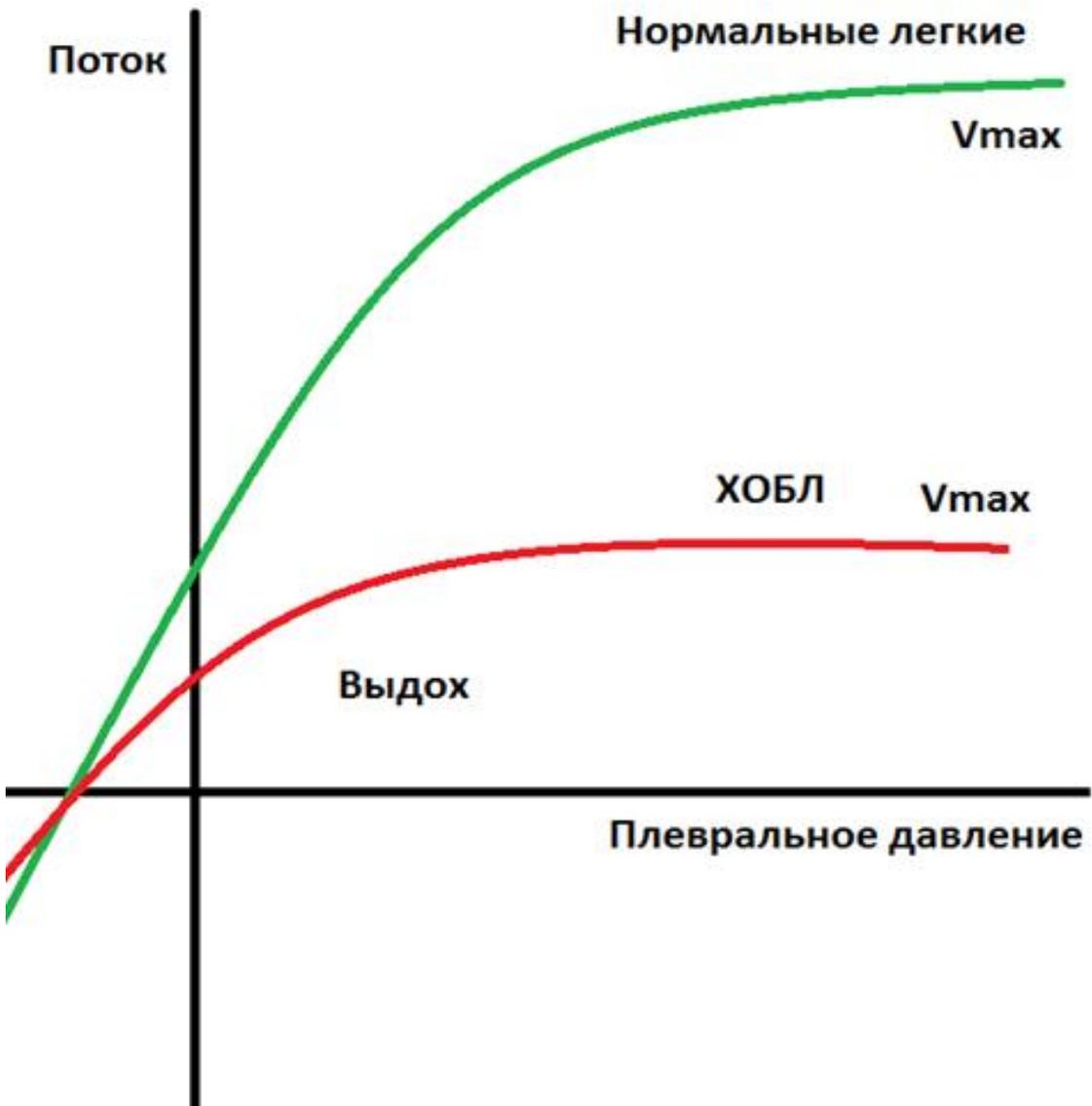
Published in final edited form as:

*N Engl J Med.* 2011 October 27; 365(17): 1567–1575. doi:10.1056/NEJMoa1106955.

## Small-Airway Obstruction and Emphysema in Chronic Obstructive Pulmonary Disease

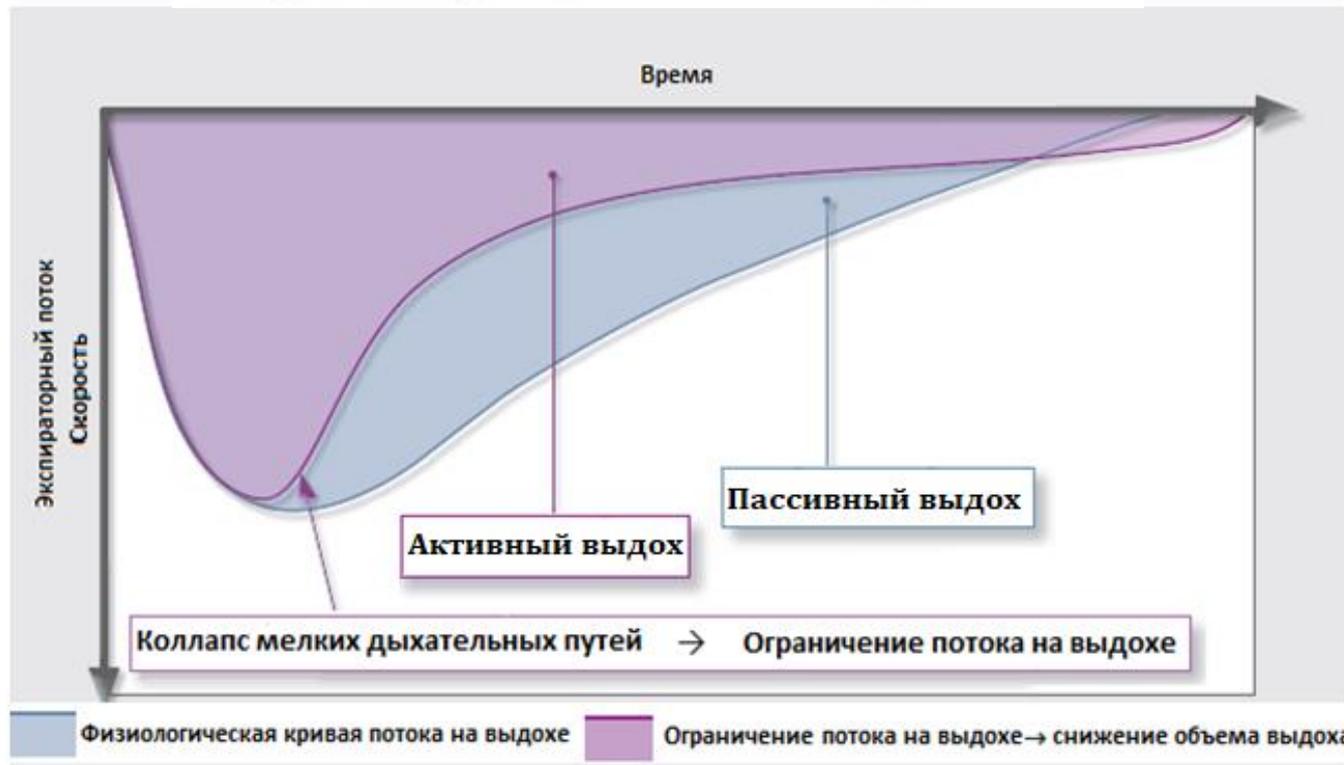
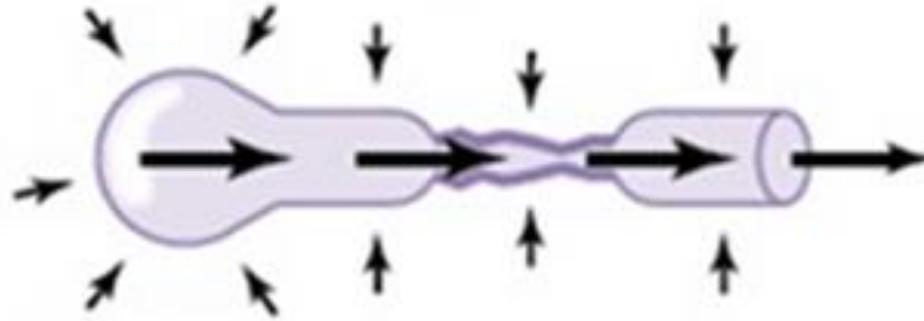
- Число терминальных бронхиол при ХОБЛ 4 ст. по GOLD уменьшается в 4 - 10 раз
- Средний диаметр терминальных бронхиол редуцируется с 400 до 50 мкм
- Площадь поперечного сечения конечных бронхиол снижается до 100 раз

# Ограничение скорости экспираторного потока



Tobin, M. J Ventilatory Failure, Ventilator Support, and Ventilator Weaning. Comprehensive Physiology. 2012.

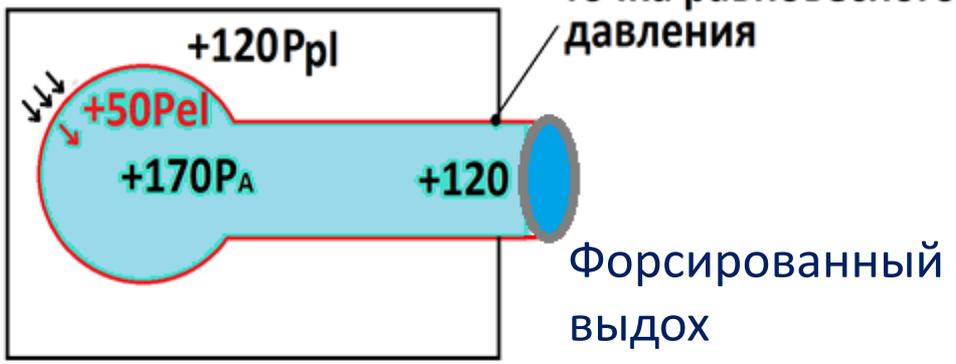
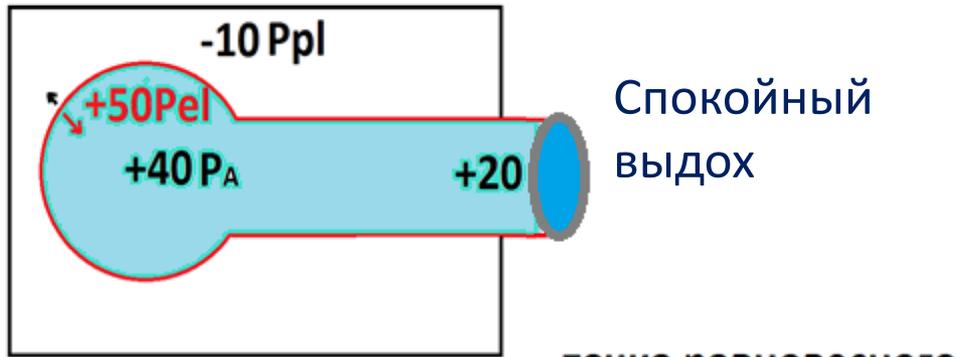
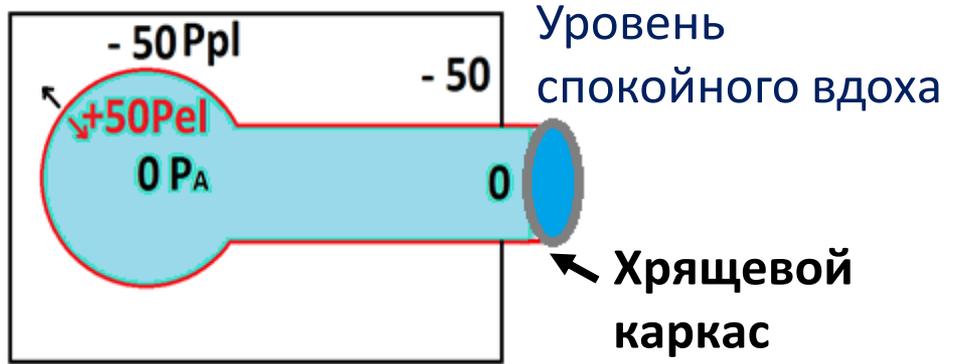
# Резистор Старлинга



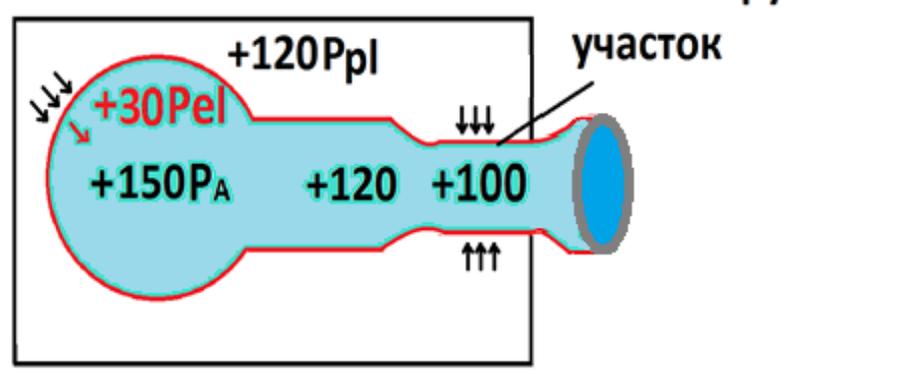
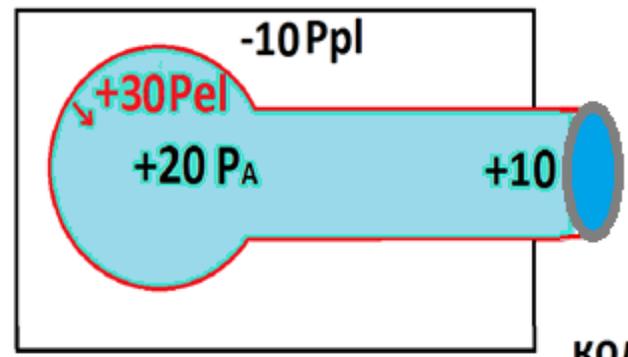
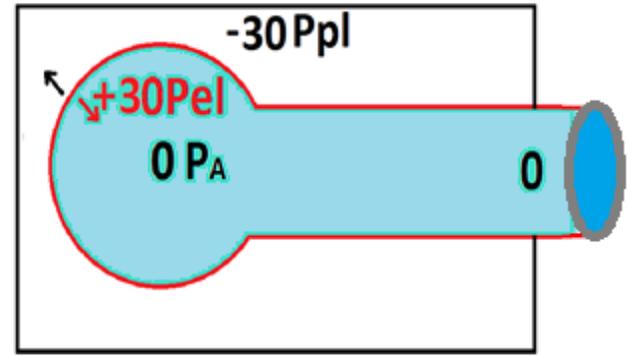
Активный выдох не позволяет ускорить экспираторный поток.

# Смещение точки равного давления

## Здоровые легкие



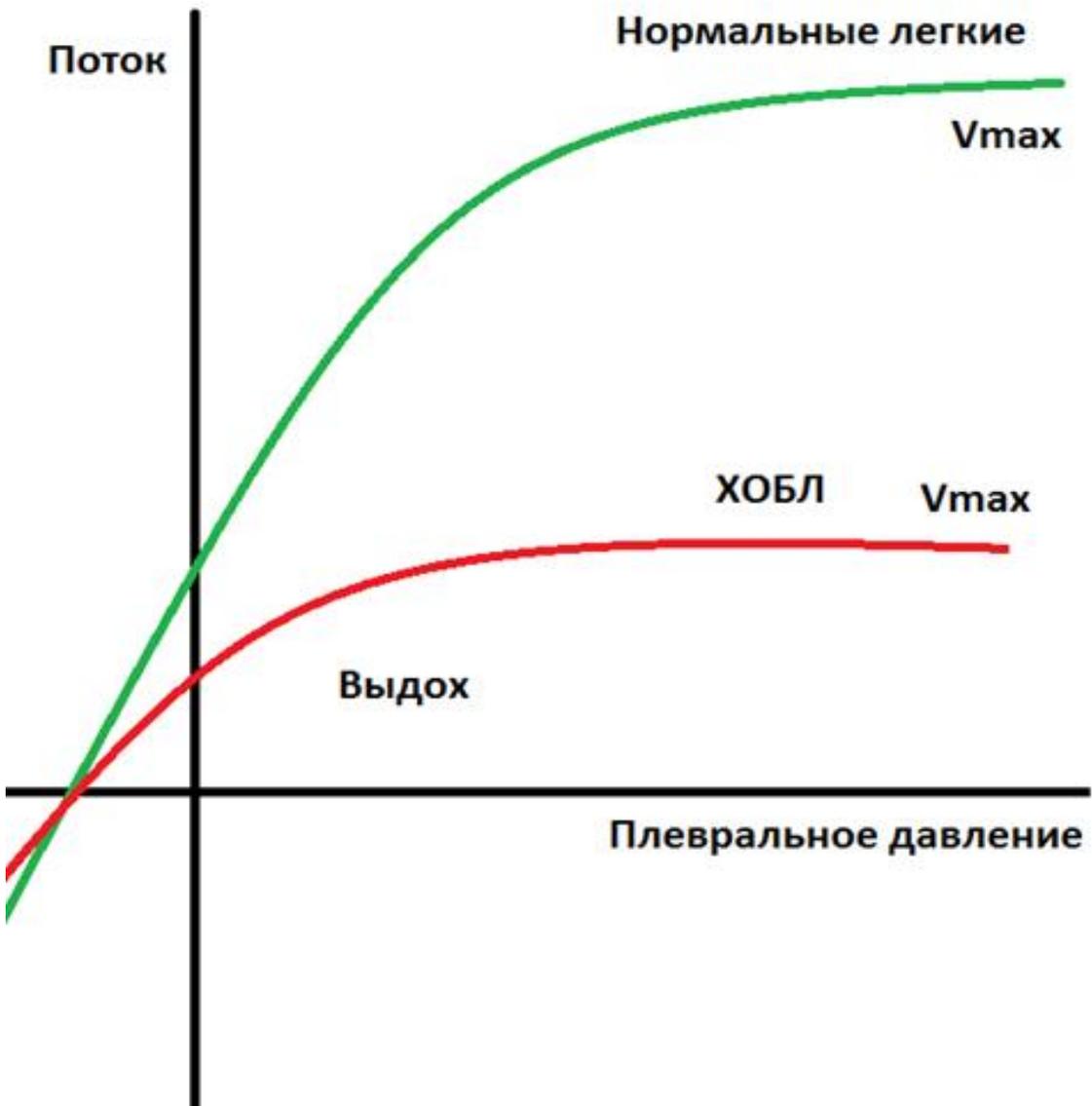
## ХОБЛ



- Ppl Плевральное давление
- PA Альвеолярное давление
- Pel Эластическое давление

С изменениями Michael A. Grippi. Pulmonary Pathophysiology, 1995.

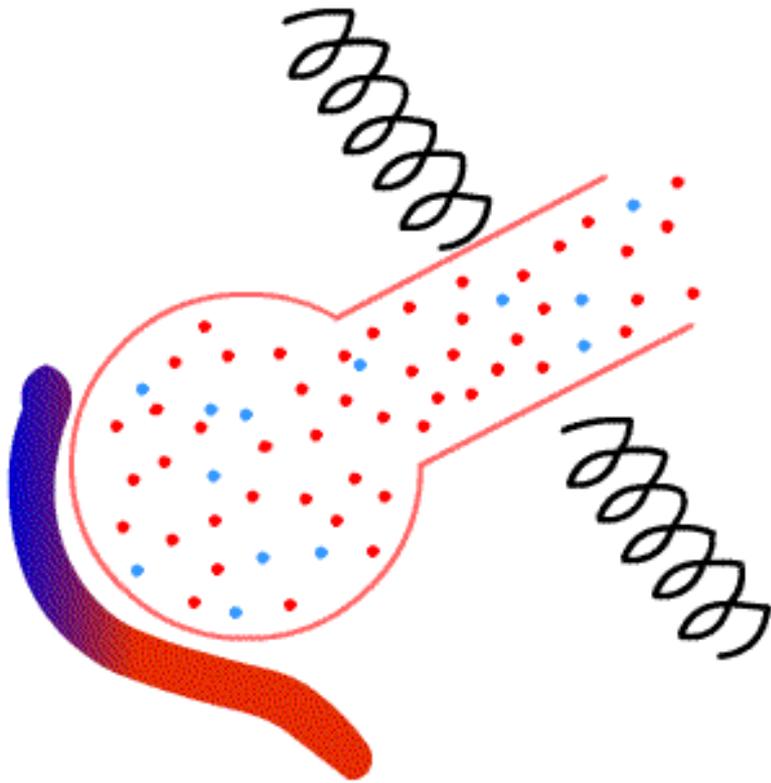
# Ограничение скорости экспираторного потока



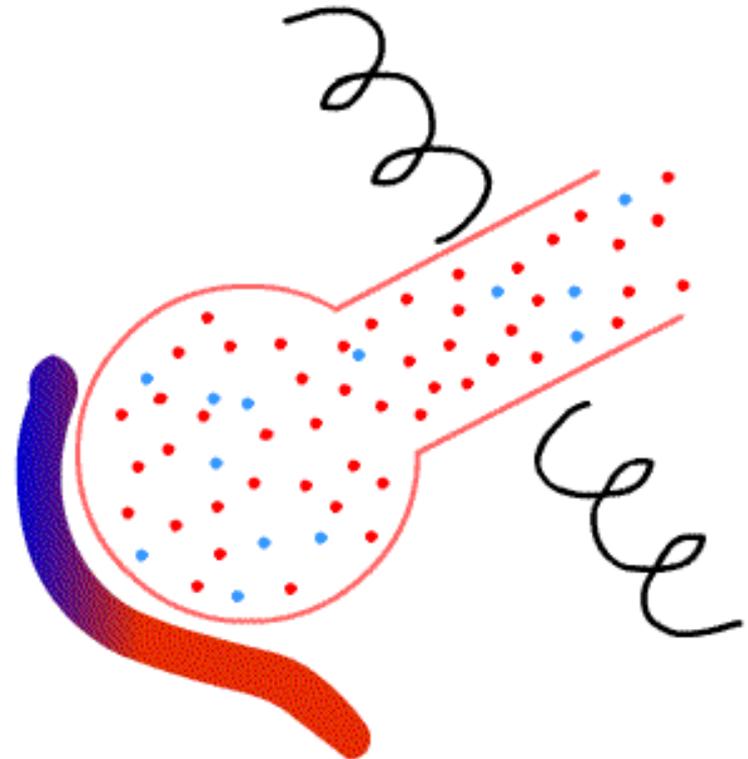
Tobin, M. J Ventilatory Failure, Ventilator Support, and Ventilator Weaning. Comprehensive Physiology. 2012.

# Экспираторное закрытие дыхательных путей

Нормальные легкие



ХОБЛ



Деструкция альвеол ведет к потере внешней альвеолярной поддержки мелких дыхательных путей, лишенных хрящевого каркаса.

**Снижение эластической отдачи легких**



**Активный выдох**



**Экспираторное закрытие дыхательных путей**



**Нужно больше времени для выдоха**

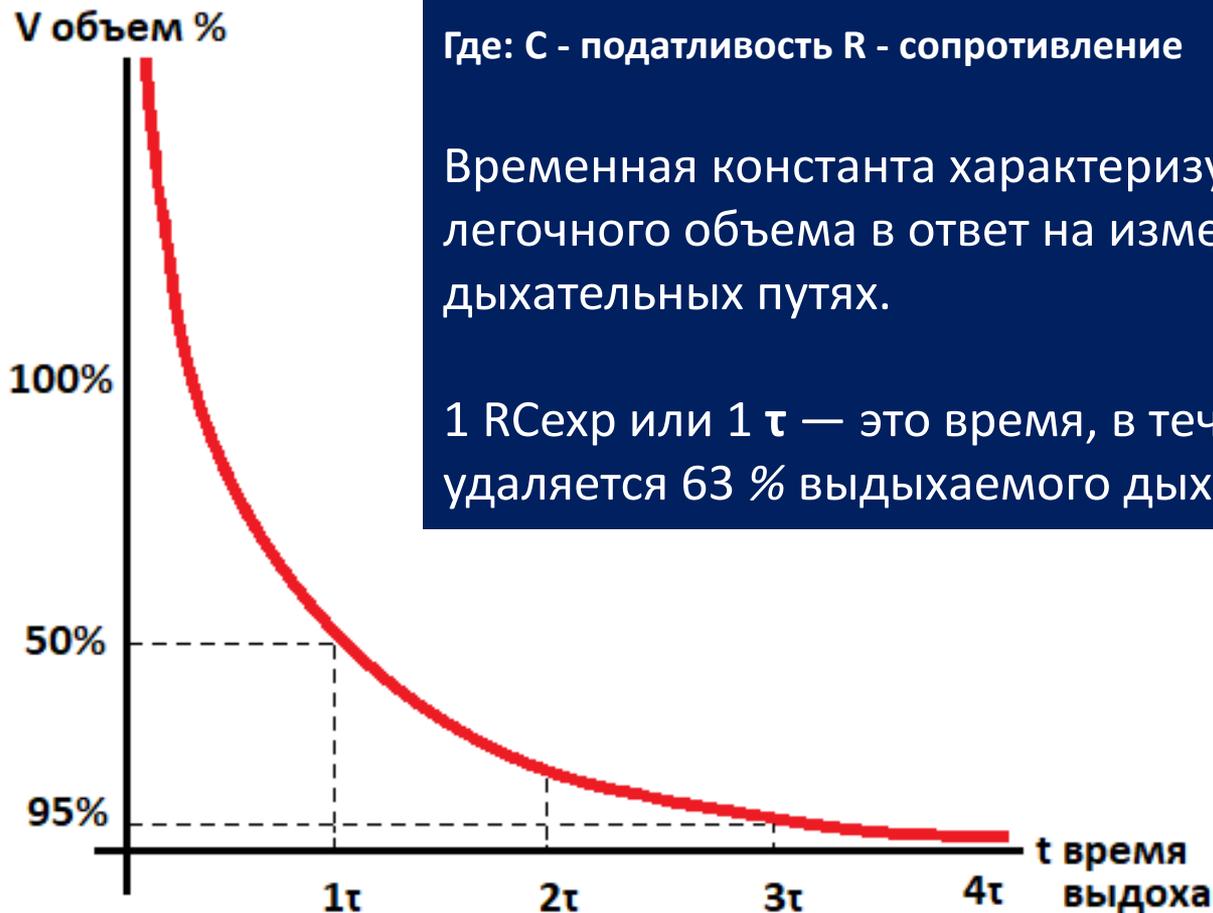
# Экспираторная временная константа лёгких - $RC_{exp}$ ( $\tau$ )

$$\tau = C \times R$$

Где:  $C$  - податливость  $R$  - сопротивление

Временная константа характеризует скорость изменения легочного объема в ответ на изменение давления в дыхательных путях.

$1 RC_{exp}$  или  $1 \tau$  — это время, в течение которого из легких удаляется 63 % выдыхаемого дыхательного объема.



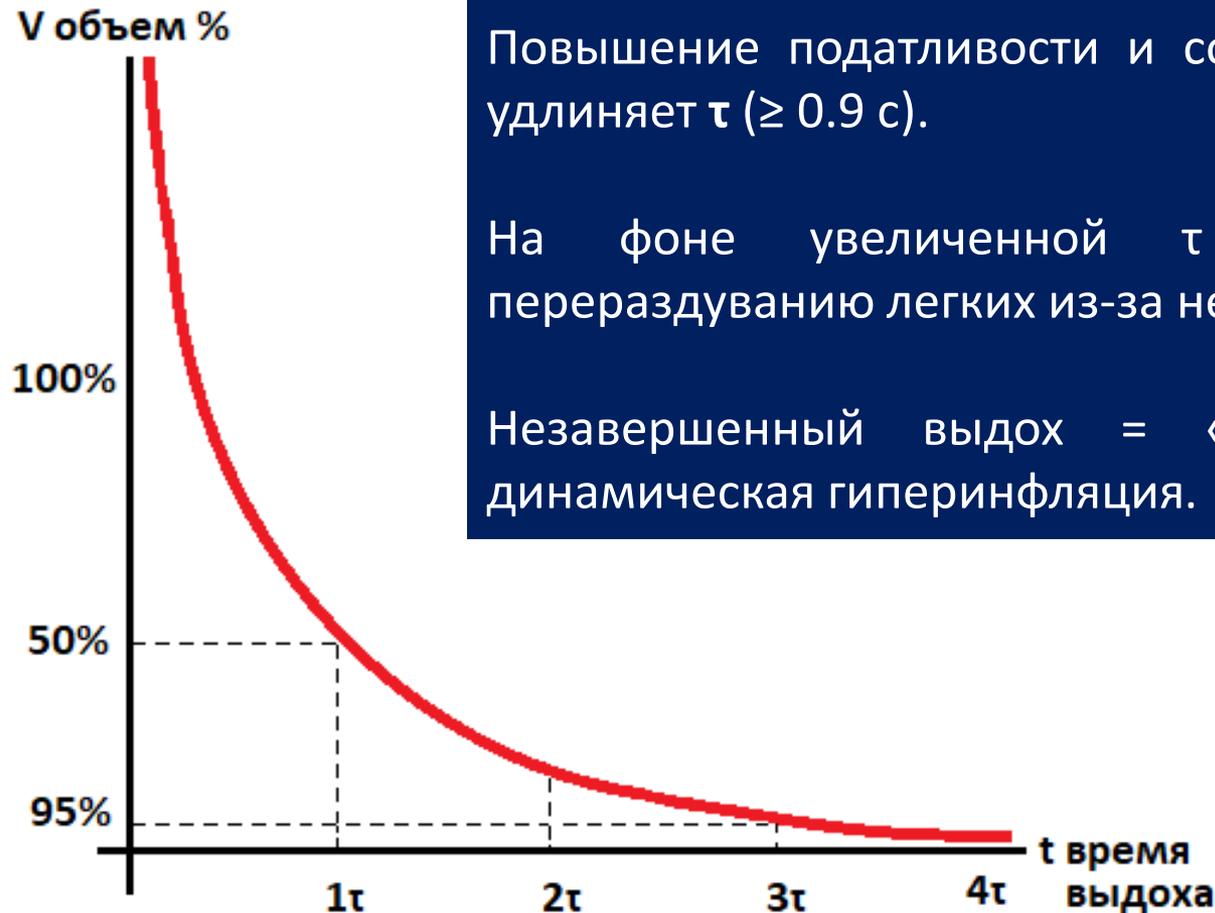
# Временная константа лёгких ( $\tau$ ), незавершенный выдох

Выдох 95% дыхательного объема составляет  $3\tau$ , в норме  $\tau$  около 0,5 сек

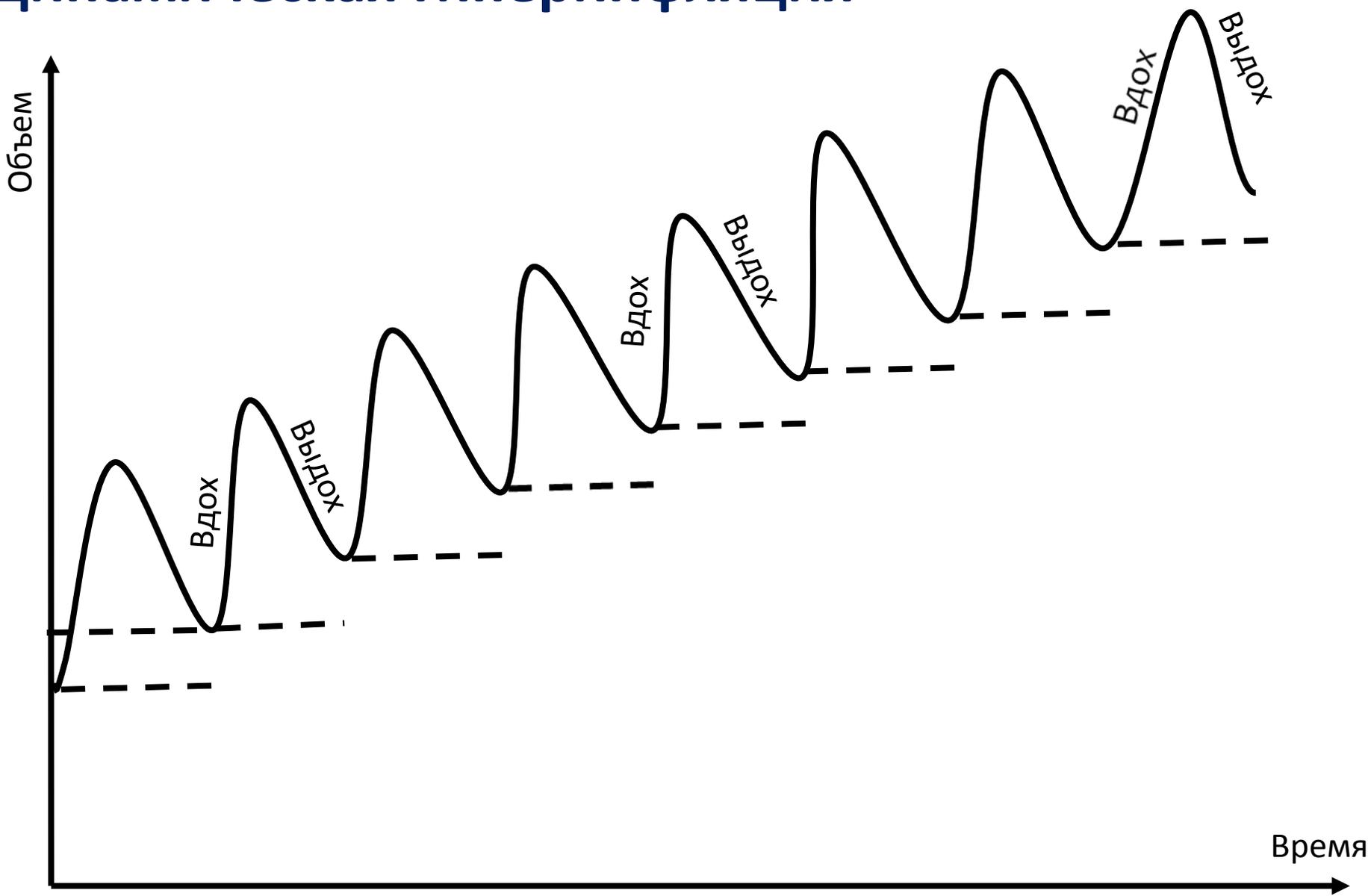
Повышение податливости и сопротивления значительно удлиняет  $\tau$  ( $\geq 0.9$  с).

На фоне увеличенной  $\tau$  одышка приводит к перераздуванию легких из-за незавершенного выдоха.

Незавершенный выдох = «воздушная ловушка» = динамическая гиперинфляция.

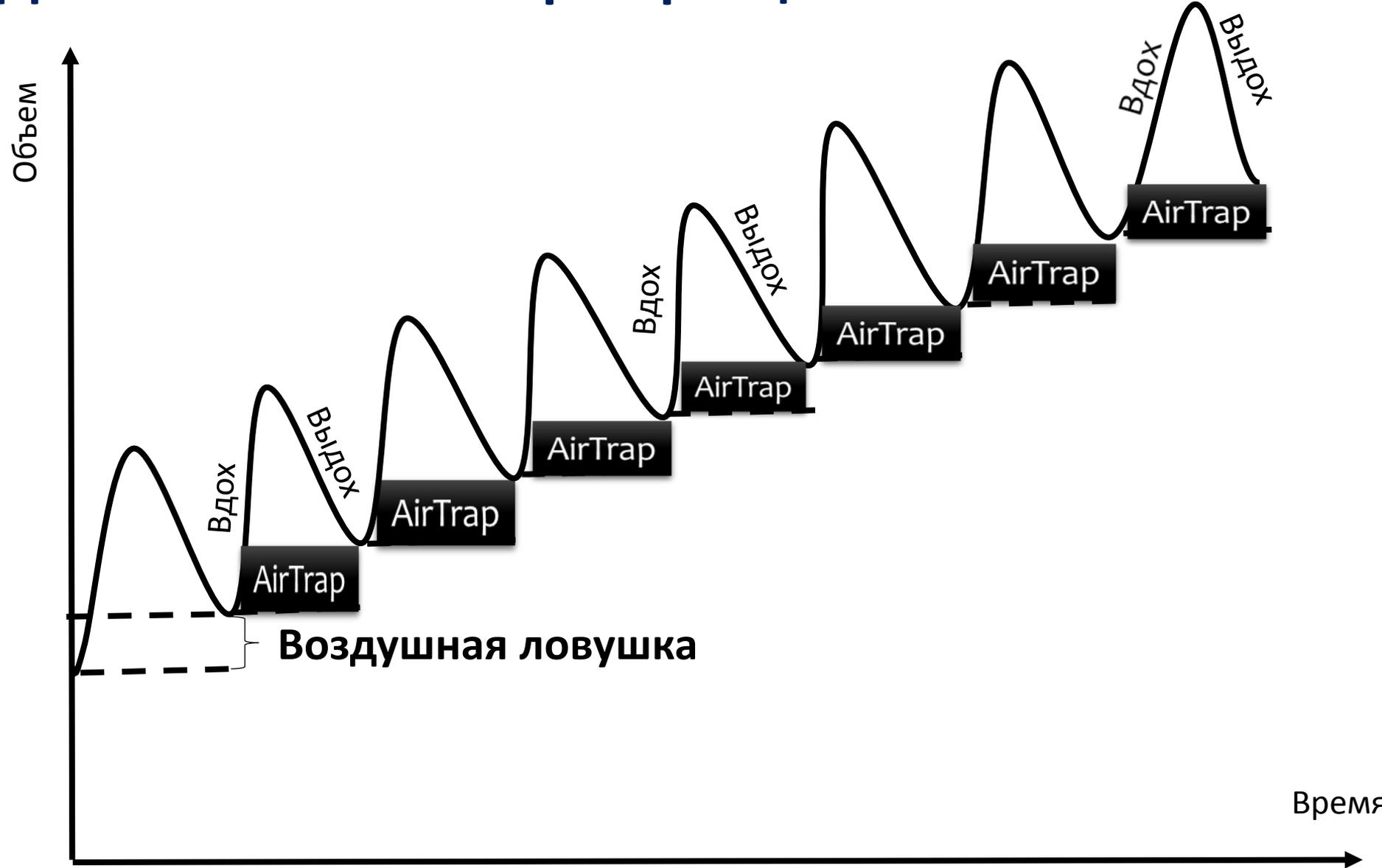


# Динамическая гиперинфляция



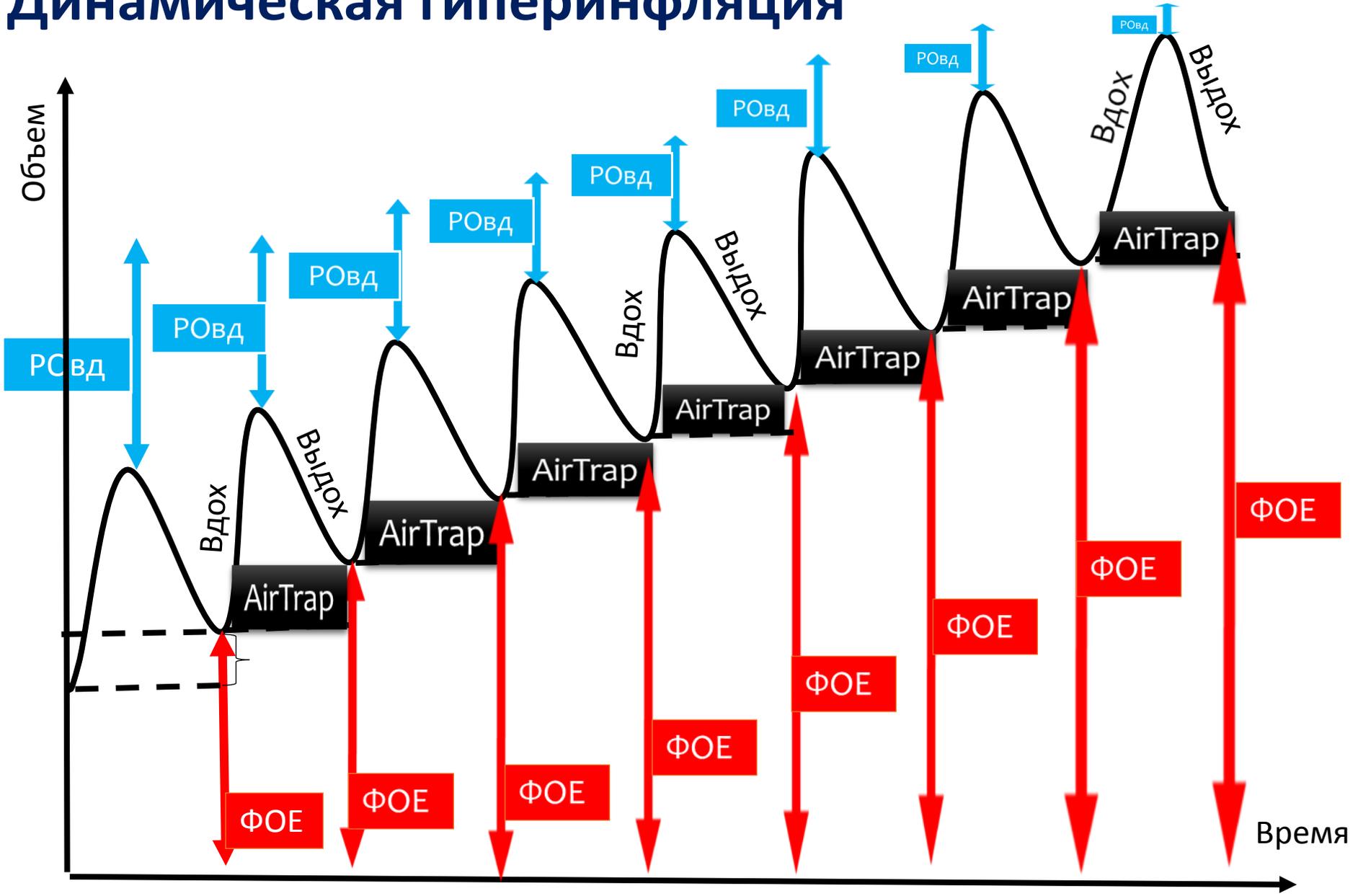
Denis E. O'Donnell, Amany F. Elbehairy, Azmy Faisal, Katherine A. Webb, J. Alberto Neder, Donald A. Mahler Exertional dyspnoea in COPD: the clinical utility of cardiopulmonary exercise testing. European Respiratory Review, 2016.

# Динамическая гиперинфляция



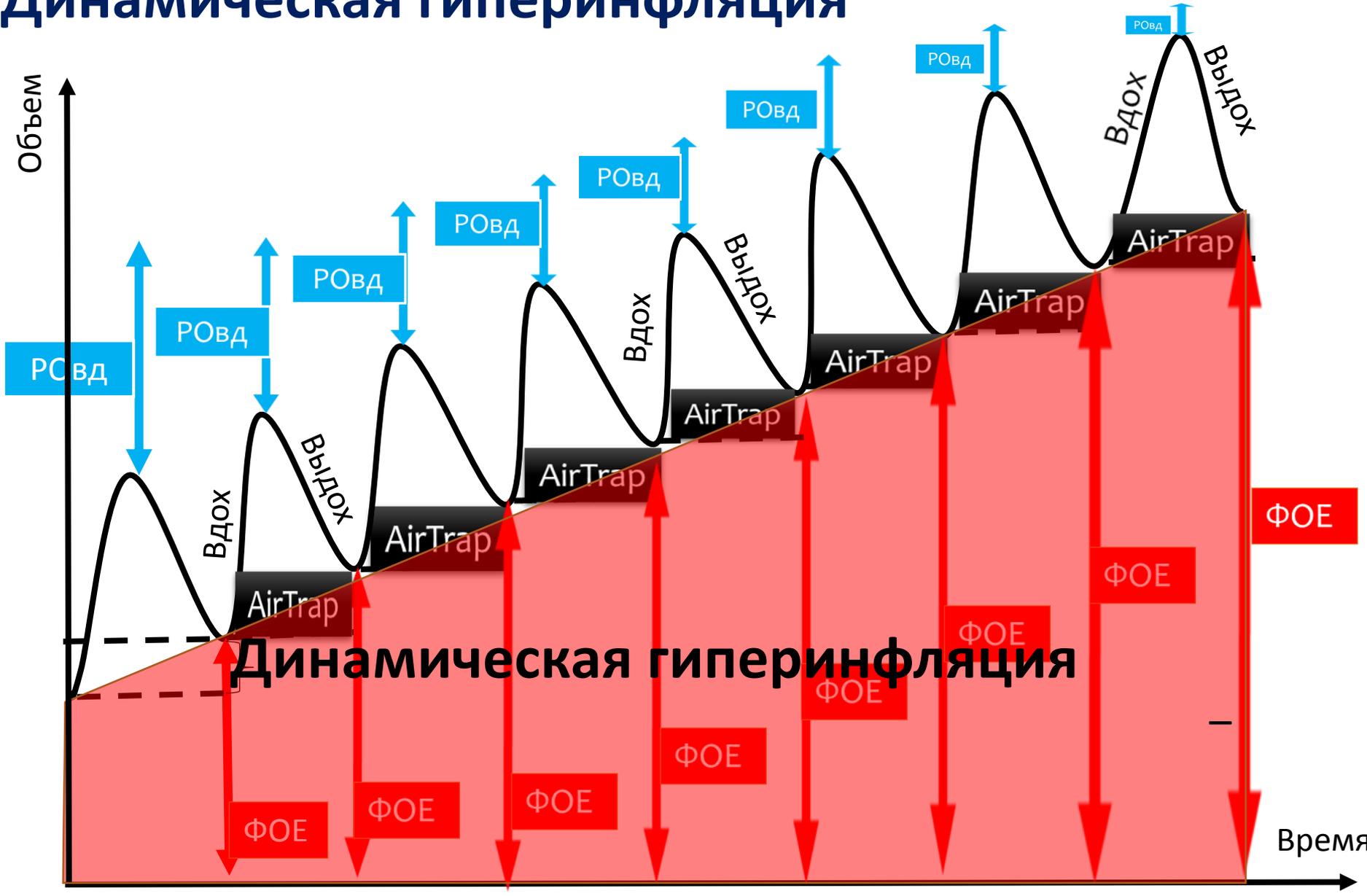
Denis E. O'Donnell, Amany F. Elbehairy, Azmy Faisal, Katherine A. Webb, J. Alberto Neder, Donald A. Mahler Exertional dyspnoea in COPD: the clinical utility of cardiopulmonary exercise testing. European Respiratory Review, 2016.

# Динамическая гиперинфляция



Denis E. O'Donnell, Amany F. Elbehairy, Azmy Faisal, Katherine A. Webb, J. Alberto Neder, Donald A. Mahler Exertional dyspnoea in COPD: the clinical utility of cardiopulmonary exercise testing. European Respiratory Review, 2016.

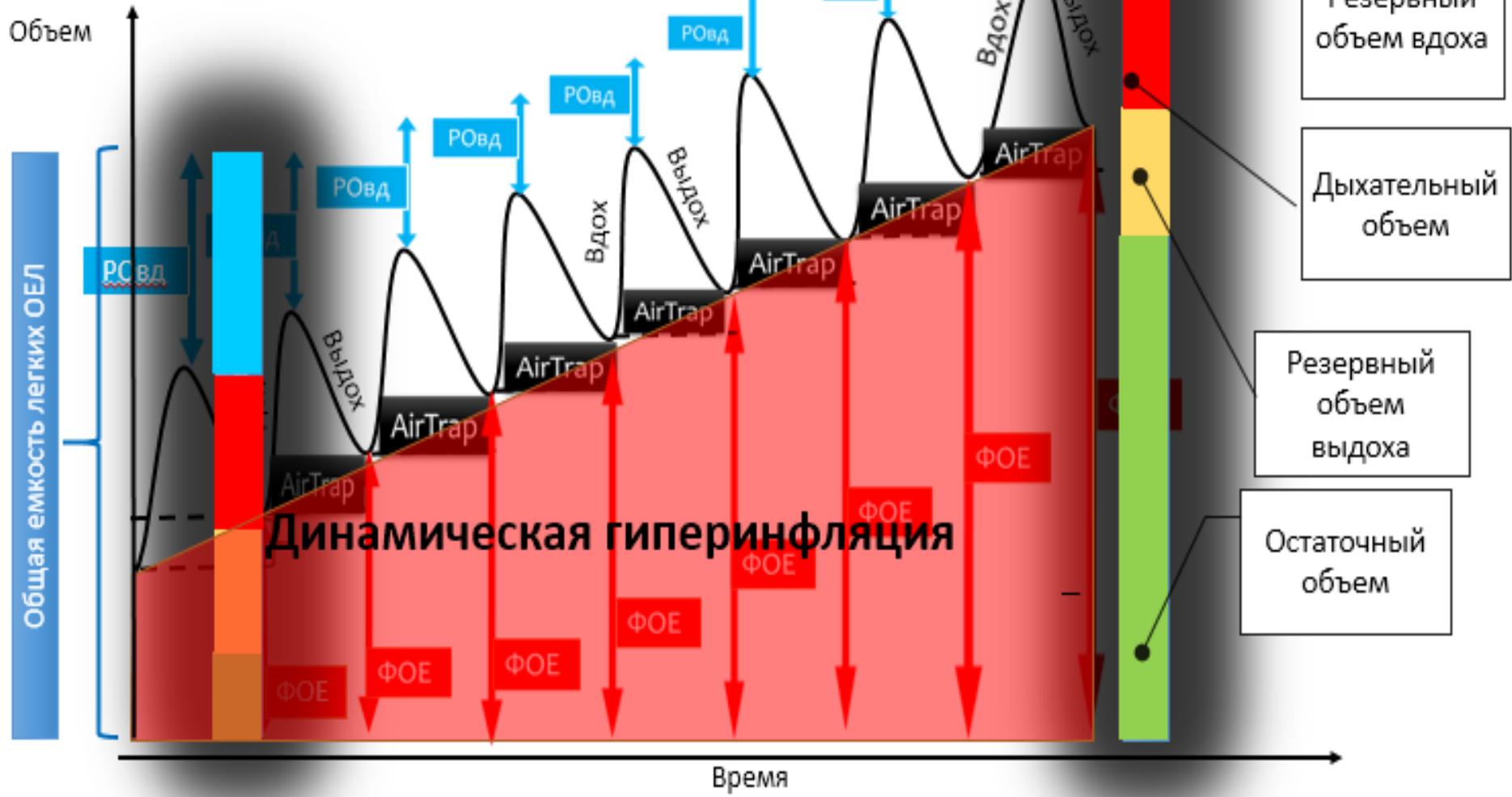
# Динамическая гиперинфляция



**Динамическая гиперинфляция**

Denis E. O'Donnell, Amany F. Elbehairy, Azmy Faisal, Katherine A. Webb, J. Alberto Neder, Donald A. Mahler Exertional dyspnoea in COPD: the clinical utility of cardiopulmonary exercise testing. European Respiratory Review, 2016.

# Динамическая гиперинфляция

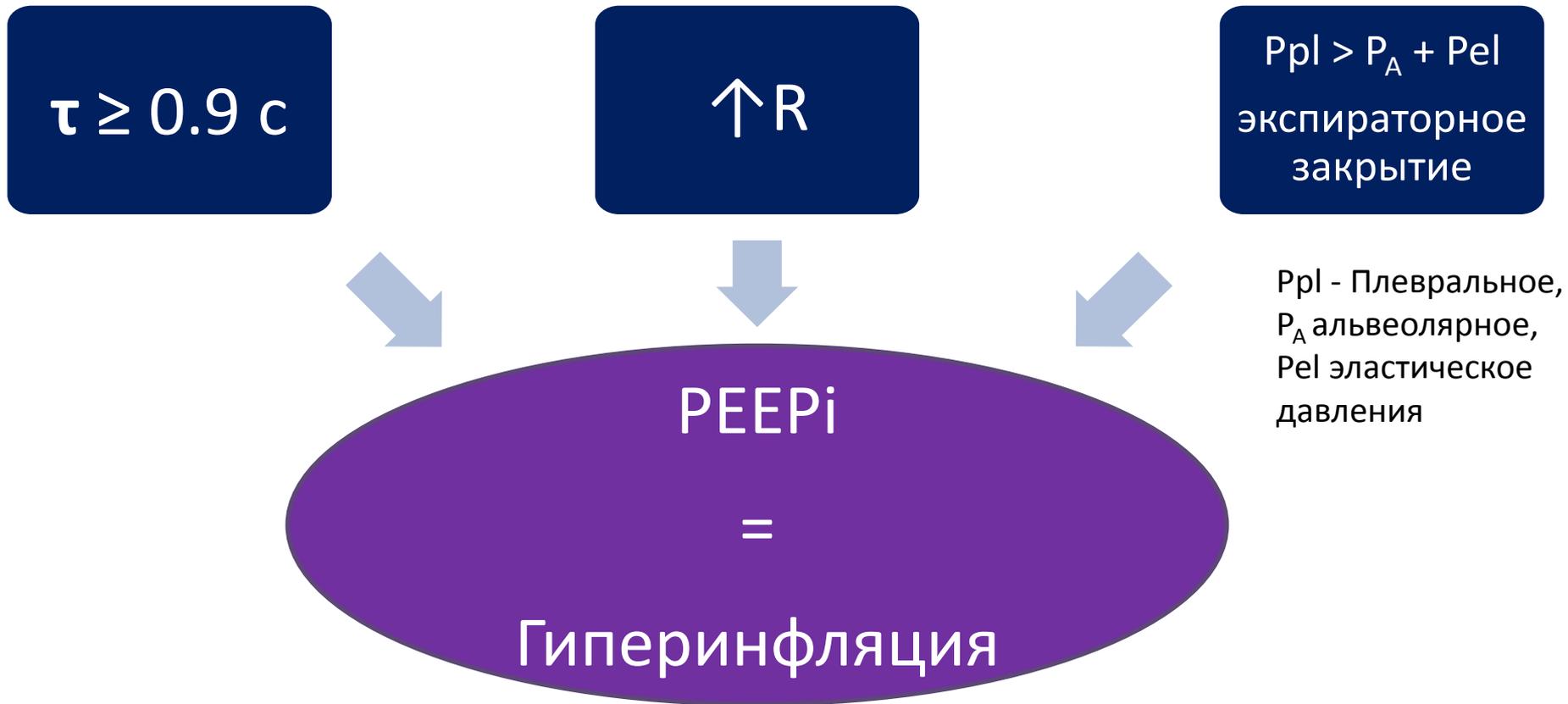


Denis E. O'Donnell, Amany F. Elbehairy, Azmy Faisal, Katherine A. Webb, J. Alberto Neder, Donald A. Mahler Exertional dyspnoea in COPD: the clinical utility of cardiopulmonary exercise testing. European Respiratory Review, 2016.

# Динамическая гиперинфляция

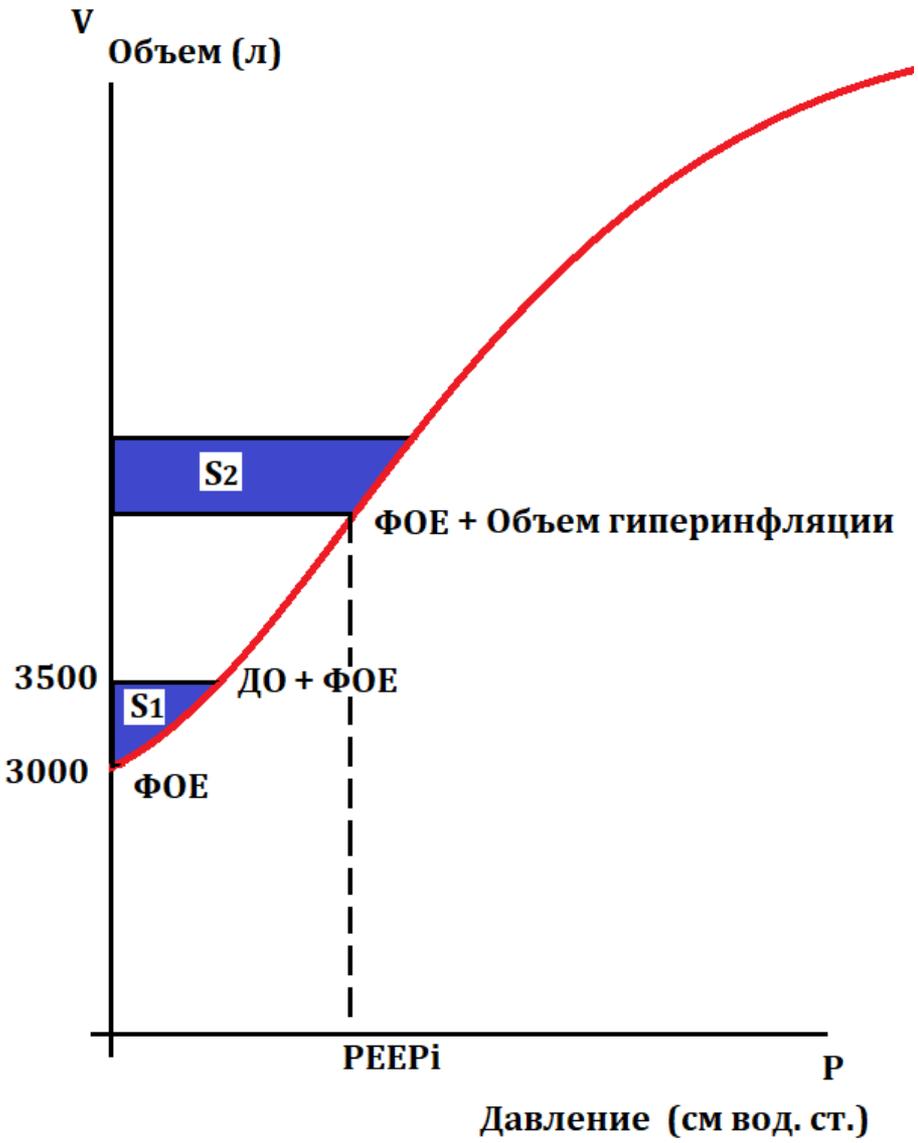


# PEEPi у пациентов с ХОБЛ



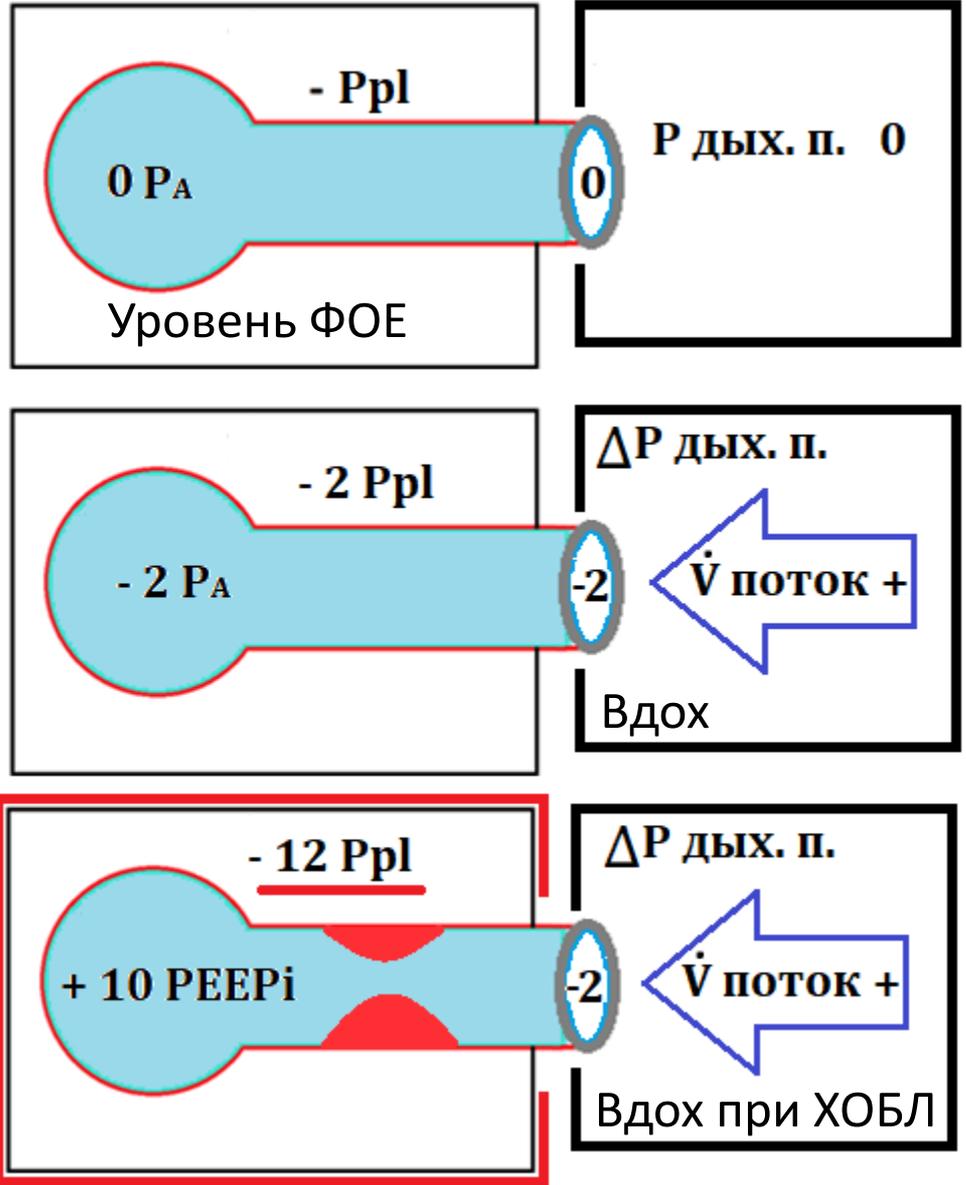
PEEPi – это положительное давление, которое создается в альвеолах на уровне спокойного выдоха (ФОВ).

# Работа по преодолению РЕЕРі



В условиях динамической гиперинфляции растяжение легких происходит на верхней части кривой давление-объем (увеличивается цена дыхания).

# Вдох и работа по преодолению РЕЕРі

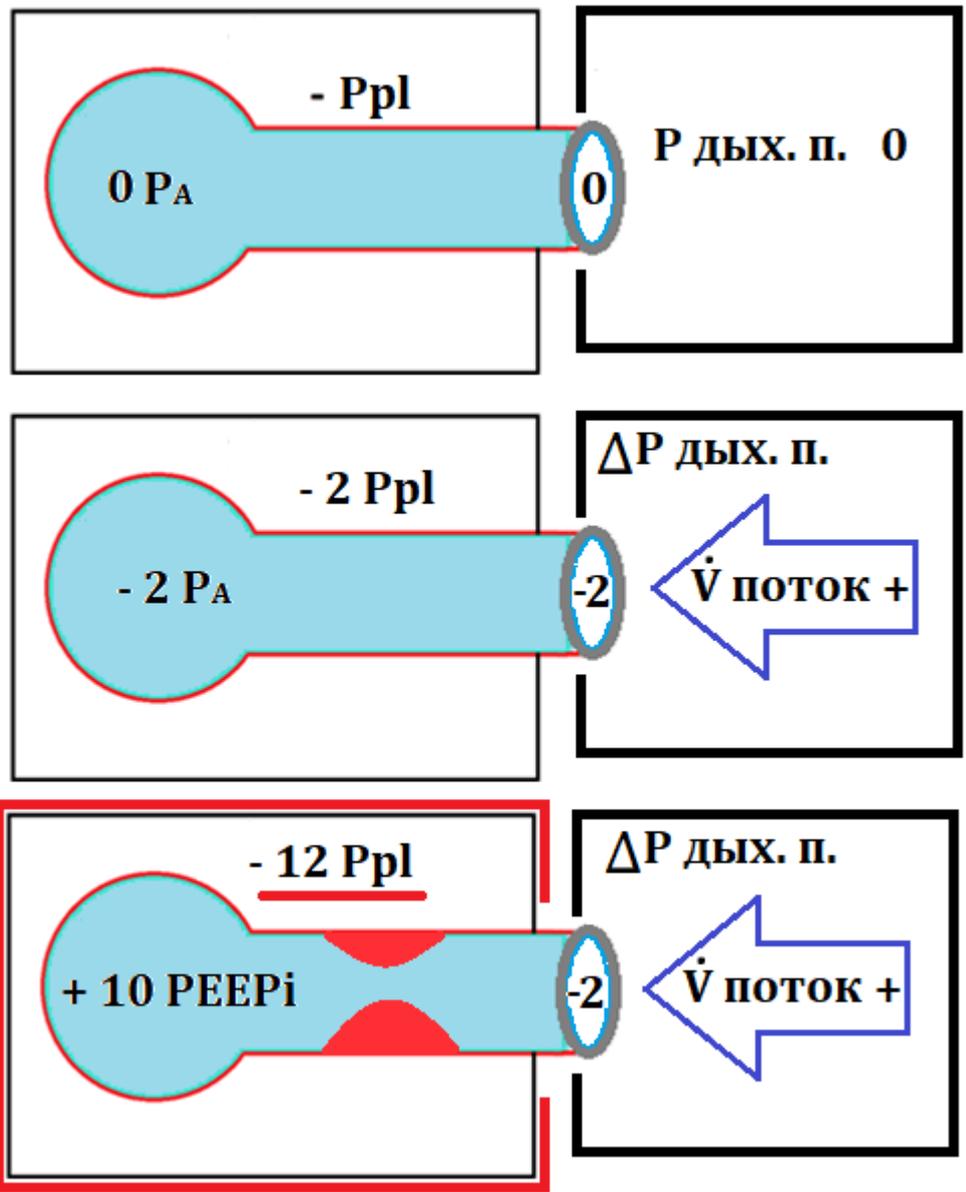
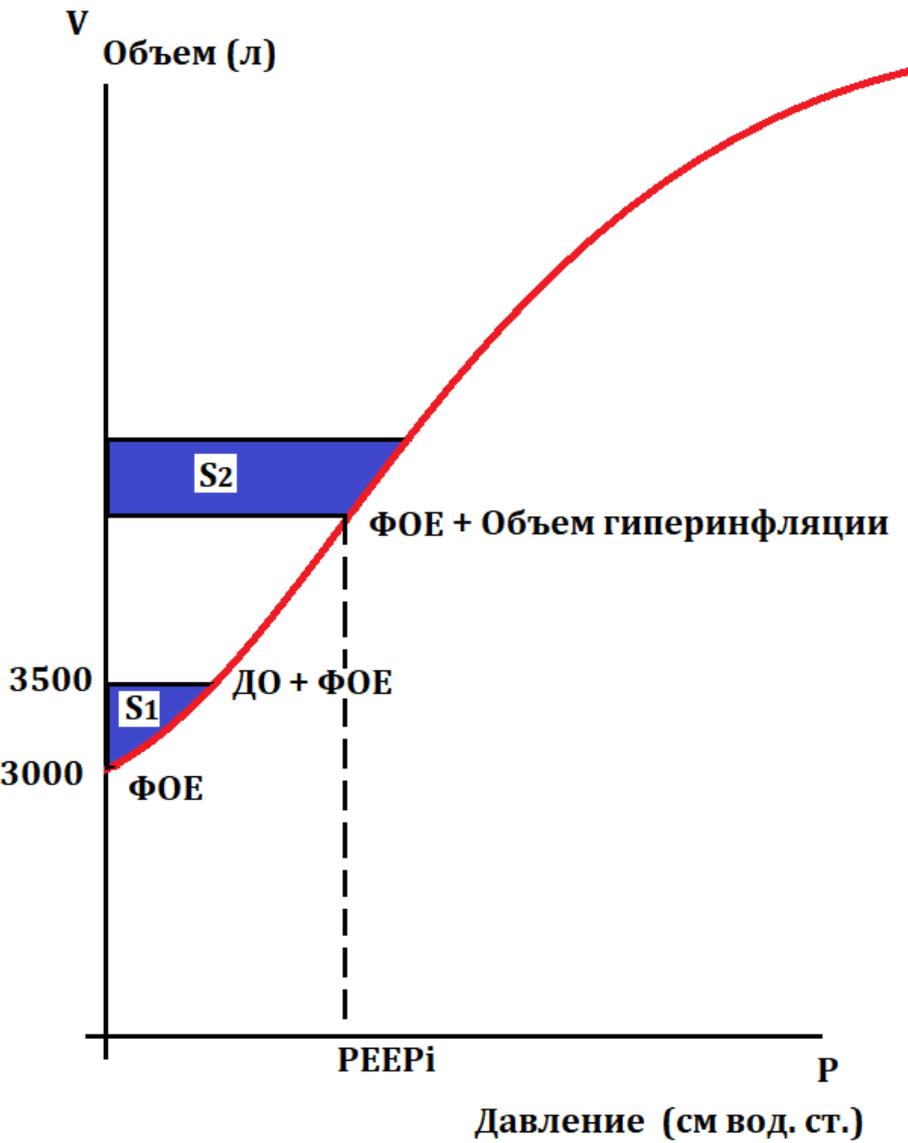


Дополнительная нагрузка

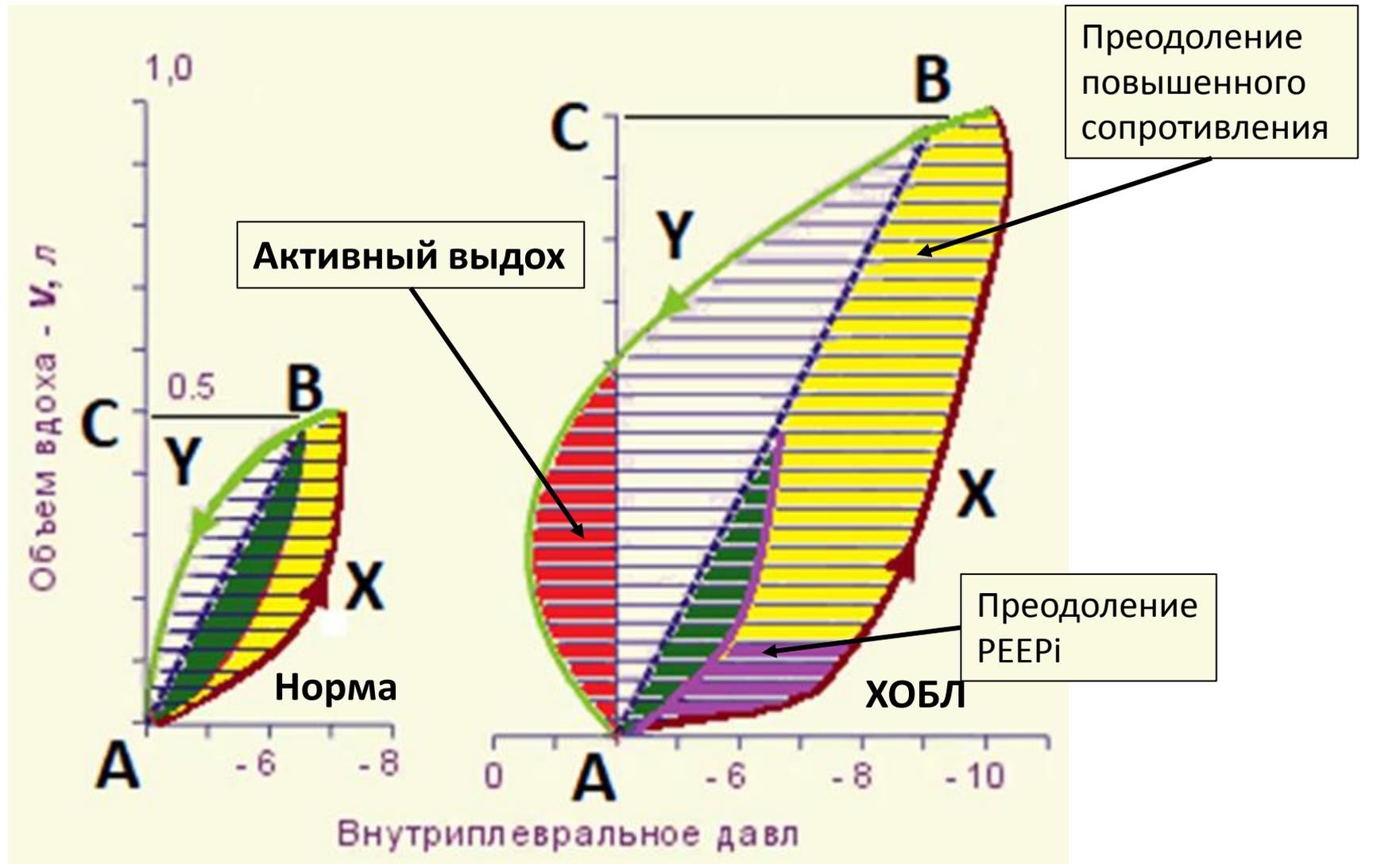
Альвеолярное давление в конце выдоха равно атмосферному. Работа дыхательных мышц вызывает изменение давления и появляется дыхательный объем

Теперь для создания такого же ДО нужно преодолеть уровень РЕЕРі, после чего создается воздушный поток

# Работа по преодолению РЕЕРі

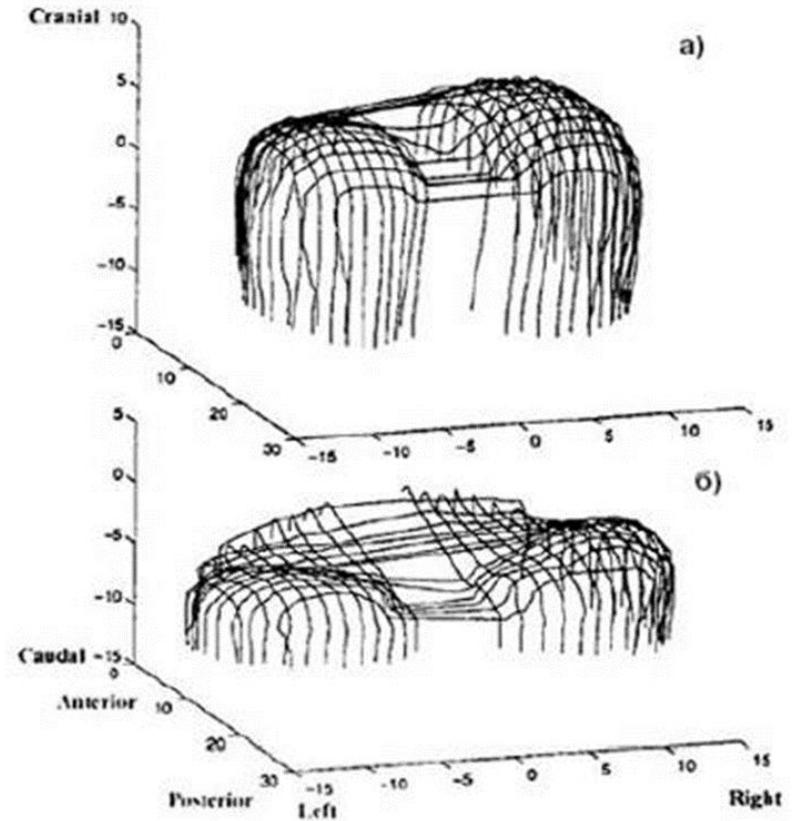
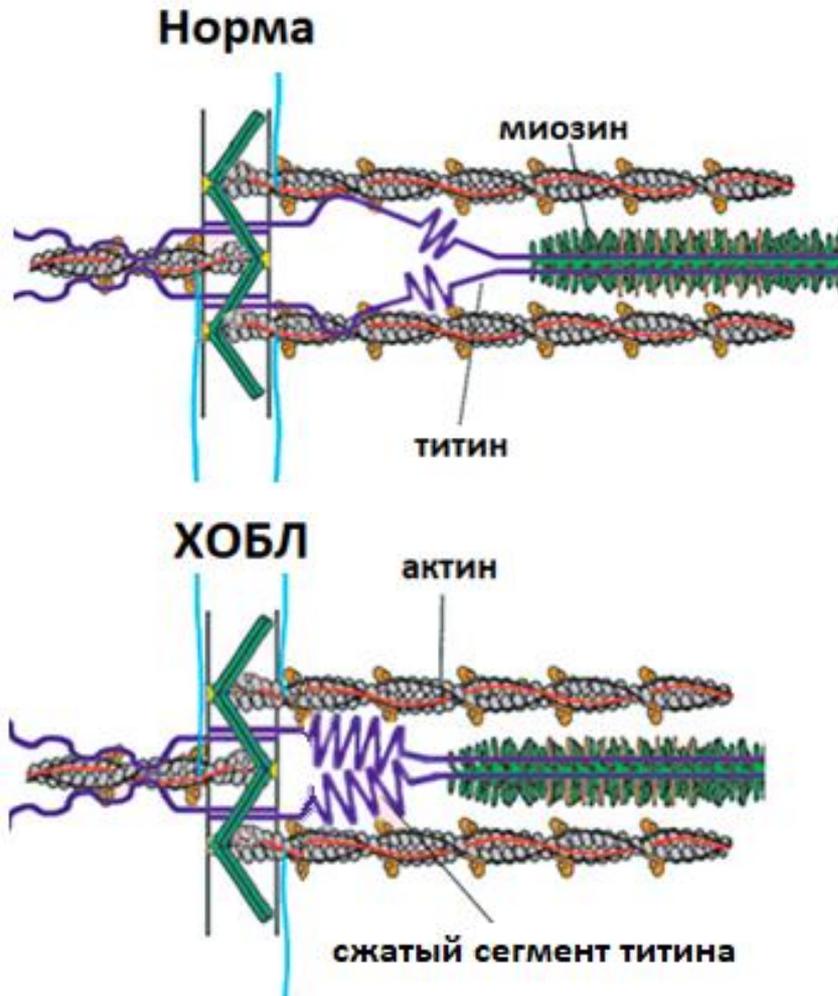


# Общая работа дыхания при ХОБЛ



- Вязкоэластичная легких
- Вязкоэластичная грудной клетки
- Статическая респираторной системы
- Резистивная
- Преодоление PEEPi
- Резистивная работа на выдохе

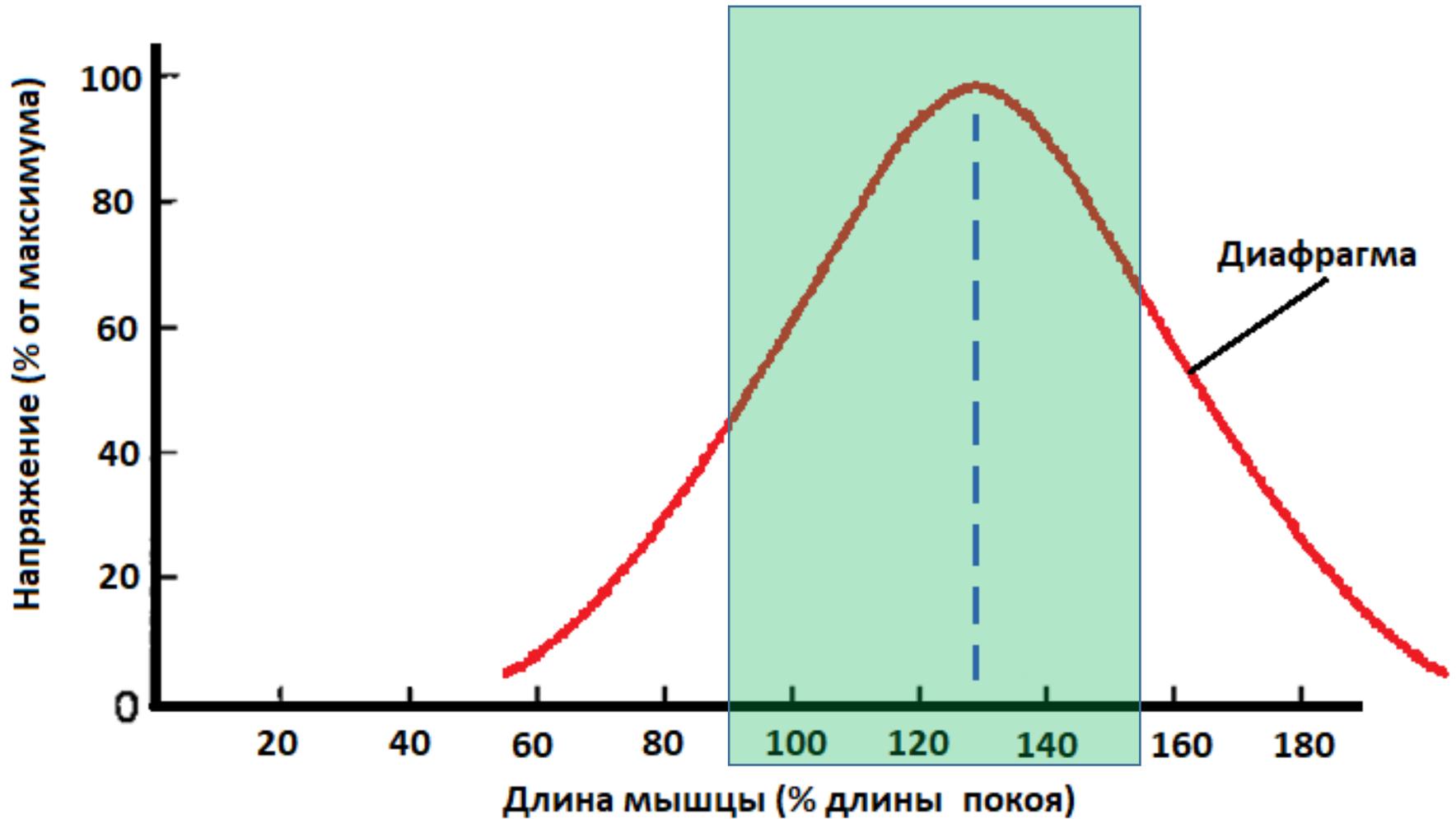
# Дисфункция диафрагмы при гиперинфляции



Формы диафрагмы в норме (а) при ХОБЛ (б). КТ реконструкция

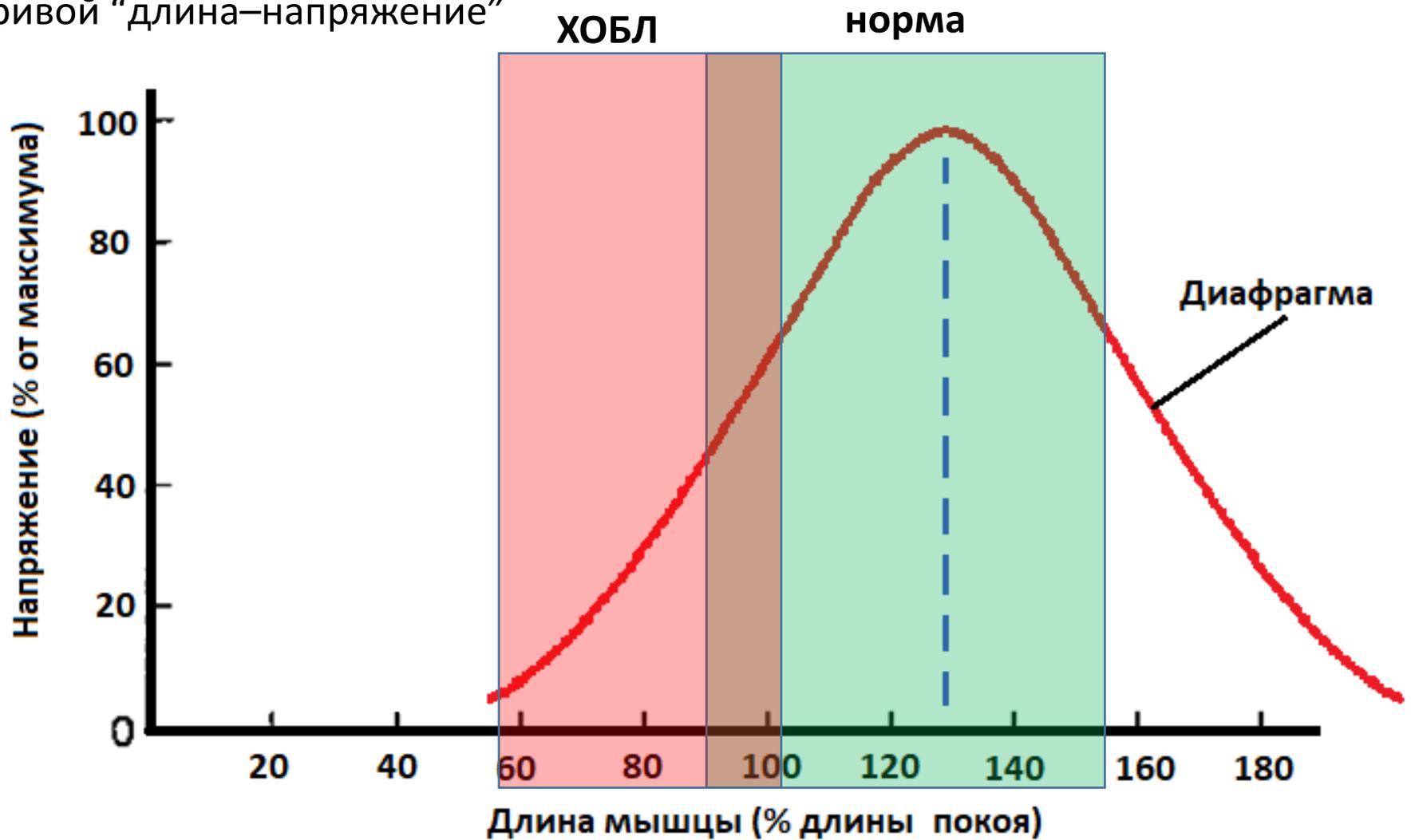
# Дисфункция дыхательной мускулатуры

Диафрагма развивает пиковую величину силы при 130% от ее длины в состоянии покоя



# Дисфункция дыхательной мускулатуры

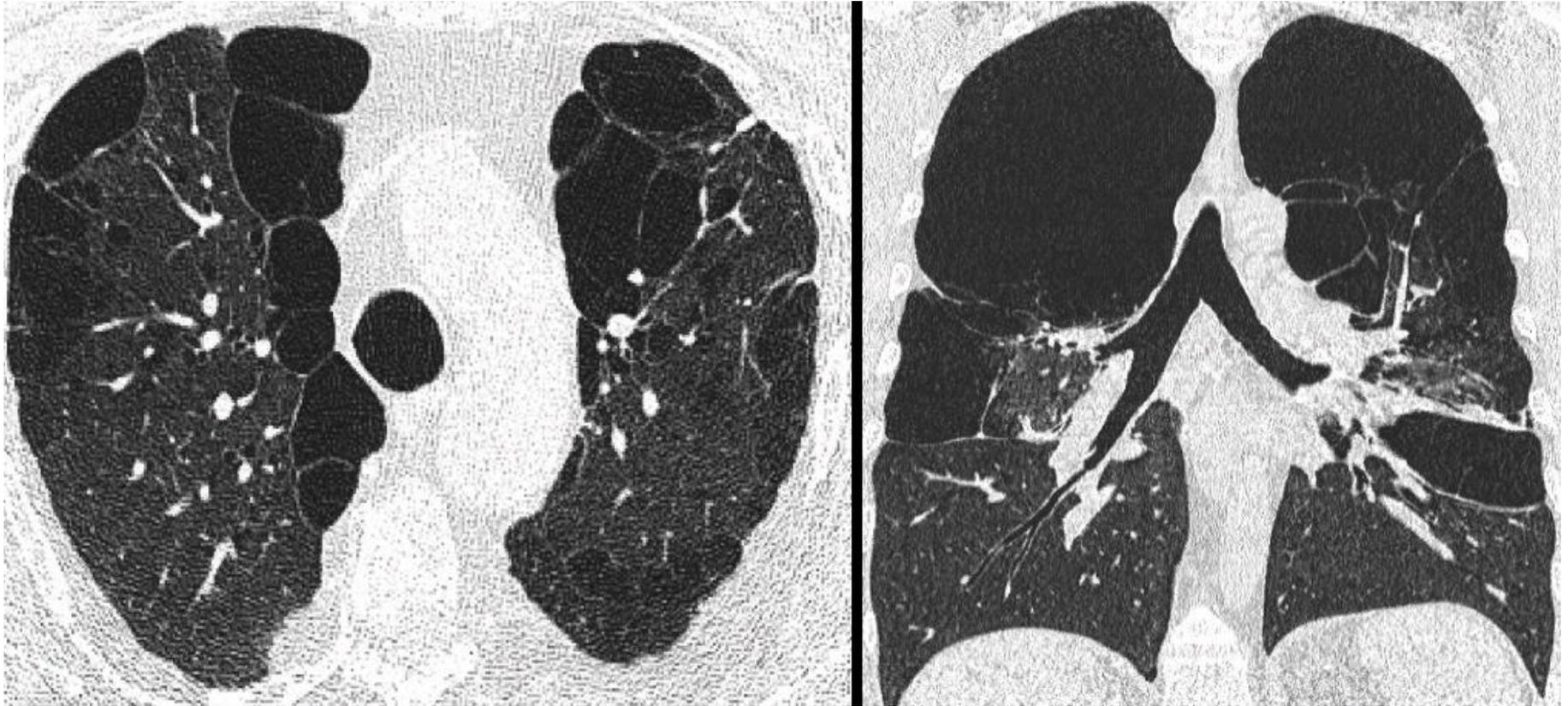
При гиперинфляции диафрагма работает в менее выгодной позиции на кривой “длина–напряжение”



**Динамическая гиперинфляция**

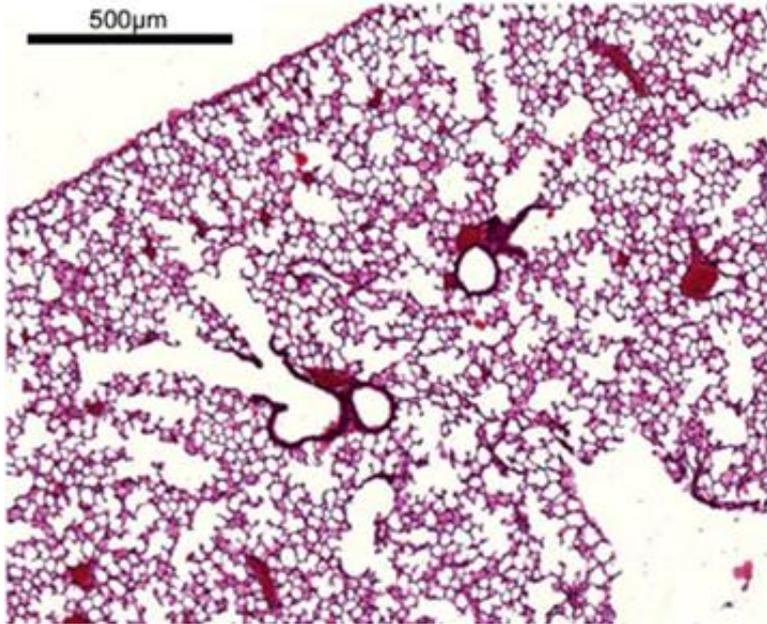
**Соотношения легочных объемов**

# Мертвое пространство при ХОБЛ

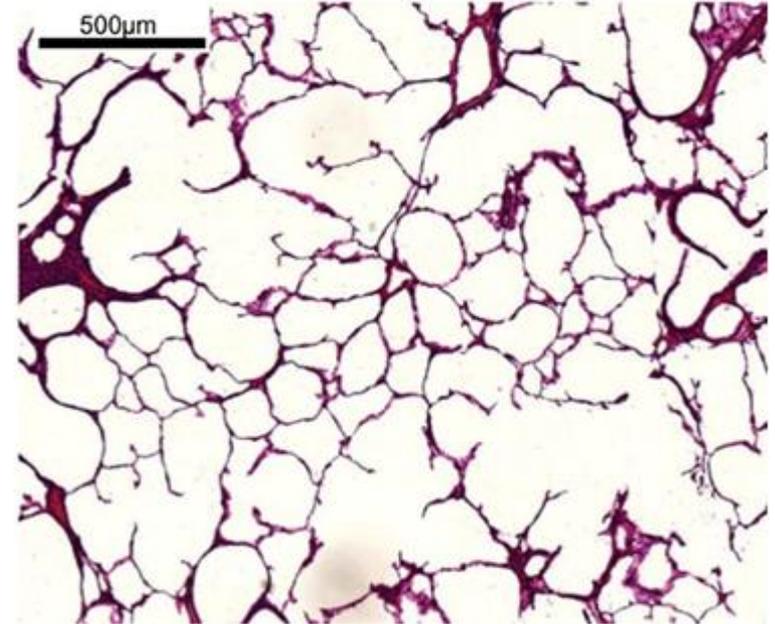


# Микроструктура легких при ХОБЛ

Норма



ХОБЛ



Патологически большой диаметр альвеол с редукцией площади газообмена.

# Соотношение дыхательного объема и общей емкости легких (ОЕЛ)

Дыхательный объем

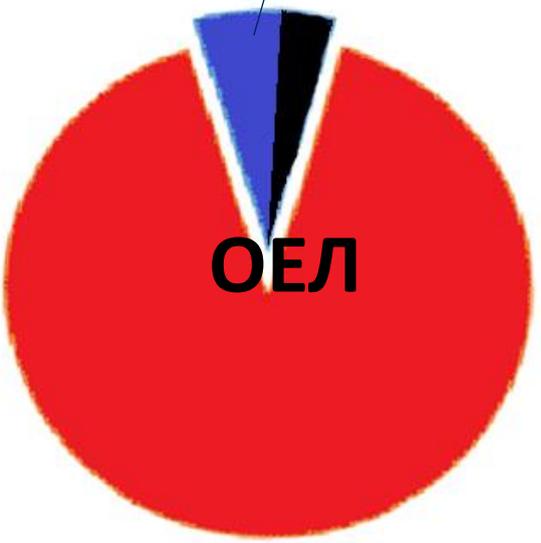


Дыхательный объем

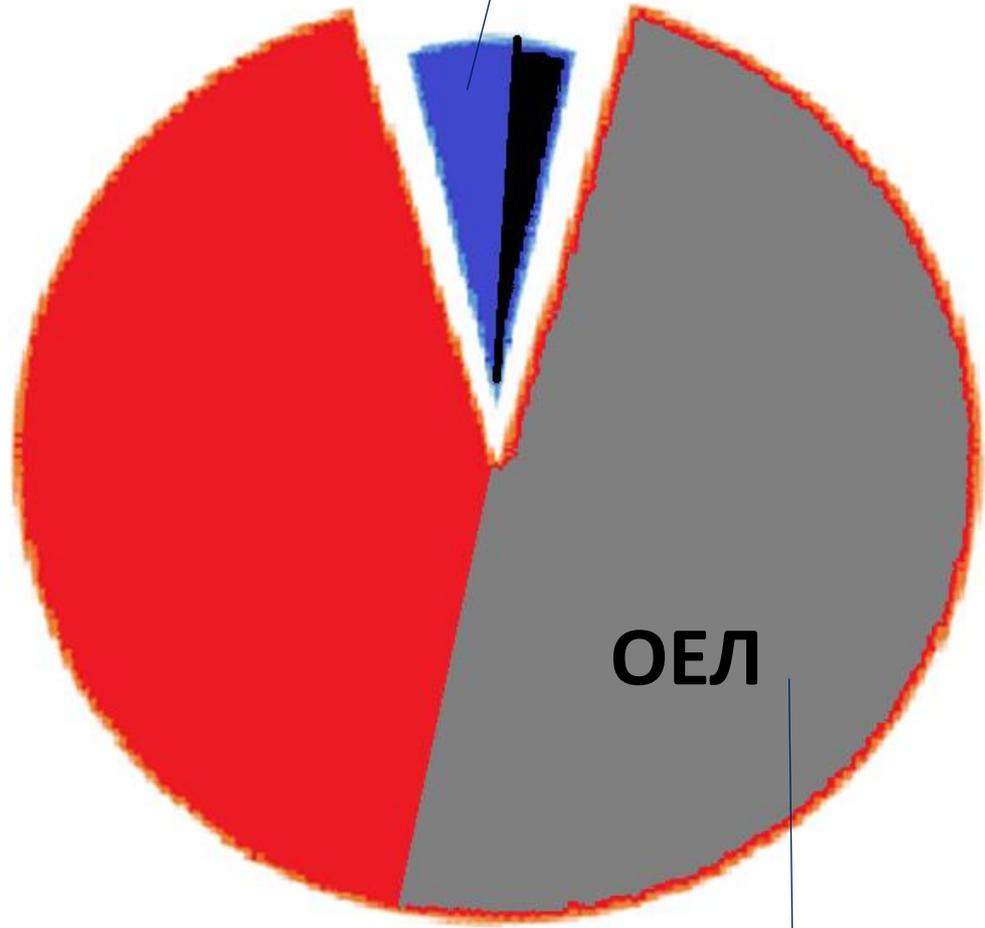


# Соотношение дыхательного объема ОЕЛ

Дыхательный объем +  
анатомическое мертвое  
пространство



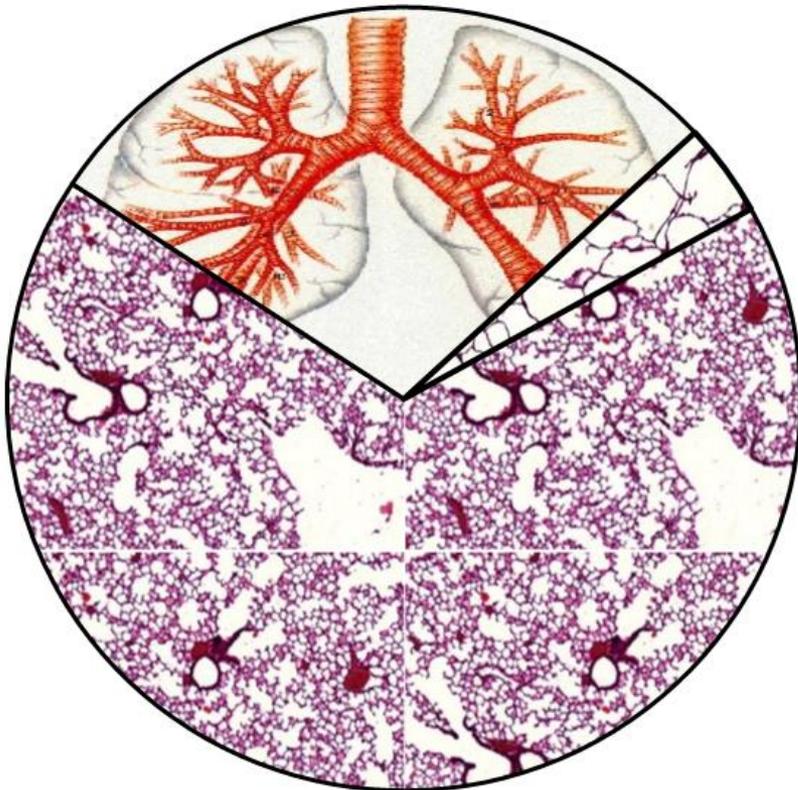
Дыхательный объем+  
анатомическое мертвое  
пространство



Мертвое пространство

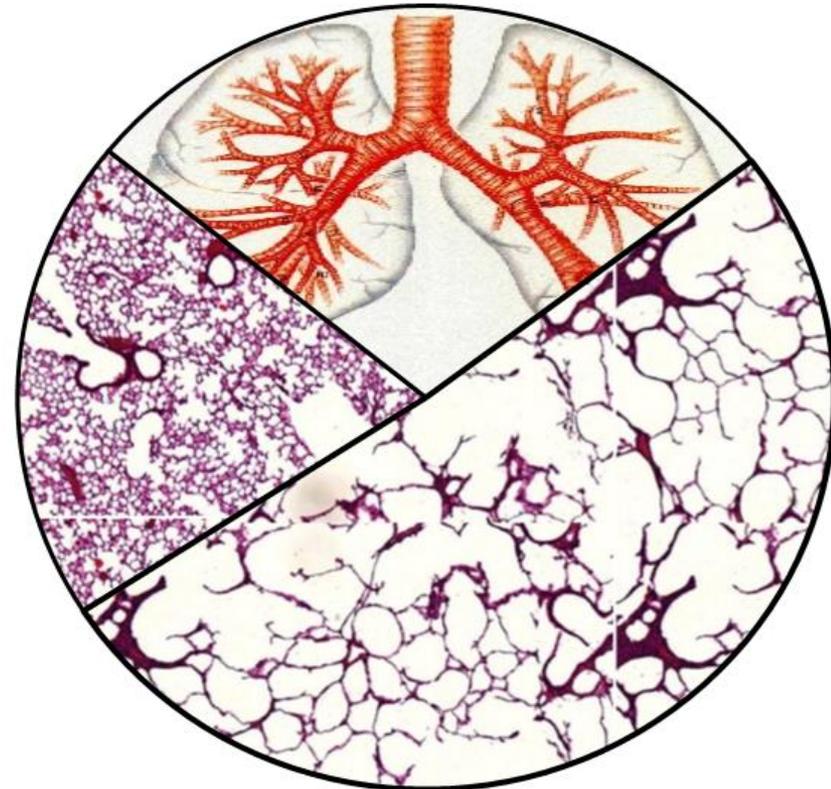
# Структура дыхательного объема

Норма



$$V_D/V_T = 0,3$$

ХОБЛ



$$V_D/V_T = 0,8$$

# Формула Бора

Функциональное мертвое пространство является суммой анатомического и альвеолярного мертвого пространств, а его отношение к дыхательному объему вычисляется по формуле Бора:

$$V_D/V_T = (P_aCO_2 - P_ECO_2) / P_aCO_2$$

Где:

$V_D$  - объем физиологического мертвого пространства,

$V_T$  - ДО,

$P_aCO_2$  - напряжение углекислого газа в артериальной крови

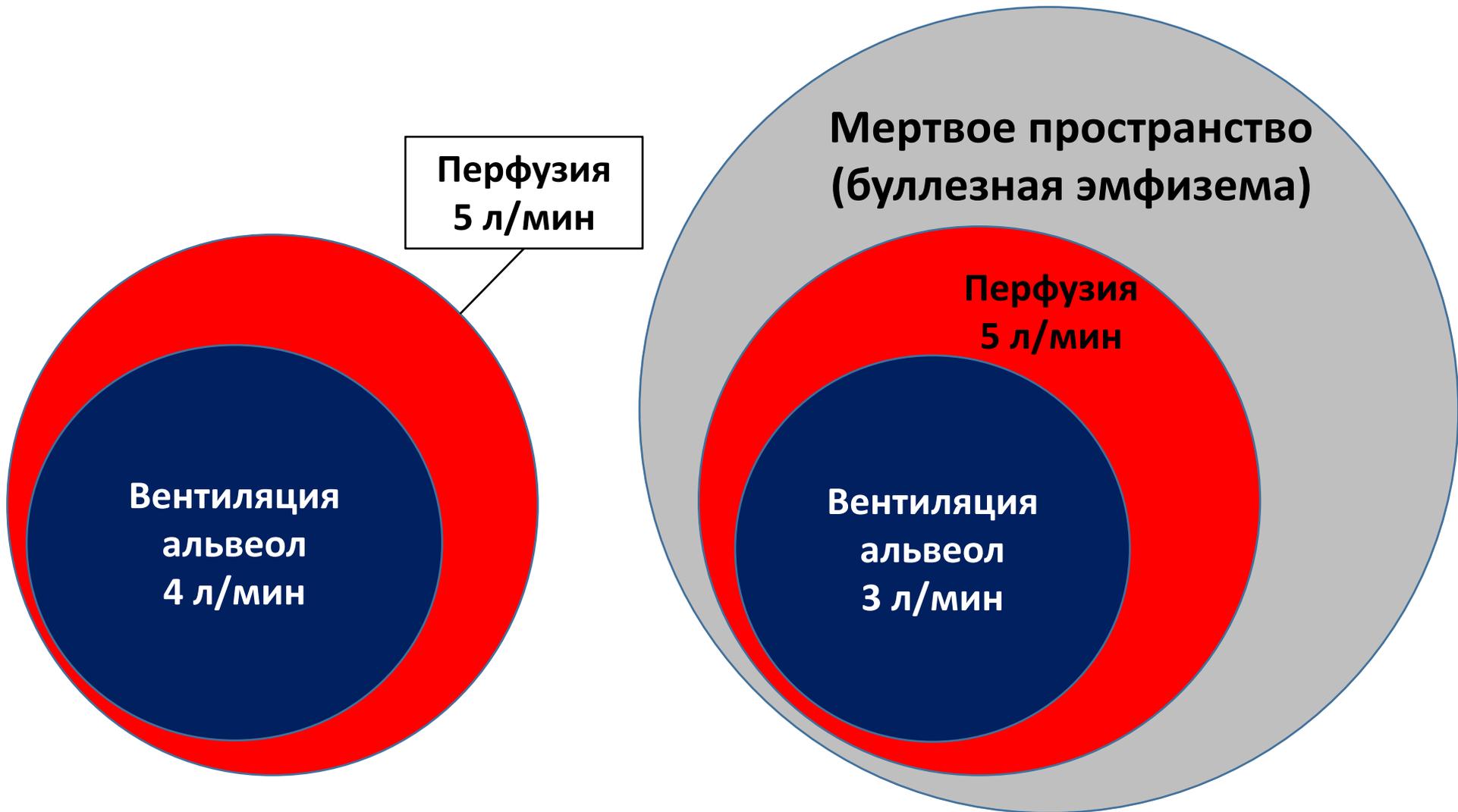
$P_ECO_2$  - среднее напряжение углекислого газа в выдыхаемом газе (в клинической практике применяют  $P_{ET}CO_2$ ).

$P_aCO_2 - P_{ET}CO_2 = \Delta PCO_2$  в норме 4-5 мм рт. ст.;  
при ХОБЛ  $\Delta PCO_2$  возрастает в несколько раз

**Уменьшение доли ДО в структуре ОЕЛ  
приводит к гиперкапнии**

**«альвеолярная гиповентиляция»**

# Соотношение вентиляции и перфузии



Перфузия  
5 л/мин

Вентиляция  
альвеол  
4 л/мин

Мертвое пространство  
(буллезная эмфизема)

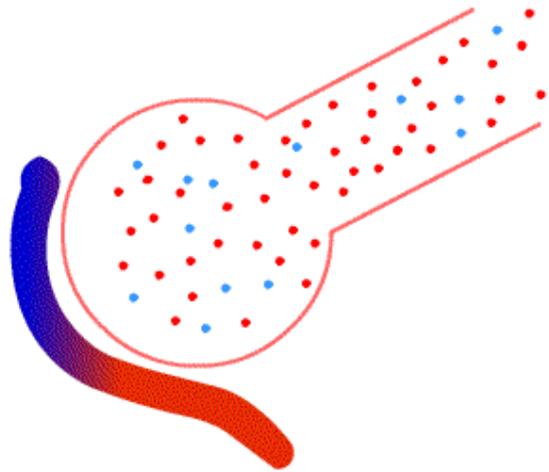
Перфузия  
5 л/мин

Вентиляция  
альвеол  
3 л/мин

Норма:  $V_A/Q = 4/5 = 0,8$

ХОБЛ:  $V_A/Q = 3/5 = 0,6$

# Экспираторное закрытие и $V_A/Q$ нарушения



↓  $P_{aO_2}$

↑  $P_{aCO_2}$

**ХОБЛ:  $V_A/Q = 3/5 = 0,6$**

**Увеличение доли мертвого пространства в  
структуре ОЕЛ приводит к гипоксемии**

**шунтирование**

**Для компенсации увеличенного  $V_D/V_T$  и сниженного  $V_A/Q$  возрастает частота дыхания, а не дыхательный объем**

**«Фиксированный» дыхательный объем**

Рост альвеолярной вентиляции возможен только за счет частоты дыхания

# Концепция Otis – оптимальная частота дыхания

Copyright © 1950 American Physiological Society. All rights reserved.

## Mechanics of Breathing in Man<sup>1</sup>

ARTHUR B. OTIS, WALLACE O. FENN AND HERBERT RAHN. *From the Department of Physiology and Vital Statistics, University of Rochester School of Medicine and Dentistry, Rochester, New York*

**T**HE MECHANICAL WORK done by the respiratory muscles in producing the movements of breathing has been studied relatively little by physiologists.

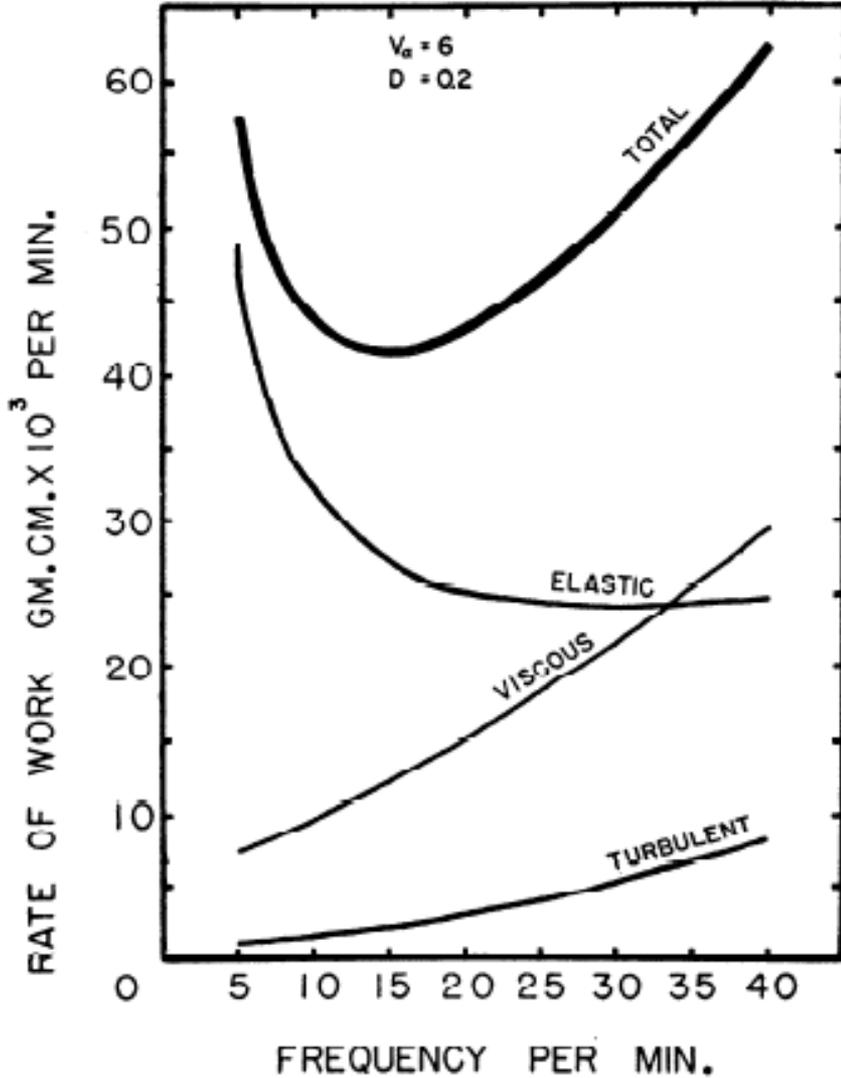
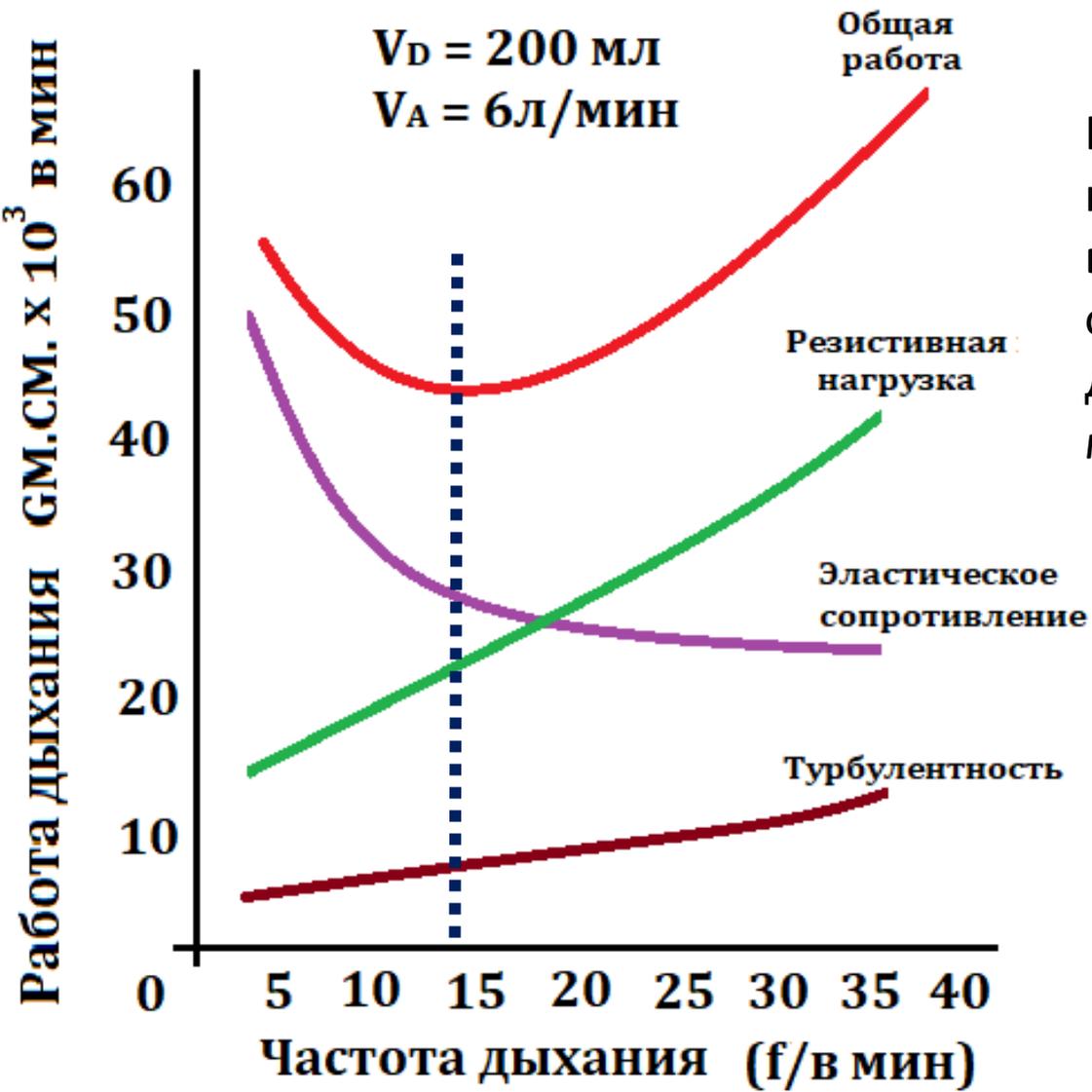


Fig. 7. RELATIONSHIP of elastic, viscous, turbulent, and total work of breathing/min. to frequency of breathing when alveolar ventilation is 6 l/min., and dead space is 200 cc. Curves calculated according to equation 13.

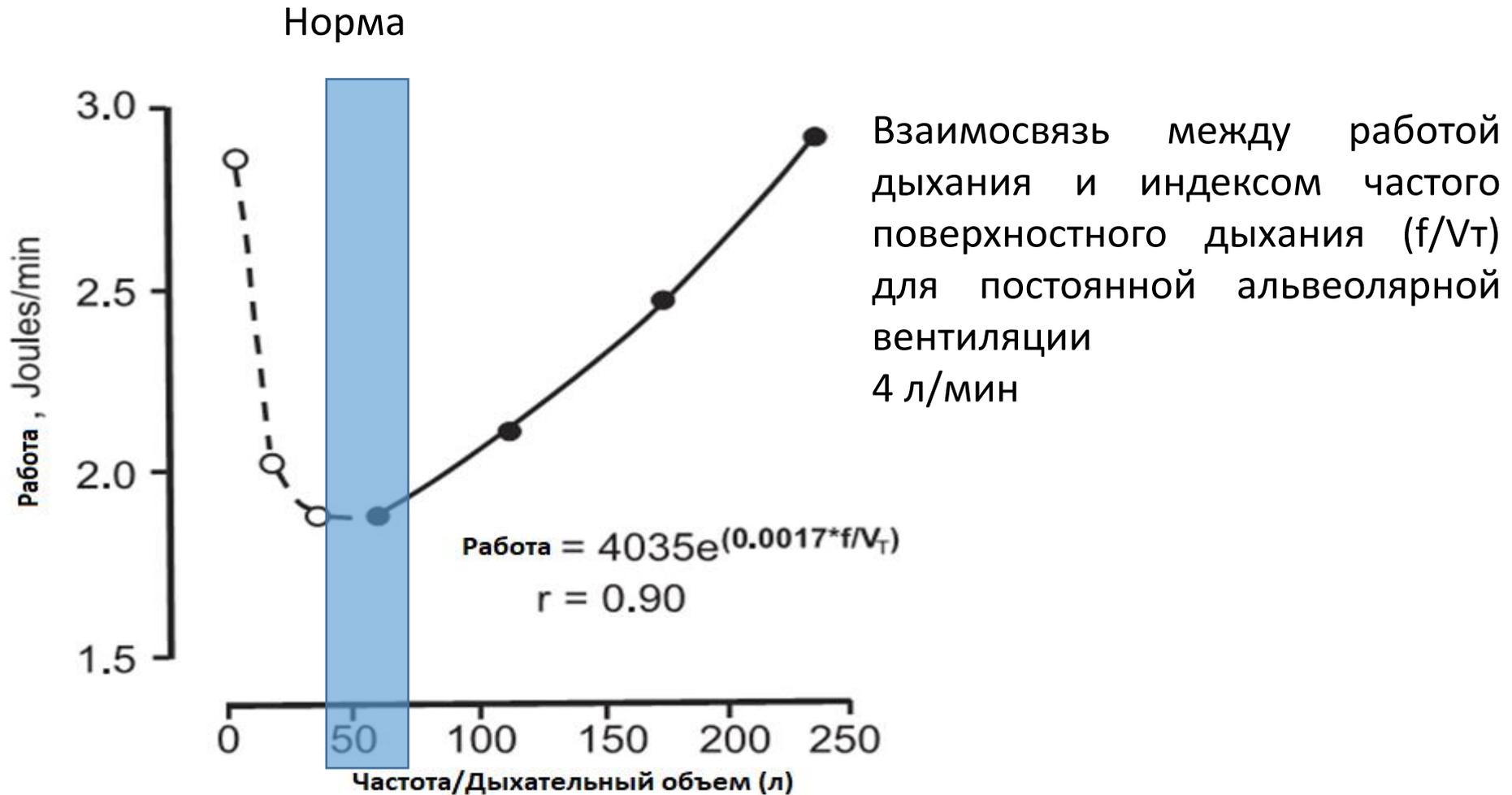
# Концепция Otis – оптимальная частота дыхания



Концепция Otis A.B. – каждому значению минутной вентиляции соответствует определенная частота дыхания, при которой работа минимальна

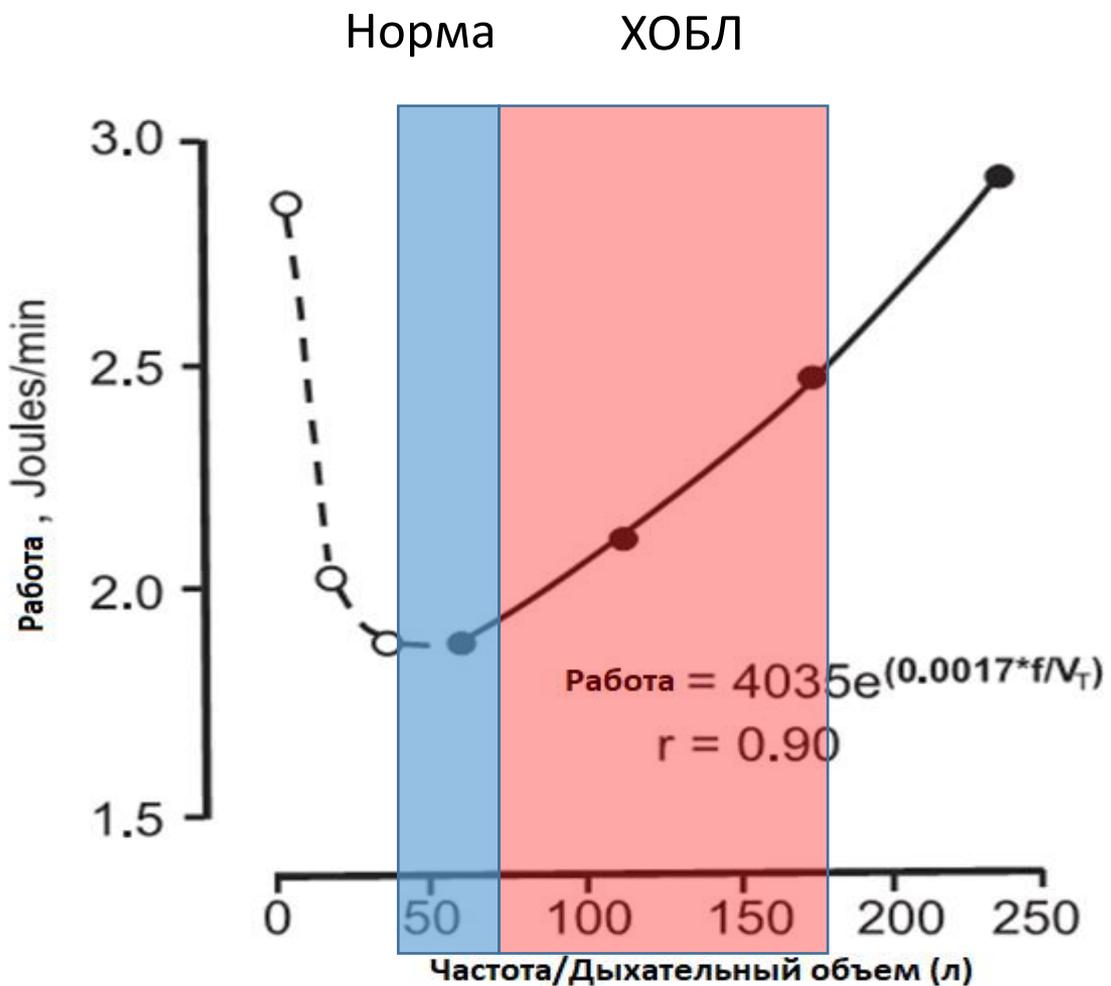
A.B. Otis. Mechanics of Breathing in Man. American Physiological Society, 1950.

# Работа дыхания и индекс $f/V_T$ (Тобина)



Tobin MJ. Noninvasive monitoring of ventilation. In: Principles and Practice of Intensive Care Monitoring , edited by Tobin MJ. New York: McGraw-Hill, 1998, p. 479.

# Работа дыхания и индекс Тобина



Работа дыхания наименьшая для коэффициентов  $f/V_T$  от 40 до 60 вдохов/мин. Работа возрастает линейно по мере увеличения  $f/V_T$  от 60 и выше

Tobin MJ. Noninvasive monitoring of ventilation. In: Principles and Practice of Intensive Care Monitoring , edited by Tobin MJ. New York: McGraw-Hill, 1998, p. 479.

# Дыхательный паттерн больных ХОБЛ

## Дыхательный паттерн при ХОБЛ

Феномен «воздушные ловушки», динамическая гиперинфляция

Отсутствие резерва к увеличению ДО

Снижение ДО (менее 500мл) за счет укорочения времени вдоха, инспираторный поток повышен

Учащение ЧДД, увеличение МОД (частое поверхностное дыхание - утомлением дыхательной мускулатуры, работа дыхательных мышц в невыгодных условиях)

Развитие хронической гипоксемии

Развитие хронической гиперкапнии

Гипоксический дыхательный драйв

Развитие аутоПДКВ (PEEPi)

Асинхрония между инициацией вдоха (сокращением диафрагмы) и началом инспираторного потока (время на преодоление пороговой нагрузки)

Tobin, M. J., et al. Ventilatory Failure, Ventilator Support, and Ventilator Weaning. Comprehensive Physiology. 2012.

Gorini M. et al. Breathing pattern and carbon dioxide retention in severe chronic obstructive pulmonary disease // Thorax. 1996.

Loveridge B. et al. Breathing patterns in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Am Rev Respir Dis. 1984 Nov.

# **Динамическая гиперинфляция, влияние на гемодинамику**

# Влияние на гемодинамику (правый желудочек)



↑ Внутригрудного давления  
Гипоксическая  
↑ P<sub>LA</sub> вазоконстрикция  
Редукция капиллярного русла  
PEEP<sub>i</sub>

↑ Внутригрудного  
давления  
↓ Венозного возврата

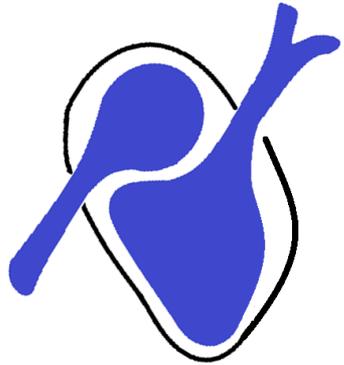
# Влияние на гемодинамику (правый желудочек)



# Влияние на гемодинамику

## Снижение УО

СНИЖАЕТСЯ  
ПРЕДНАГРУЗКА,  
СМЕЩАЕТСЯ  
МЖП



Систолическая  
дисфункция ПЖ

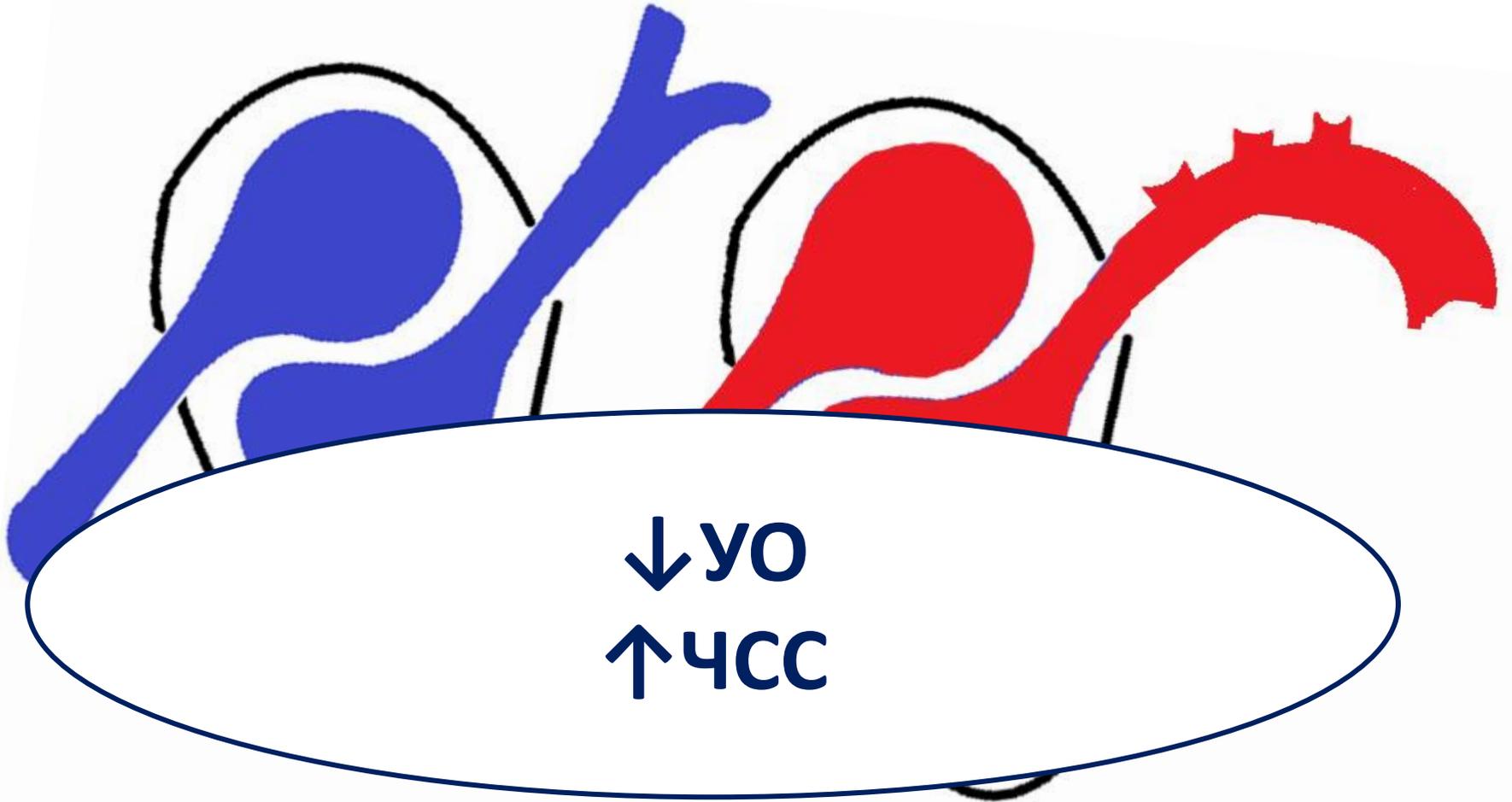


Диастолическая  
дисфункция ЛЖ

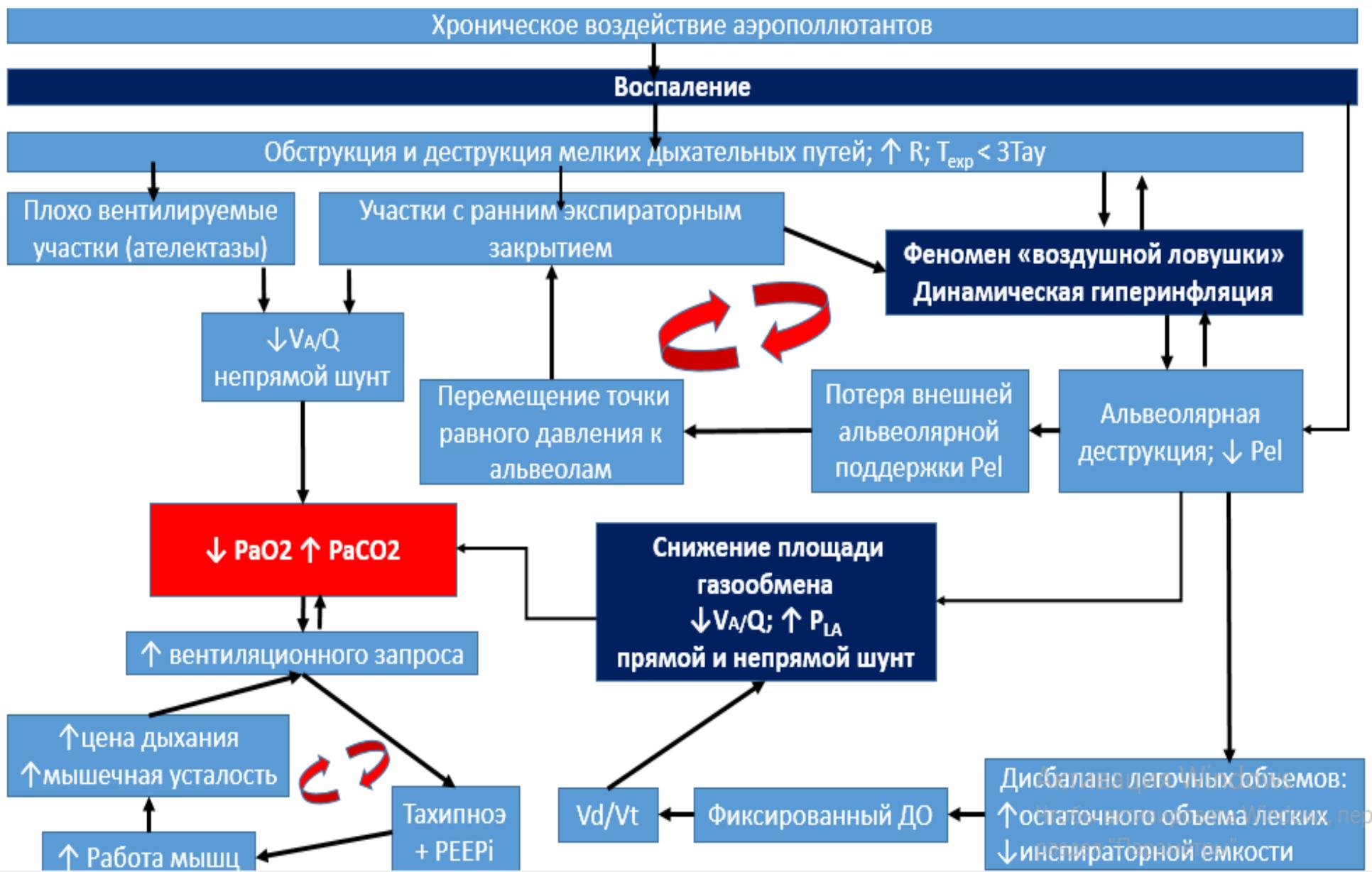
Компенсаторное повышение  
ОПСС

Компенсаторное повышение  
ЧСС

# Влияние на гемодинамику



# Схема патогенеза ХОБЛ



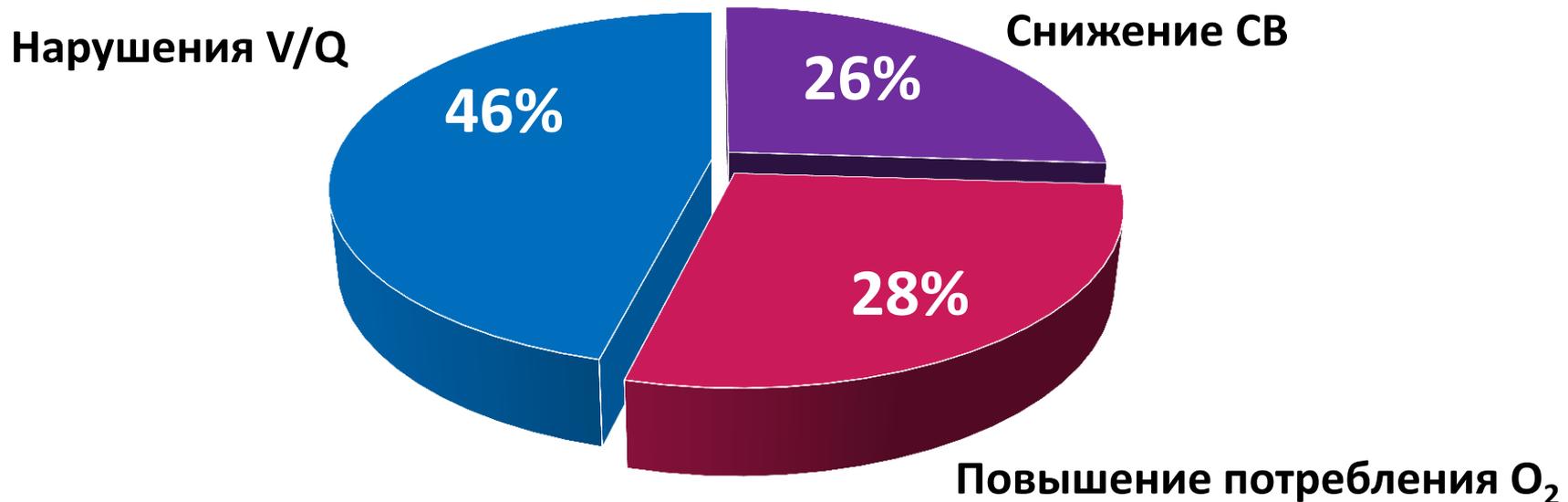
# **Гипоксия и гиперкапния**

**Что опаснее для организма?**

# Гипоксия

# Гипоксия при ХОБЛ

## Вклад в гипоксию различных патологических процессов при обострении ХОБЛ



Из доклада Авдеева С.Н. «Обострение ХОБЛ» Санкт-Петербург 12 мая 2018 год

Barberà J.A. Mechanisms of worsening gas exchange during acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. Eur. Respir. J., 1997.

# Коррекция гипоксемии и гиперкапнии - респираторная поддержка

ОДН при ХОБЛ

```
graph TD; A([ОДН при ХОБЛ]) --> B[ИВЛ]; A --> C[НВЛ]; A --> D[O2 терапия];
```

ИВЛ

НВЛ

O<sub>2</sub>  
терапия

лекарственная терапия

**НВЛ имеет мощную доказательную базу,  
НО  
при острой дыхательной недостаточности  
ВАЖНО  
не запоздать с ИВЛ**

# Показания к ИВЛ при обострении ХОБЛ

## Основные критерии (один из следующих)

- Остановка дыхания
- Потеря сознания
- Пациент не участвует в лечении, срывает маску
- Не можем обеспечить защиту дыхательных путей
- Психомоторное возбуждение, требующее седации
- Нестабильность гемодинамики (систолическое артериальное давление менее 70 и более 180 мм рт. ст.; неконтролируемая аритмия)

## Второстепенные критерии (любые два из следующих)

- Частота дыхания  $> 35$  вдох / мин
- Ухудшение ацидемии или  $pH < 7,25$
- $PaO_2$  менее 40 мм рт. ст. или  $PaO_2/FiO_2$  менее 200 мм рт. ст.,
- Снижение уровня сознания



Хроническая обструктивная болезнь легких. Российское респираторное общество, 2018.

Nathan T. Ventilator Strategies for Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Acute Respiratory Distress Syndrome Surg. Clin. N. Am., 2017.

# Настройка ИВЛ при обострении ХОБЛ

**Для устранения ограничения экспираторного потока необходимо**

- Оптимизировать соотношение I:E - максимально уменьшить время вдоха и увеличить время выдоха
- Снизить частоту дыхания (6-10 в мин)
- Оптимизировать пиковый инспираторный поток более 60 л/мин (80-100 л/мин)
- Оптимизировать переключение аппарата с вдоха на выдох (ETS переключение на выдох при снижении инспираторного потока до 35—45%)
- Оптимизировать чувствительность инспираторного триггера (снизить до необходимого минимума)
- Определить PEEP<sub>i</sub>, и подобрать внешнее PEEP равное 80-85% от PEEP<sub>i</sub> или равное ему
- Вентиляция по давлению, целевой дыхательный объем до 8-10 мл/кг идеальной массы тела.

Detajin Junhasavasdikul, MD. Expiratory Flow Limitation during Mechanical Ventilation. Chest.2018

Сатишур О.Е. Механическая вентиляция легких, 2006.

Tobin, M. J. Ventilatory Failure, Ventilator Support, and Ventilator Weaning. Comprehensive Physiology. 2012



# Борьба с гиперинфляцией

## Для устранения ограничения экспираторного потока необходимо

- Оптимизировать соотношение I:E - максимально уменьшить время вдоха и увеличить время выдоха
- Снизить частоту дыхания (6-10 в мин)
- Оптимизировать пиковый инспираторный поток более 60 л/мин (80-100 л/мин)
- Оптимизировать переключение аппарата с вдоха на выдох (ETS переключение на выдох при снижении инспираторного потока до 35—45%)
- Оптимизировать чувствительность инспираторного триггера (снизить до необходимого минимума)
- Определить PEEP<sub>i</sub>, и подобрать внешнее PEEP равное 80-85% от PEEP<sub>i</sub> или равное ему
- Вентиляция по давлению, целевой дыхательный объем до 8-10 мл/кг идеальной массы тела.

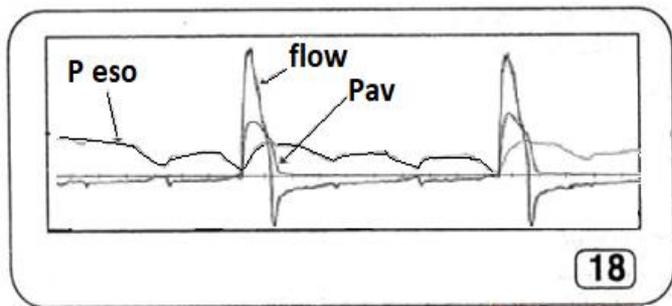
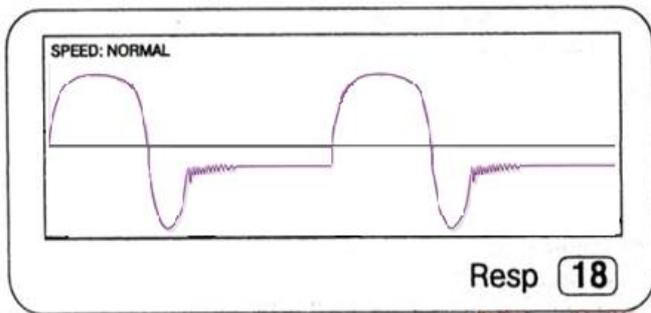
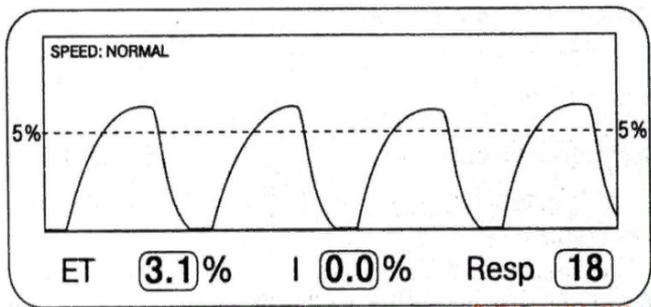
Detajin Junhasavasdikul, MD. Expiratory Flow Limitation during Mechanical Ventilation. Chest.2018

Сатишур О.Е. Механическая вентиляция легких, 2006.

Tobin, M. J. Ventilatory Failure, Ventilator Support, and Ventilator Weaning. Comprehensive Physiology. 2012



# Диагностика незавершенного выдоха и РЕЕРі



- Капнографическая кривая не достигает плато
- Экспираторная часть кривой потока не достигает нуля до начала очередного вдоха
- Автоматическое обнаружение РЕЕРі, если позволяет аппарат
- Визуальное определение РЕЕРі. Для пациентов, у которых сохраняется спонтанное дыхание, попытка вдоха при отсутствии ответа вентилятора свидетельствует о РЕЕРі (при условии адекватной настройки триггера). Это происходит по тому, что РЕЕРі увеличивает градиент давления необходимый для создания потока на вдохе и срабатывания триггера.

# Нужно больше времени для выдоха

- I:E - максимально уменьшить время вдоха и увеличить время выдоха
- Снизить  $f$  до 6-10 в мин
- Пиковый инспираторный поток 80-100 л/мин
- ETS до 35—45%



# Борьба с асинхронией

## Для устранения ограничения экспираторного потока необходимо

- Оптимизировать соотношение I:E - максимально уменьшить время вдоха и увеличить время выдоха
- Снизить частоту дыхания (6-10 в мин)
- Оптимизировать пиковый инспираторный поток более 60 л/мин (80-100 л/мин)
- Оптимизировать переключение аппарата с вдоха на выдох (ETS переключение на выдох при снижении инспираторного потока до 35—45%)
- Оптимизировать чувствительность инспираторного триггера (снизить до необходимого минимума)
- Определить PEEP<sub>i</sub>, и подобрать внешнее PEEP равное 80-85% от PEEP<sub>i</sub> или равное ему
- Вентиляция по давлению, целевой дыхательный объем до 8-10 мл/кг идеальной массы тела.

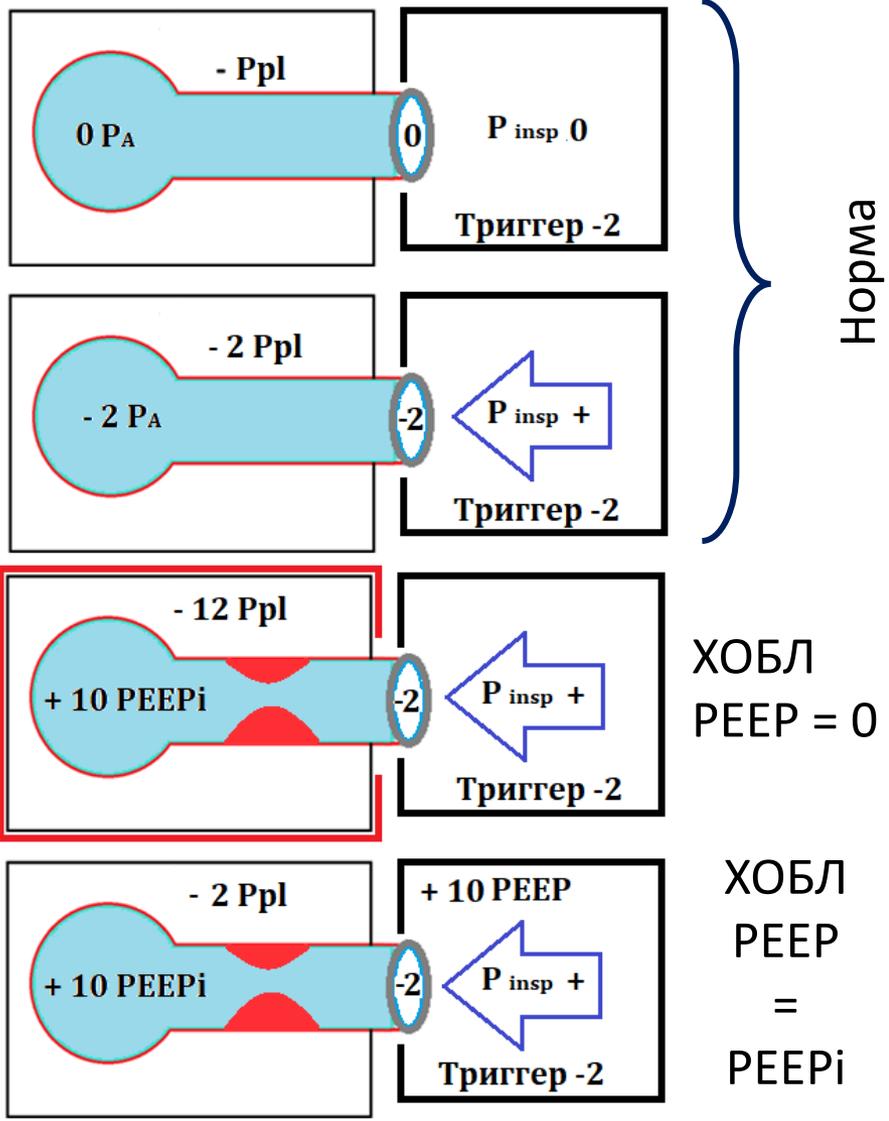
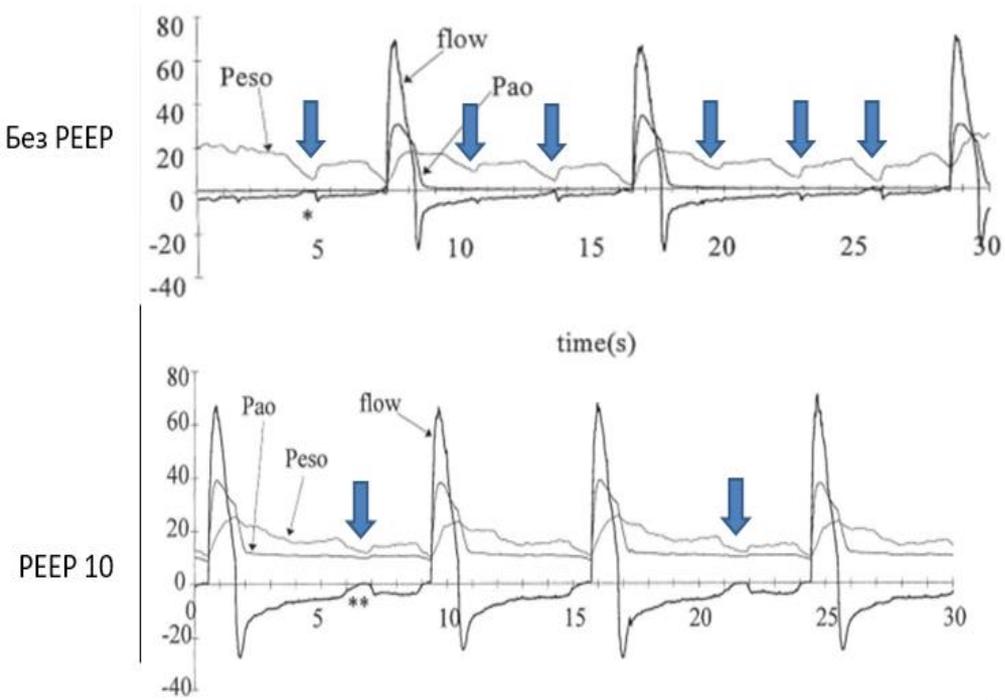
Detajin Junhasavasdikul, MD. Expiratory Flow Limitation during Mechanical Ventilation. Chest.2018

Сатишур О.Е. Механическая вентиляция легких, 2006.

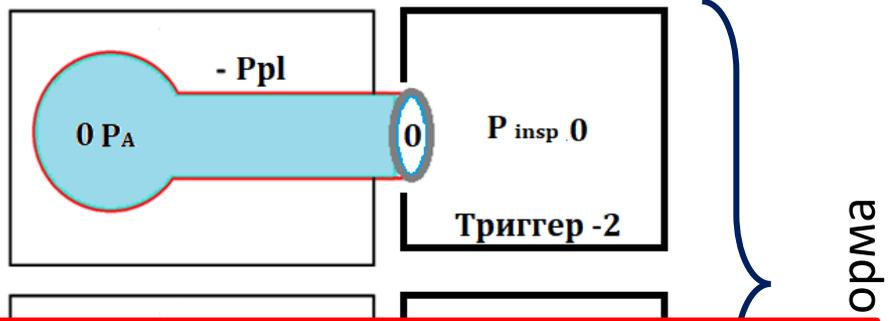
Tobin, M. J. Ventilatory Failure, Ventilator Support, and Ventilator Weaning. Comprehensive Physiology. 2012



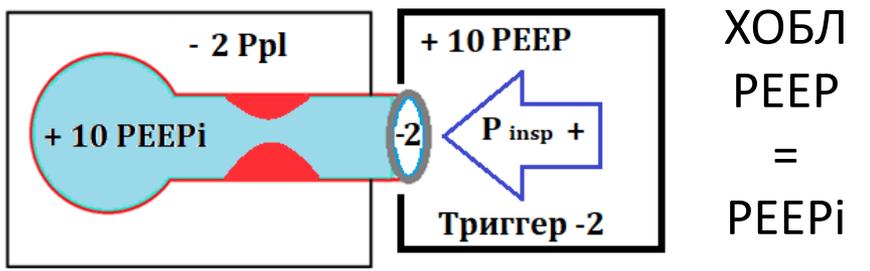
# Преодоление PEEPi



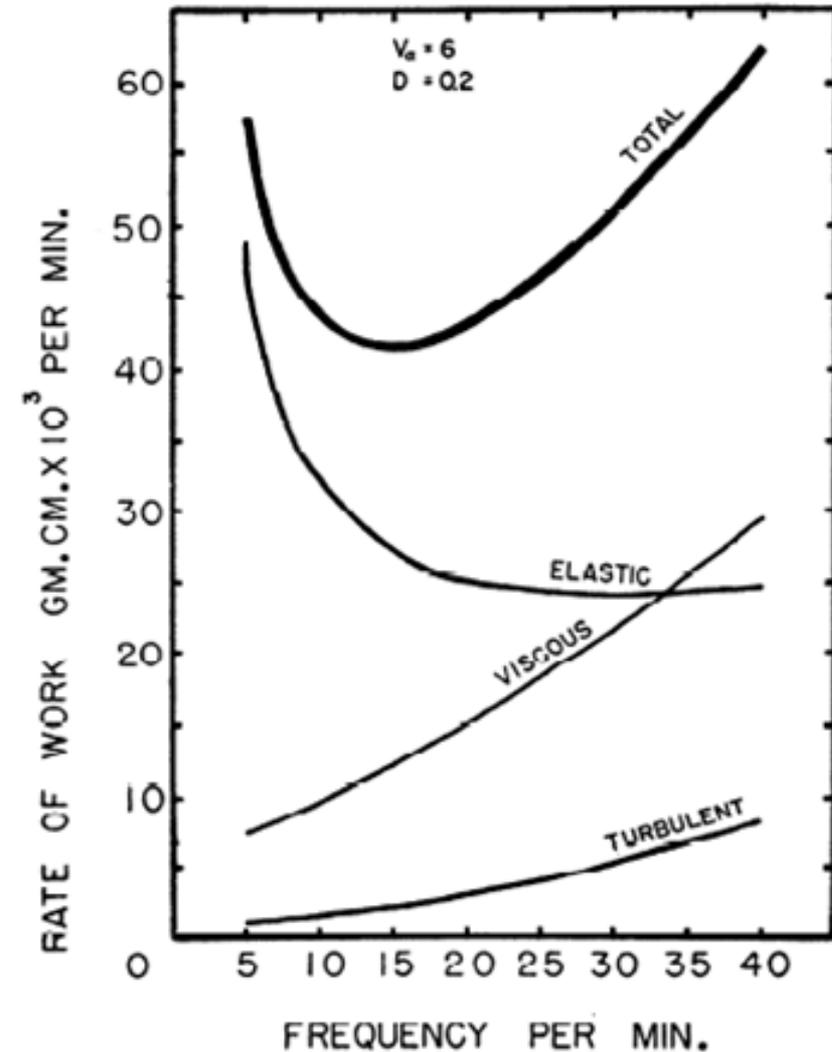
# Преодоление РЕЕРі



- Оптимизировать чувствительность инспираторного триггера (снизить до необходимого минимума)
- Определить РЕЕРі, и подобрать внешнее РЕЕР равное 80-85% от РЕЕРі или равное ему



# Концепция Otis – оптимальная частота дыхания для определенной минутной вентиляции



Концепция Otis А.В. – каждому значению минутной вентиляции соответствует определенная частота дыхания, при которой работа минимальна

# Концепция Otis – оптимальная частота дыхания для определенной минутной вентиляции

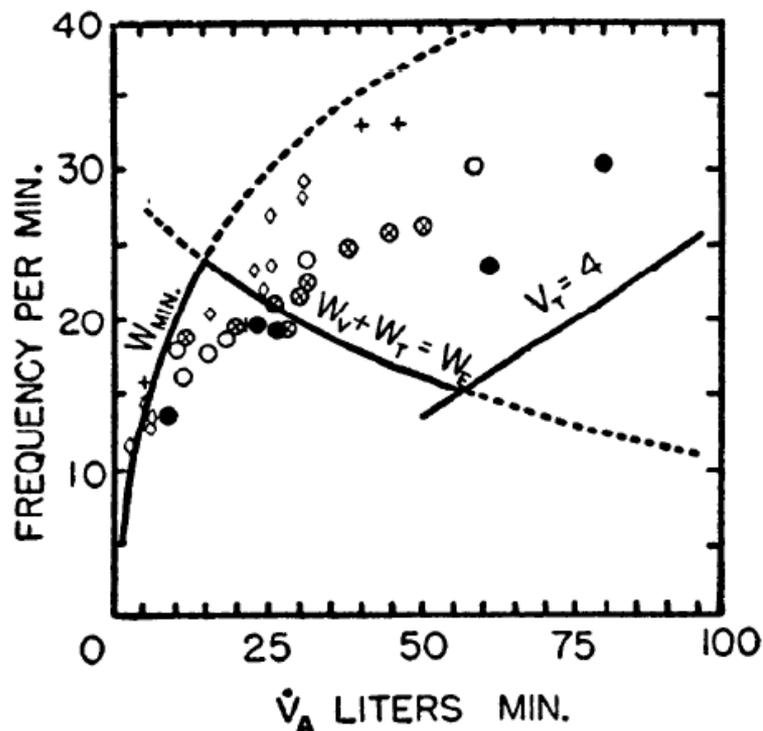
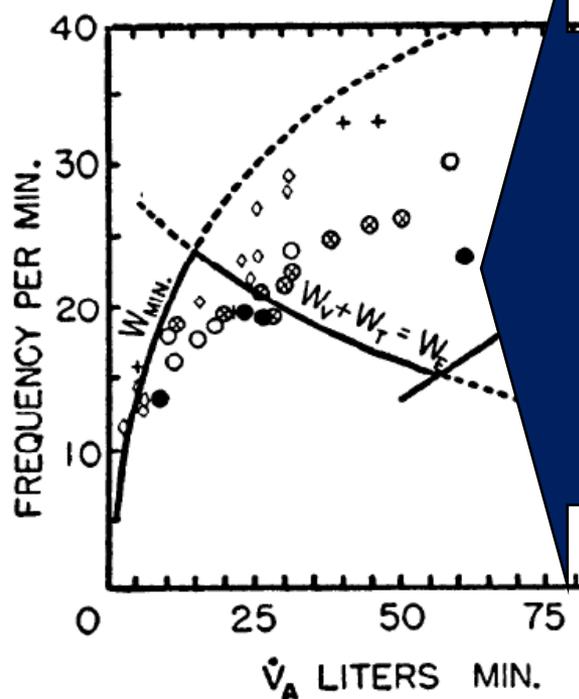


Fig. 8. FACTORS DETERMINING OPTIMAL BREATHING FREQUENCIES for various alveolar ventilations. For explanation of curves, see text. Plotted points represent data from literature as follows: *open circles*, subject R.M., Barcroft and Margaria (21); *solid circles*, subject J.B., Barcroft and Margaria (21); *circles with X*, subject J.J., Lindhard (22); *diamonds*, subject I.B., Hansen (23); *crosses*, subject G.L., Liljestrand (11). Alveolar ventilations calculated from recorded total ventilations by assuming dead space of 200 cc.

Оптимальная частота дыхания для определенной альвеолярной минутной вентиляции

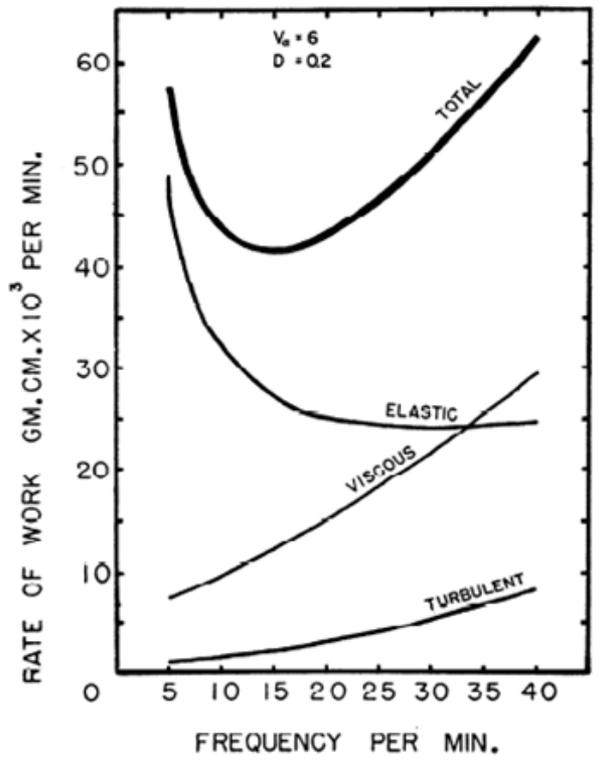
# Концепция Otis – оптимальная частота дыхания для определенной минутной вентиляции



**Концепция Otis A.B.** – каждому значению минутной вентиляции соответствует определенная частота дыхания, при которой работа минимальна

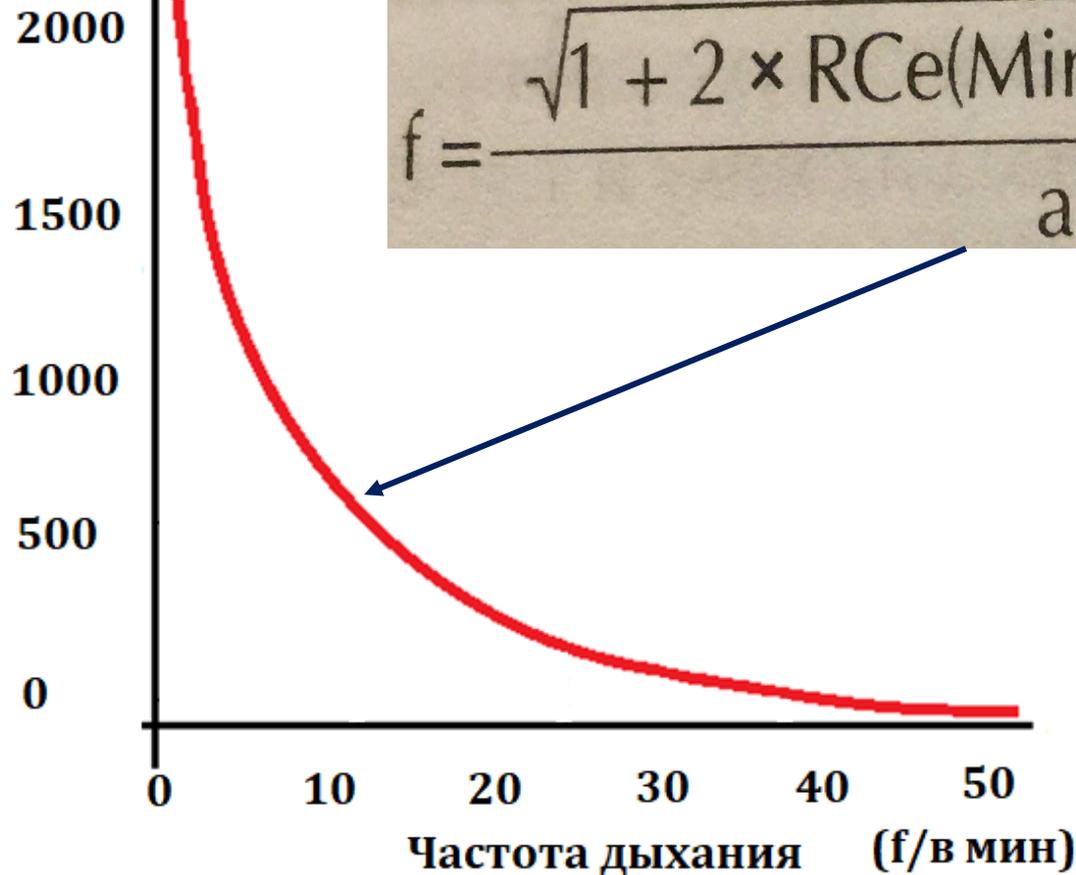
+

**$\tau = R \times C$**



# Оптимальная частота дыхания и дыхательный объем

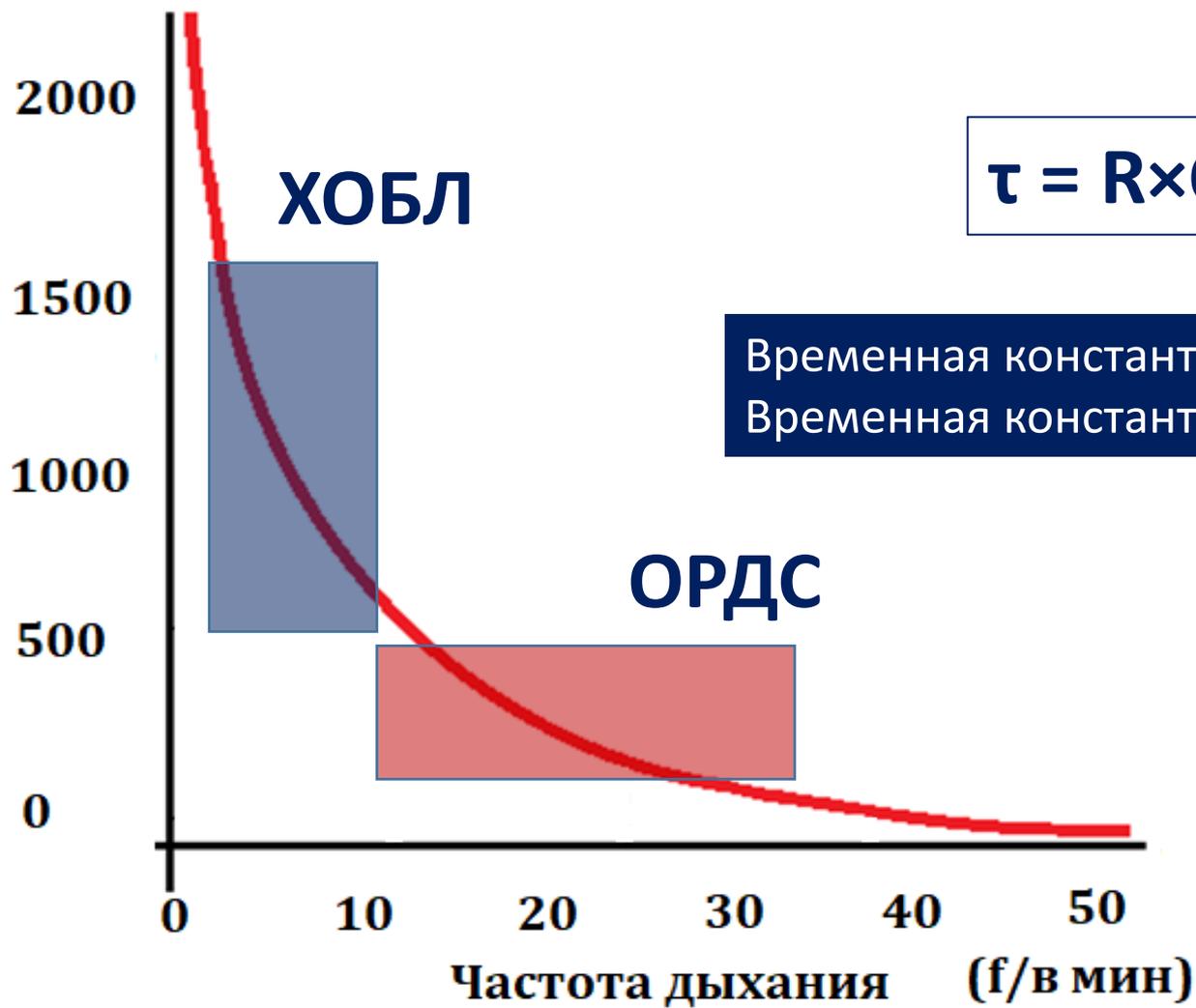
Дыхательный объем  
(мл)



$$f = \frac{\sqrt{1 + 2 \times RCe(\text{MinVol} - f \times V_D) / V_D} - 1}{a \times RCe}$$

# Оптимальная частота дыхания и дыхательный объем

Дыхательный объем  
(мл)

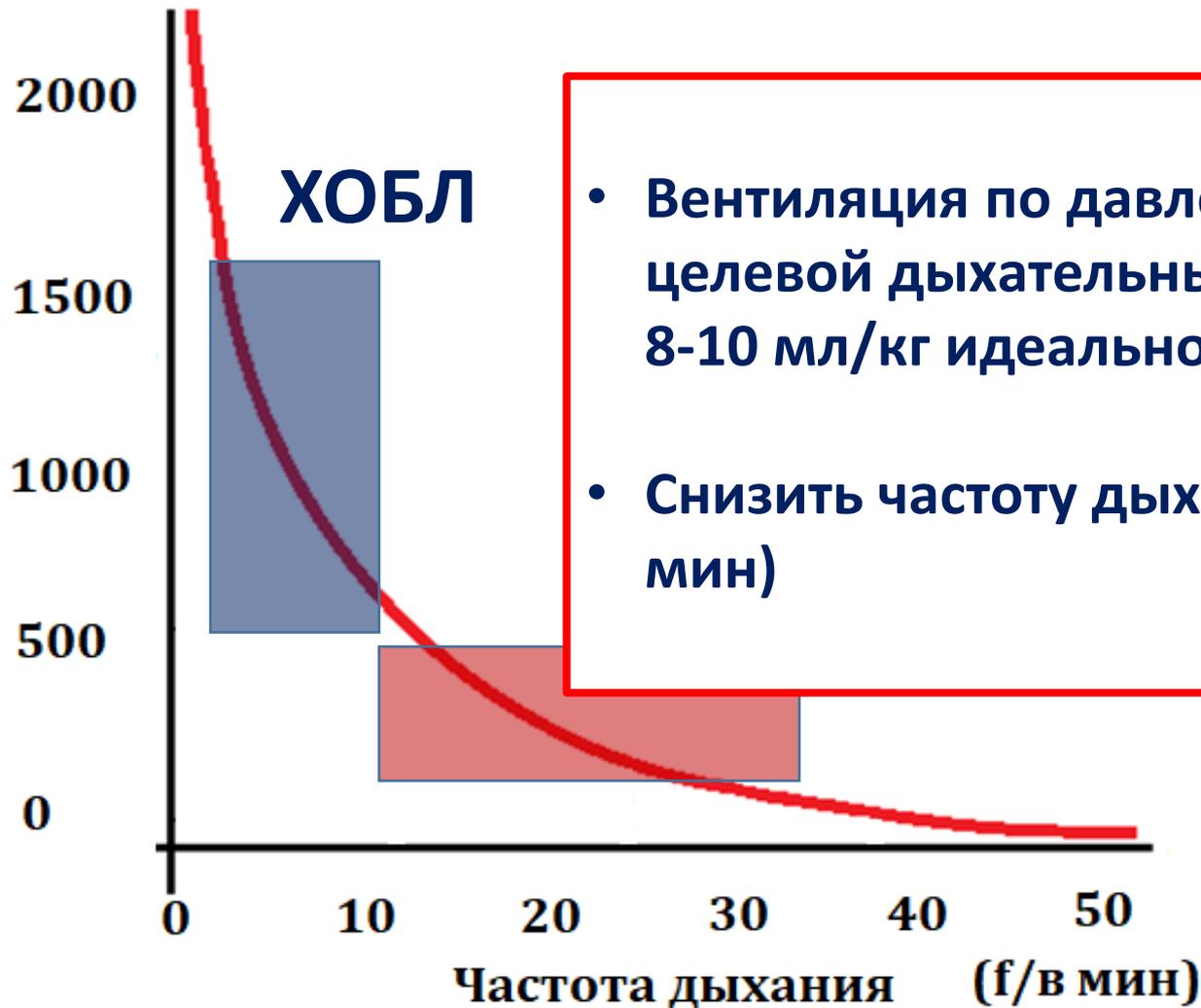


$$\tau = R \times C_e$$

Временная константа при ХОБЛ  $\geq 0,9$  с  
Временная константа при ОРДС  $\leq 0,6$  с

# Оптимальная частота дыхания и дыхательный объем

Дыхательный объем  
(мл)



**ХОБЛ**

- Вентиляция по давлению, целевой дыхательный объем до 8-10 мл/кг идеальной массы тела
- Снизить частоту дыхания (6-10 в мин)

**Учитывая хроническое течение ХОБЛ целью ИВЛ должно быть нормализация рН, а не  $P_aCO_2$**

# Неинвазивная вентиляция ХОБЛ



# Неинвазивная вентиляция при ХОБЛ

НВЛ является единственно доказанным методом терапии, способным снизить летальность у больных ХОБЛ с ОДН (А, 1).

Критериями для начала проведения **неинвазивной** вентиляции легких при обострении ХОБЛ:

- Выраженная одышка в покое, ЧДД >24/мин,
- Участие в дыхании вспомогательной дыхательной мускулатуры, абдоминальный парадокс
- Признаки нарушения газообмена  $PaCO_2 > 45$  мм рт.ст;  $pH < 7,35$ ;  $PaO_2 / FiO_2 < 200$  мм рт.ст.





CrossMark

# Management of COPD exacerbations: a European Respiratory Society/American Thoracic Society guideline

Jadwiga A. Wedzicha (ERS co-chair)<sup>1</sup>, Marc Miravittles<sup>2</sup>, John R. Hurst<sup>3</sup>,

TABLE 1 Recommendations for the treatment of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) exacerbations

Recommendation	Strength	Quality of evidence
1 For ambulatory patients with an exacerbation of COPD, we suggest a short course ( $\leq 14$ days) of oral corticosteroids	Conditional	Very low
2 For ambulatory patients with an exacerbation of COPD, we suggest the administration of antibiotics	Conditional	Moderate
3 For patients who are hospitalised with a COPD exacerbation, we suggest the administration of oral corticosteroids rather than intravenous corticosteroids if gastrointestinal access and function are intact	Conditional	Low
4 For patients who are hospitalised with a COPD exacerbation associated with acute or acute-on-chronic respiratory failure, we recommend the use of noninvasive mechanical ventilation	Strong	Low
5 For patients with a COPD exacerbation who present to the emergency department or hospital, we suggest a home-based management programme (hospital-at-home)	Conditional	Moderate
6 For patients who are hospitalised with a COPD exacerbation, we suggest the initiation of pulmonary rehabilitation within 3 weeks after hospital discharge	Conditional	Very low
7 For patients who are hospitalised with a COPD exacerbation, we suggest not initiating pulmonary rehabilitation during hospitalisation	Conditional	Very low

Eur Respir J 2017; 49: 1

## Рекомендации по лечению обострения хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ)

Рекомендация	Сила	Качество доказательств
1 Для амбулаторных пациентов с обострением ХОБЛ, мы предлагаем короткий курс (≈14 дней) пероральных кортикостероидов	Условная	Очень низкое
2 Для амбулаторных пациентов с обострением ХОБЛ, мы предлагаем введение антибиотиков	Условная	Умеренная
3 Для пациентов, госпитализированных с обострением ХОБЛ, применение оральных кортикостероидов предпочтительнее чем внутривенные кортикостероиды, если нет проблем с функционированием желудочно-кишечного тракта	Условная	Низкое
4 Для пациентов, госпитализированных с обострением ХОБЛ и имеющим острую дыхательную недостаточность, мы рекомендуем использовать неинвазивную вентиляцию легких	Сильная	Низкое
5 Для пациентов с обострением ХОБЛ, которые находятся в отделении неотложной помощи или госпитале, мы предлагаем продолжение лечения как патронажное наблюдения на дому (стационар дома)	Условная	Умеренная
6 Для пациентов, проходивших стационарное лечение от обострения ХОБЛ, мы предлагаем начать "легочную реабилитацию" в срок не ранее 3 недели после выписки	Условная	Очень низкое
7 Для пациентов, госпитализированных с обострением ХОБЛ, мы предлагаем не начинать легочную реабилитацию во время текущей госпитализации	Условная	Очень низкое

# НВЛ по сравнению с ИВЛ при ХОБЛ

- более низкий уровень смертности (7,1% против 13,9%),
- меньшая длительность пребывания в стационаре (средняя разница на 2,88 дня)
- в отделении интенсивной терапии (средняя разница на 4,99 дня)
- меньше осложнений (15,7% против 42%)



Jadwiga A. Wedzicha et al. Management of COPD exacerbations: a European Respiratory Society/American Thoracic Society guideline, 2017.

Burns, et al. Noninvasive Ventilation as a Weaning Strategy for Mechanical Ventilation in Adults with Respiratory Failure: A Cochrane Systematic Review, 2014.

# Задачи НВЛ

- Повышение уровня  $PaO_2$  и снижение  $PaCO_2$  → нормализация pH
  - Отдых дыхательной мускулатуры
  - Уменьшение работы мышц → снижение потребления  $O_2$
- 
- Возможность избежать осложнений от инвазивной ИВЛ

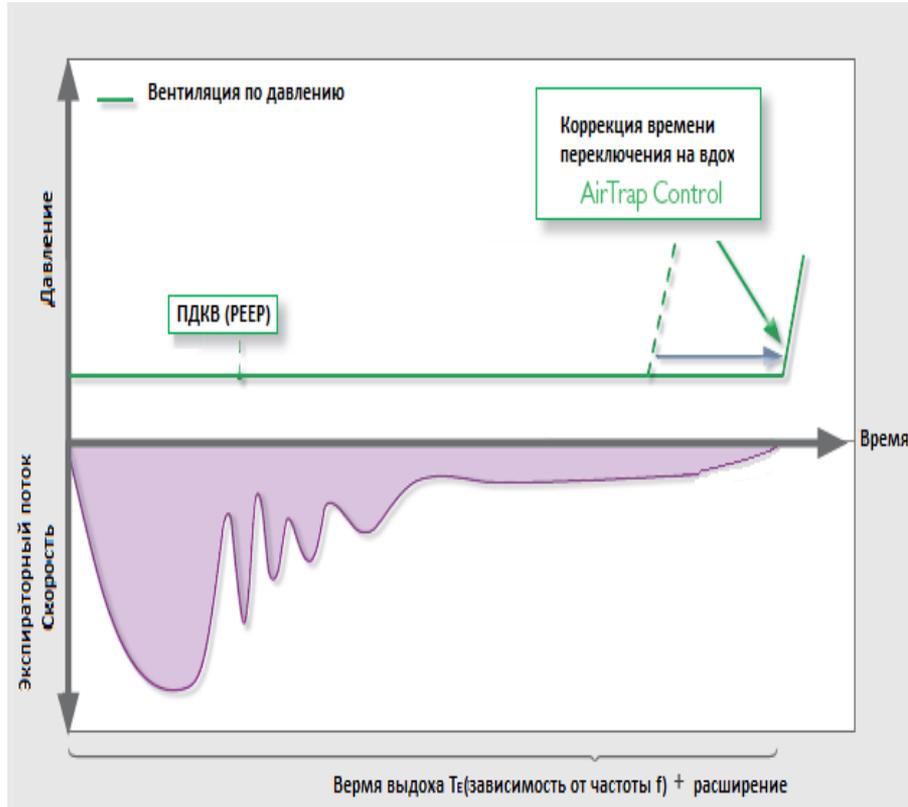
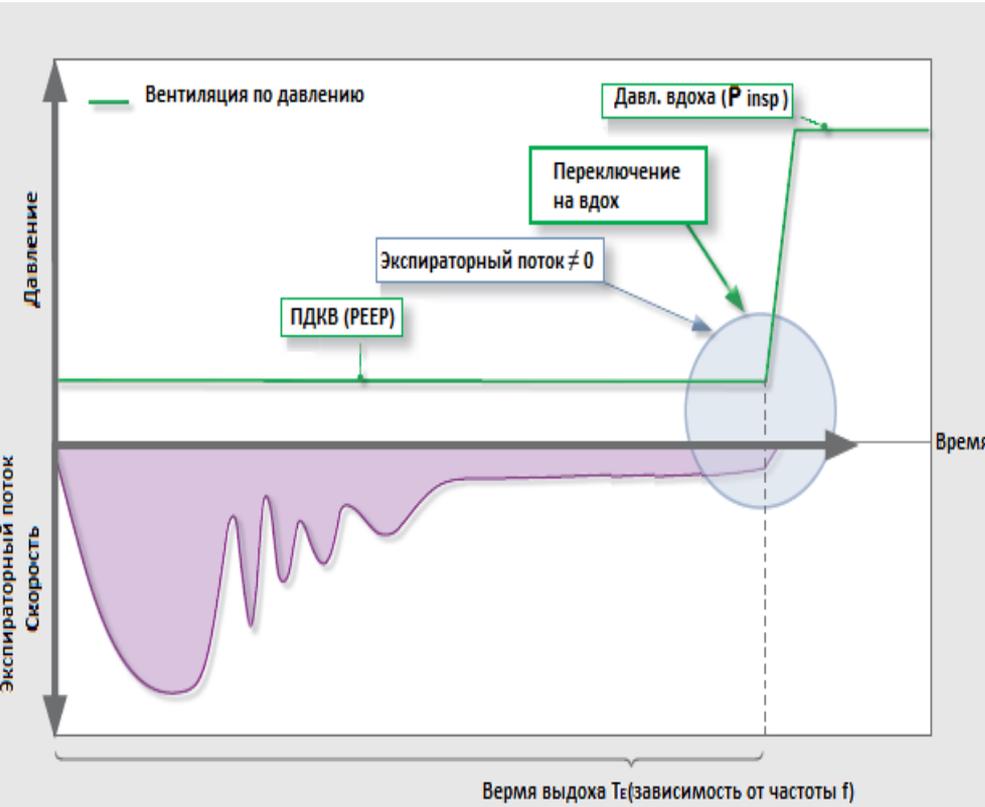
**Борьба с гиперинфляцией**

**Борьба с РЕЕРі**

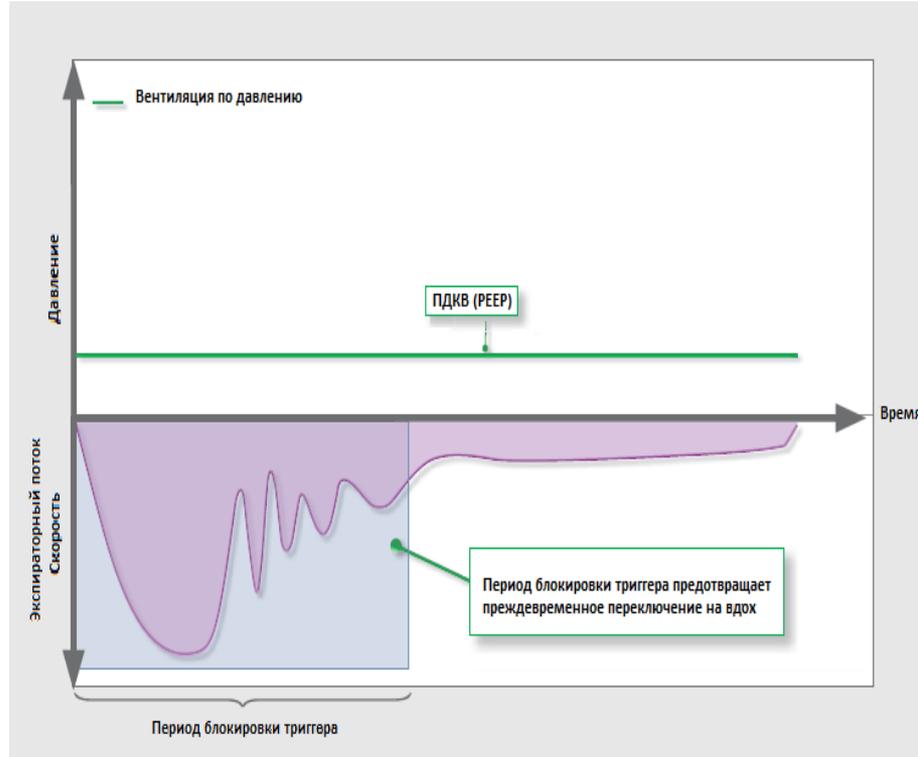
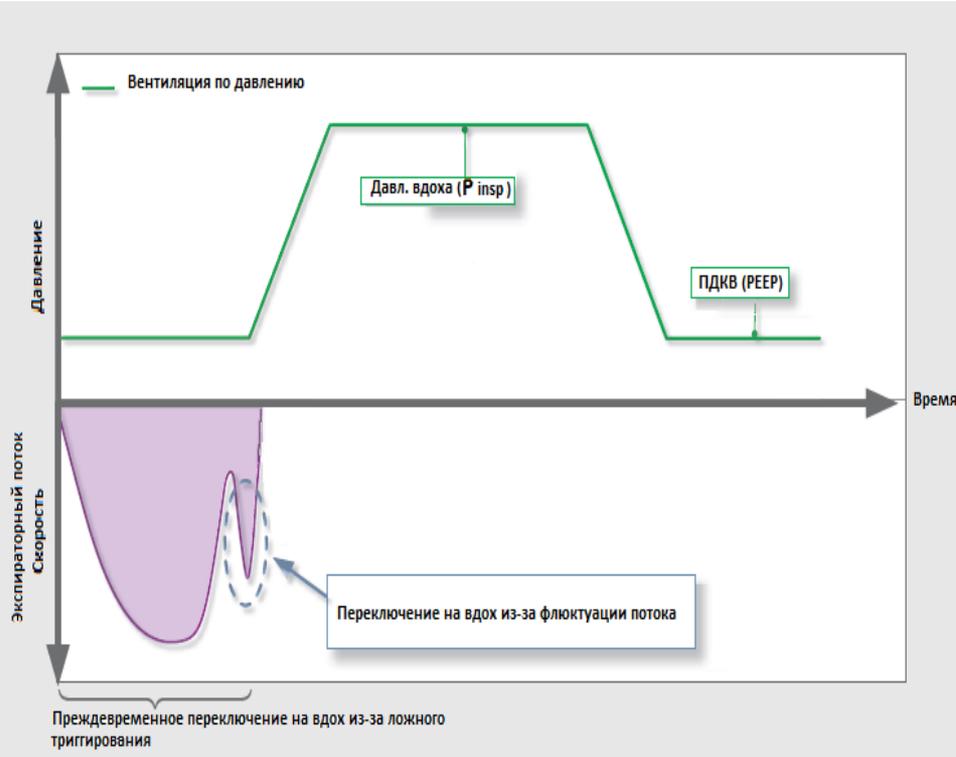
**Коррекция гипоксемии**

**Коррекция дыхательного ацидоза**

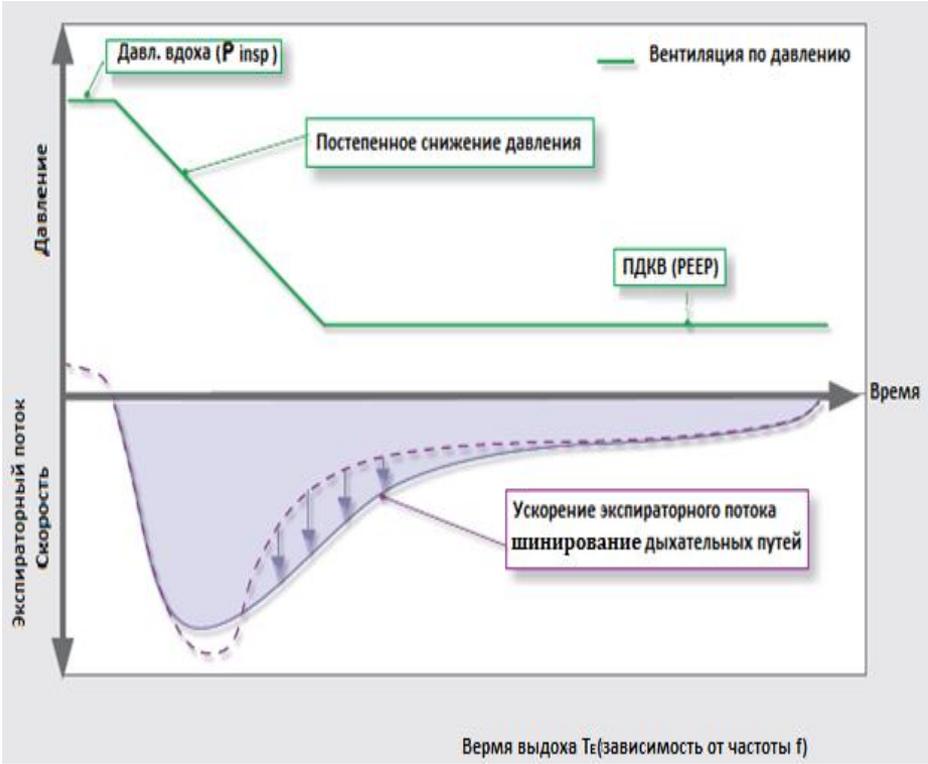
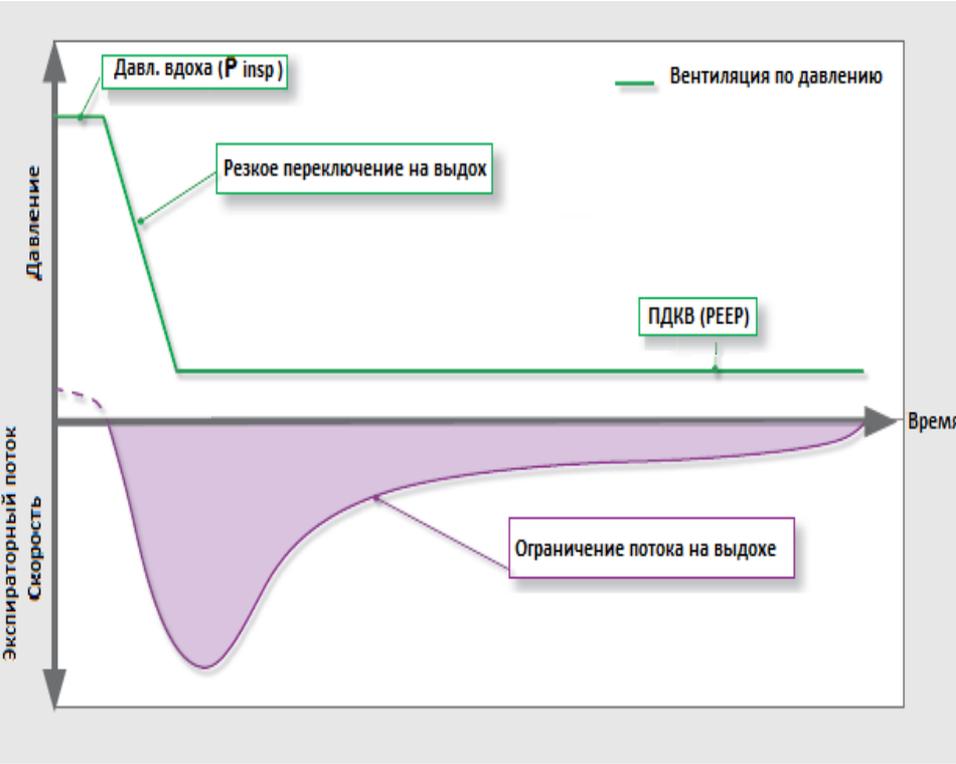
# Оптимизация НВЛ, удлинение фазы выдоха



# Оптимизация НВЛ, блок триггера на ранней фазе выдоха



# Оптимизация НВЛ, пологое снижение давления при переключении с вдоха на выдох



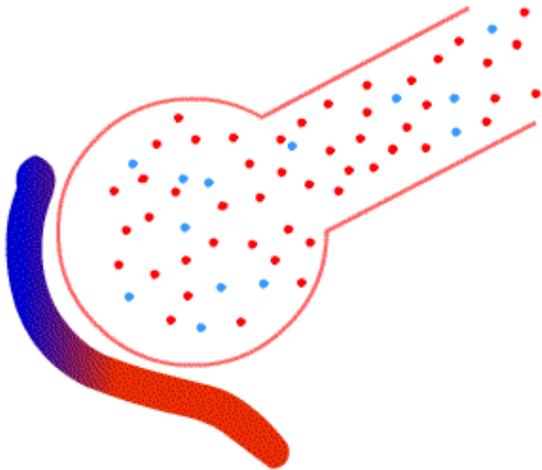
# Кислородотерапия при ХОБЛ



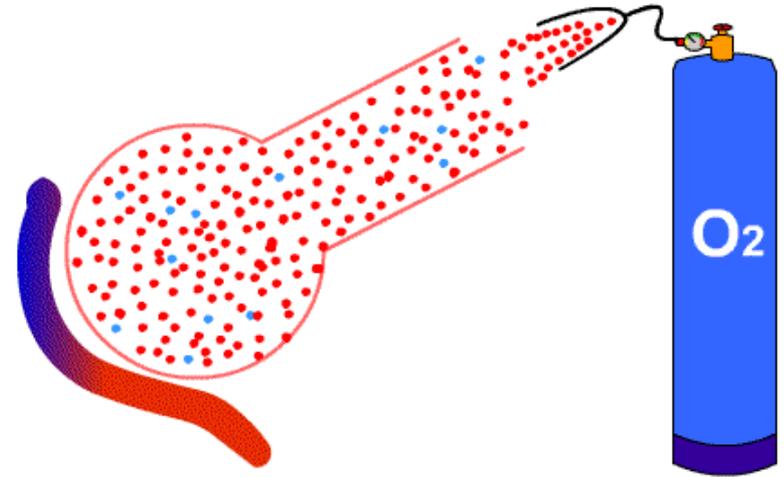
Кислородотерапия показана пациентам с нетяжелым обострением ХОБЛ, но она должна быть титрована в процессе лечения с целью достижения насыщения 88%-92%. Обязательно проведение оценки уровня PaCO<sub>2</sub>.

# Кислородотерапия при ХОБЛ

$FiO_2 = 21\%$



$FiO_2 > 21\%$



# Высокопоточная назальная оксигенотерапия

## High-flow nasal oxygen therapy



### Особенности:

Поток – до 60 л/мин

Высокая и точная  $FI_{O_2}$

Обогрев и увлажнение смеси

### Механизм действия

Доставка богатой  $O_2$  смеси

Редукция анатомически мертвого пространства

PEEP-эффект (2-5 мм.рт.ст)

Возможен рост ФОЕ и ДО

Увлажнение слизистых ДП

### Ожидаемые эффекты

Устранение гипоксии и гиперкапнии

Улучшение дыхательного паттерна (рост ДО, снижение ЧД)

Снижение работы дыхания

Улучшение мукоциллиарного клиренса

# Высокопоточные носовые канюли для респираторной поддержки взрослых реанимационных пациентов

Cochrane Systematic Review - Intervention | Version published: 30 May 2017



[View article information](#)

Amanda Corley | Claire M Rickard | Leanne M Aitken | Amy Johnston | Adrian Barnett | John F Fraser |  Sharon R Lewis  
| Andrew F Smith

[View authors' declarations of interest](#)

- 11 исследований, 1972 пациента
- Не найдено доказательств, что применение HFNC снизило частоту неэффективного лечения или смертность в сравнении традиционной кислородотерапией
- Не найдено доказательств преимуществ HFNC по продолжительности пребывания в ОРИТ или продолжительности респираторной поддержки по сравнению с НВЛ и традиционной кислородотерапией
- Не выявлено различий в уровнях кислорода или углекислого газа в крови, а также по частоте дыхания

## Выводы

«Мы не смогли собрать достаточно доказательств из исследований хорошего качества, чтобы определить, является ли применение HFNC безопасным и эффективным способом респираторной поддержки взрослых в ОРИТ.»

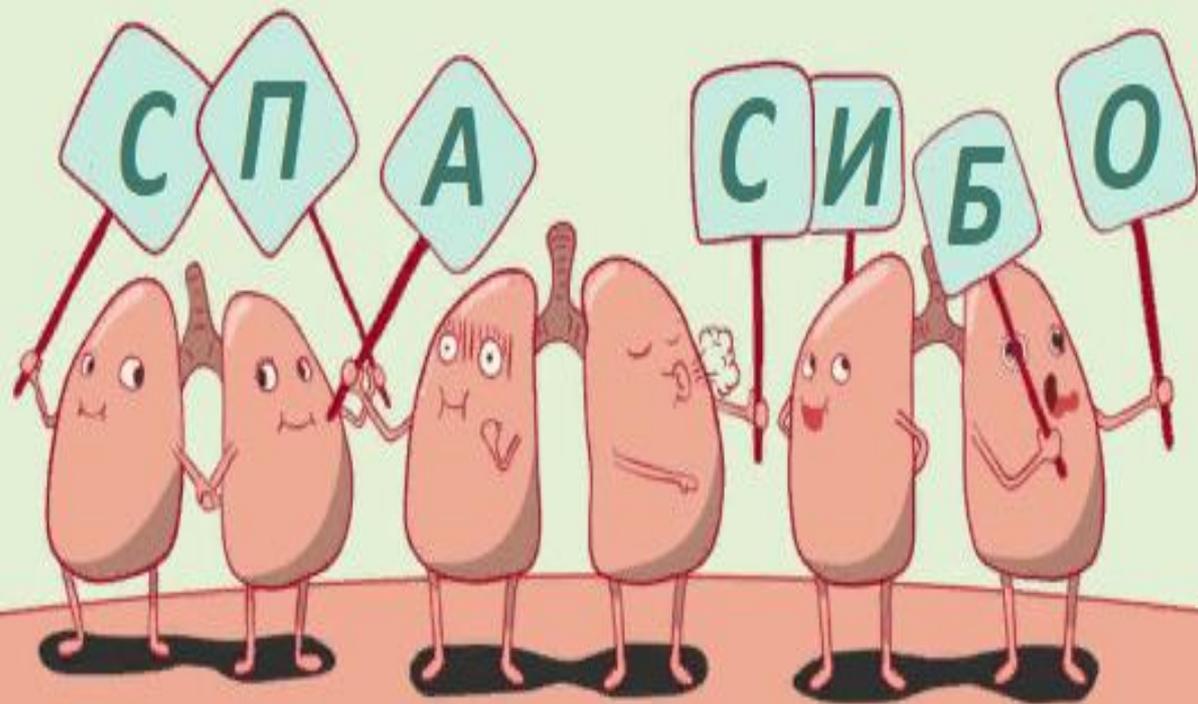
# Кислородотерапия при ХОБЛ



Rialp G, Role of Respiratory Drive in Hyperoxia-Induced Hypercapnia in Ready-to-Wean Subjects With COPD. *Respir Care*. 2015 Mar.

Aubier M, Effects of the Administration of O<sub>2</sub> on Ventilation and Blood Gases in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease During Acute Respiratory Failure *Am. Rev. Respir Dis*. 1980 Nov;

**Лекарственную терапию обострения ХОБЛ  
обсудим в следующей лекции**



ГОРОДСКАЯ КЛИНИЧЕСКАЯ  
**БОЛЬНИЦА**  
ИМЕНИ Е.О. Мухина