

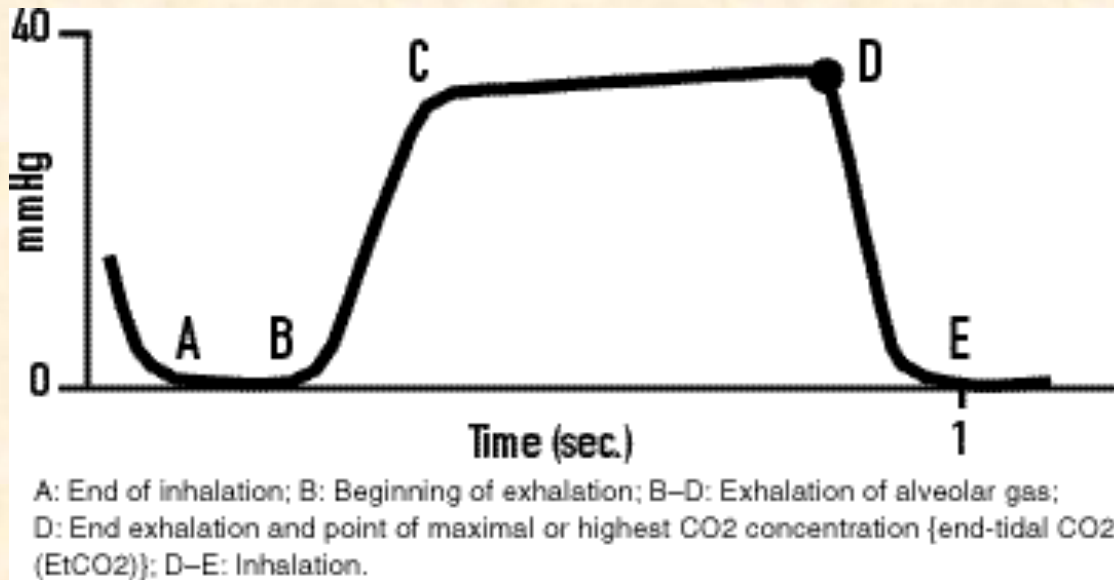
Волюметрическая капнография: основные аспекты

О.Е. Сатишур, к.м.н.

БСМП г. Минска (Беларусь)



Капнография PCO_2 -время: недостатки



A-B, D-E: Вдох

B-D: Выдох

- CO_2 в конце выдоха может не отражать уровень альвеолярного CO_2
- Нет информации по объемному содержанию CO_2
- Недостаточная информация по в-п соотношениям
- Форма капнограммы может не зависеть от глубины и/или эффективности внешней вентиляции

A.Bhalla et al. Respir Care 2015; 60: 1548



Позволяет рассчитать объемные характеристики CO₂, а не только давление



EtCO₂ = 32
V_t = 600 ml
VCO₂ = 50 ml/min

mmHg EtCO₂ = 32 mmHg
V_t = 800 ml
VCO₂ = 200 ml/min

EtCO₂ = 32 mmHg
V_t = 1000 ml
VCO₂ = 300 ml/min

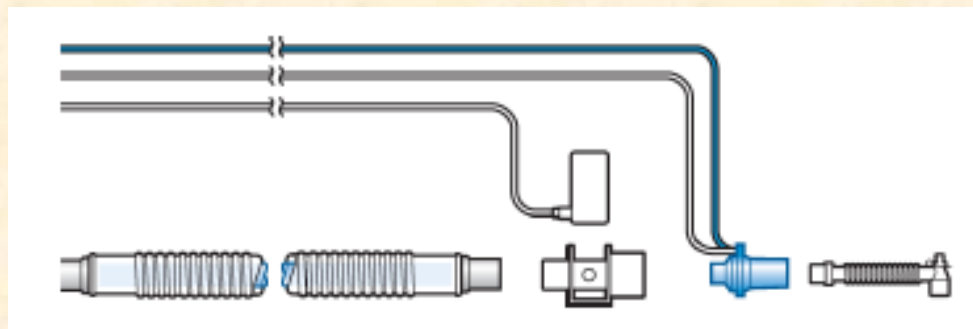
R.Campbell AARC Congress 2002



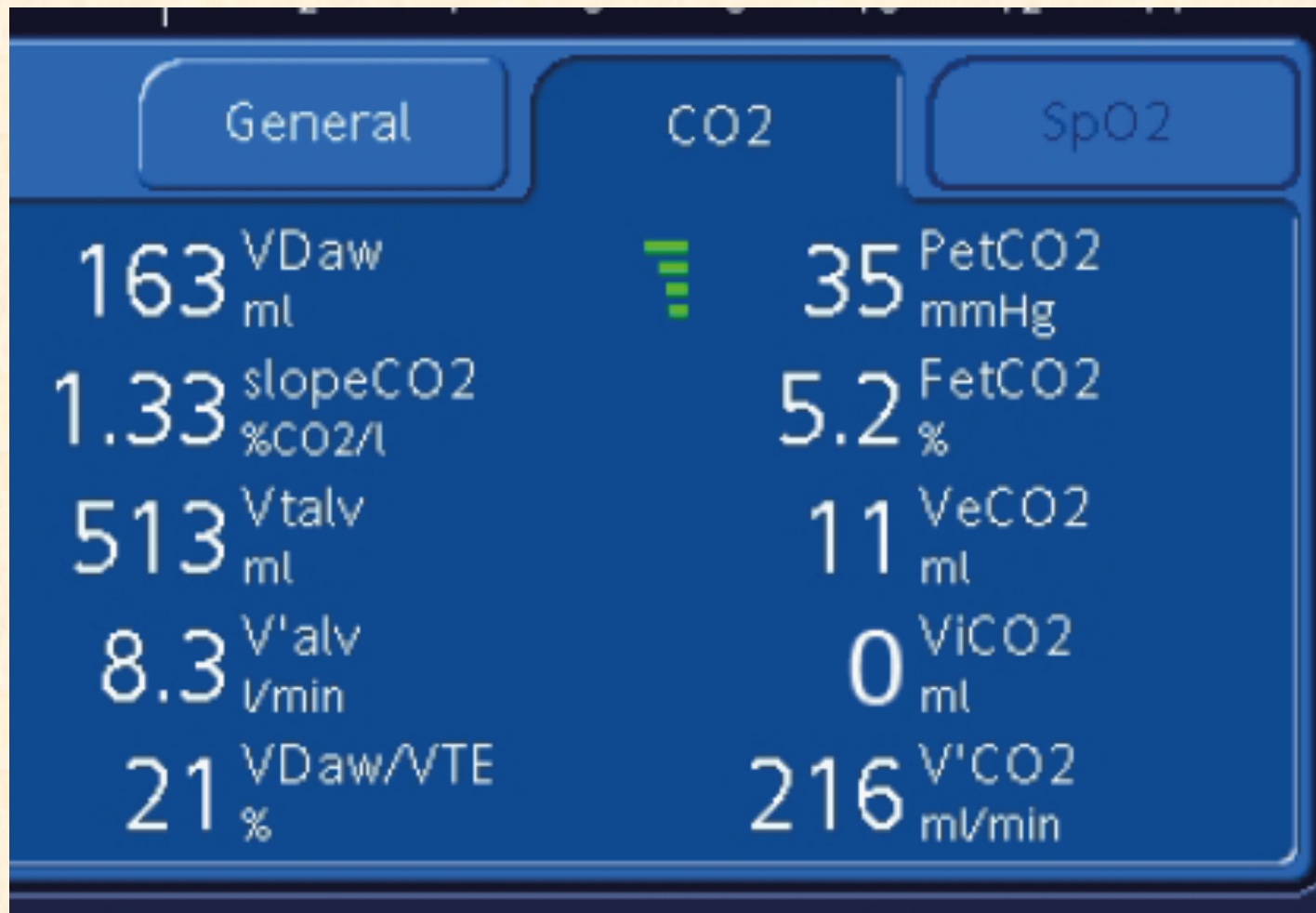
Волюметрическая капнография: получение данных



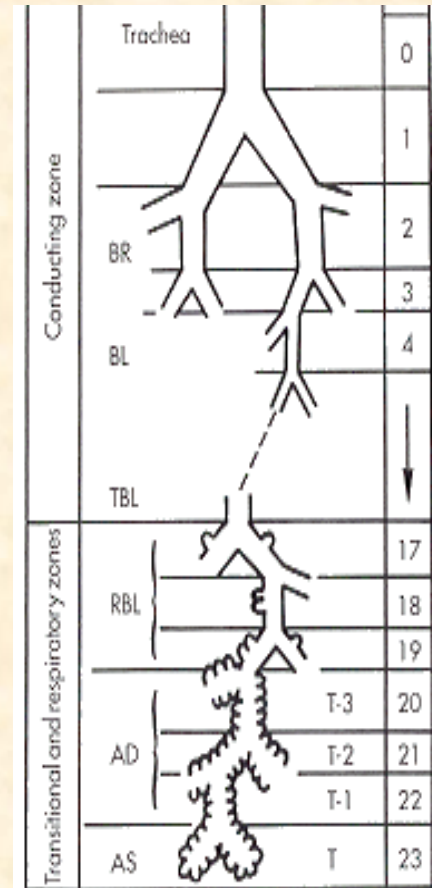
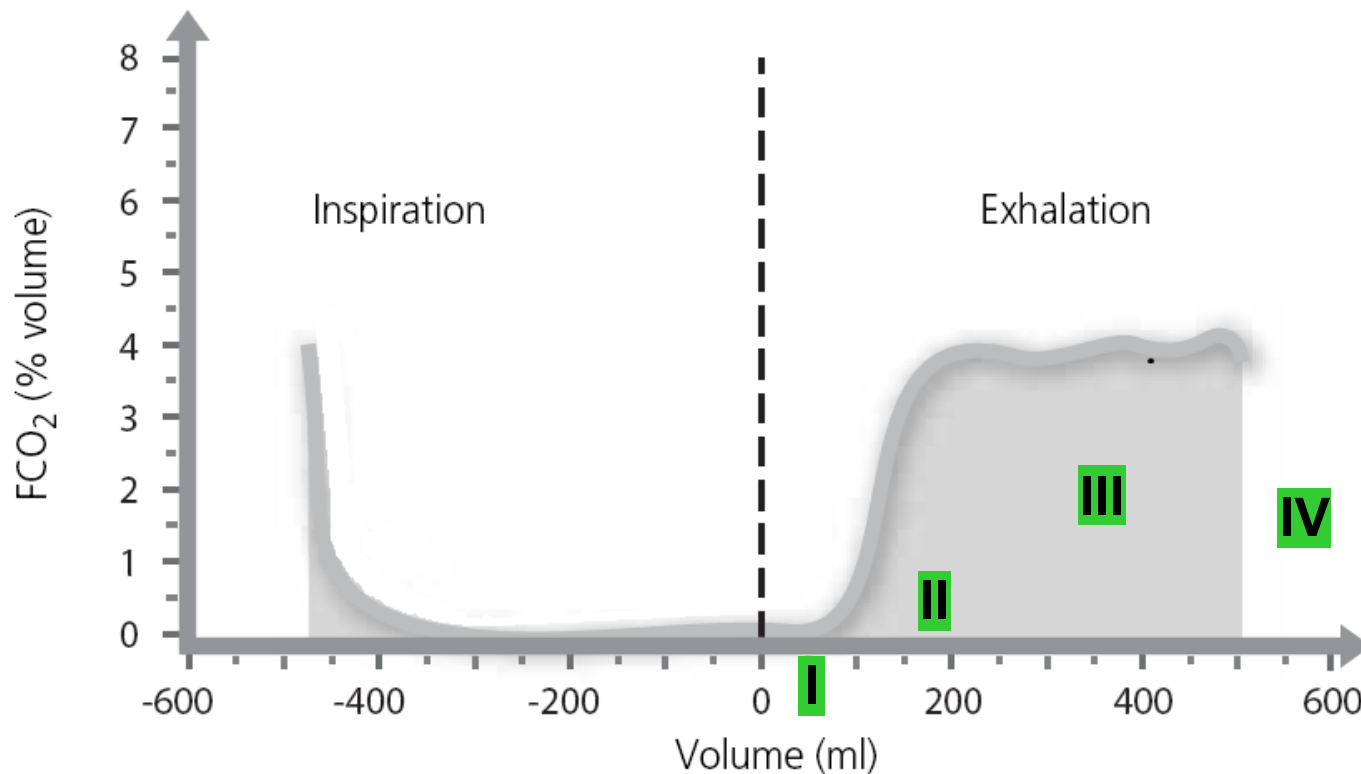
Датчик CO_2 в прямом потоке и проксимальный потоковый датчик: одновременное измерение CO_2 и потока непосредственно возле пациента



Волюметрическая капнография: параметры на экране



Фазы волюметрической капнограммы



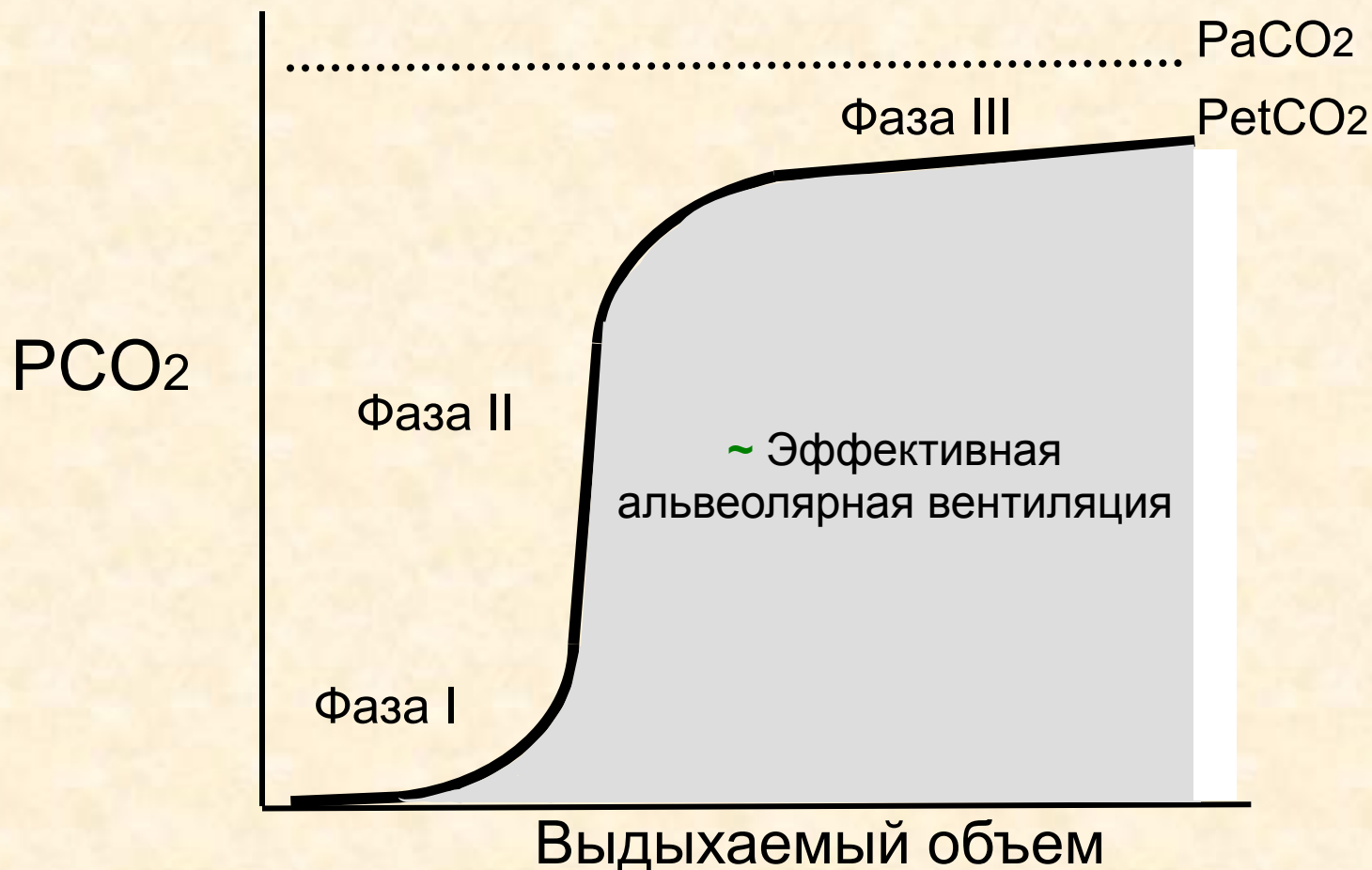
Фаза I ~ газ из крупных дыхательных путей

Фаза II ~ смешанный газ из нижних дыхательных путей и альвеол

Фаза III ~ альвеолярный газ

Фаза IV ~ вдох

Волюметрическая капнограмма: альвеолярная вениляция и мертвое пространство

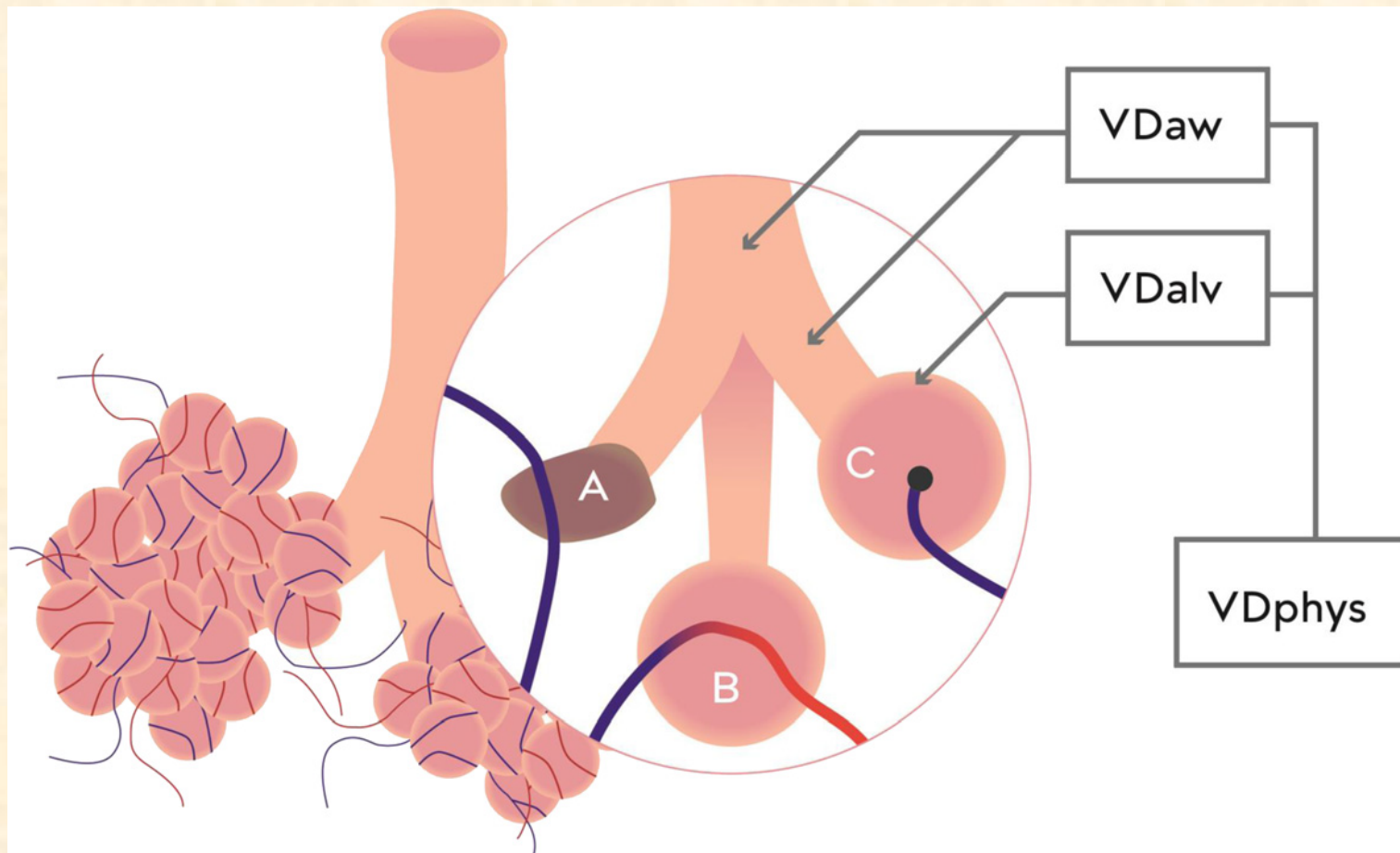


R.Fletcher et al. Br J Anest 1981;53:77-88

L.Blanch et al. Minerva Anesthesiol 2006; 72: 577-85



Мертвое пространство: анатомическое + альвеолярное =
физиологическое



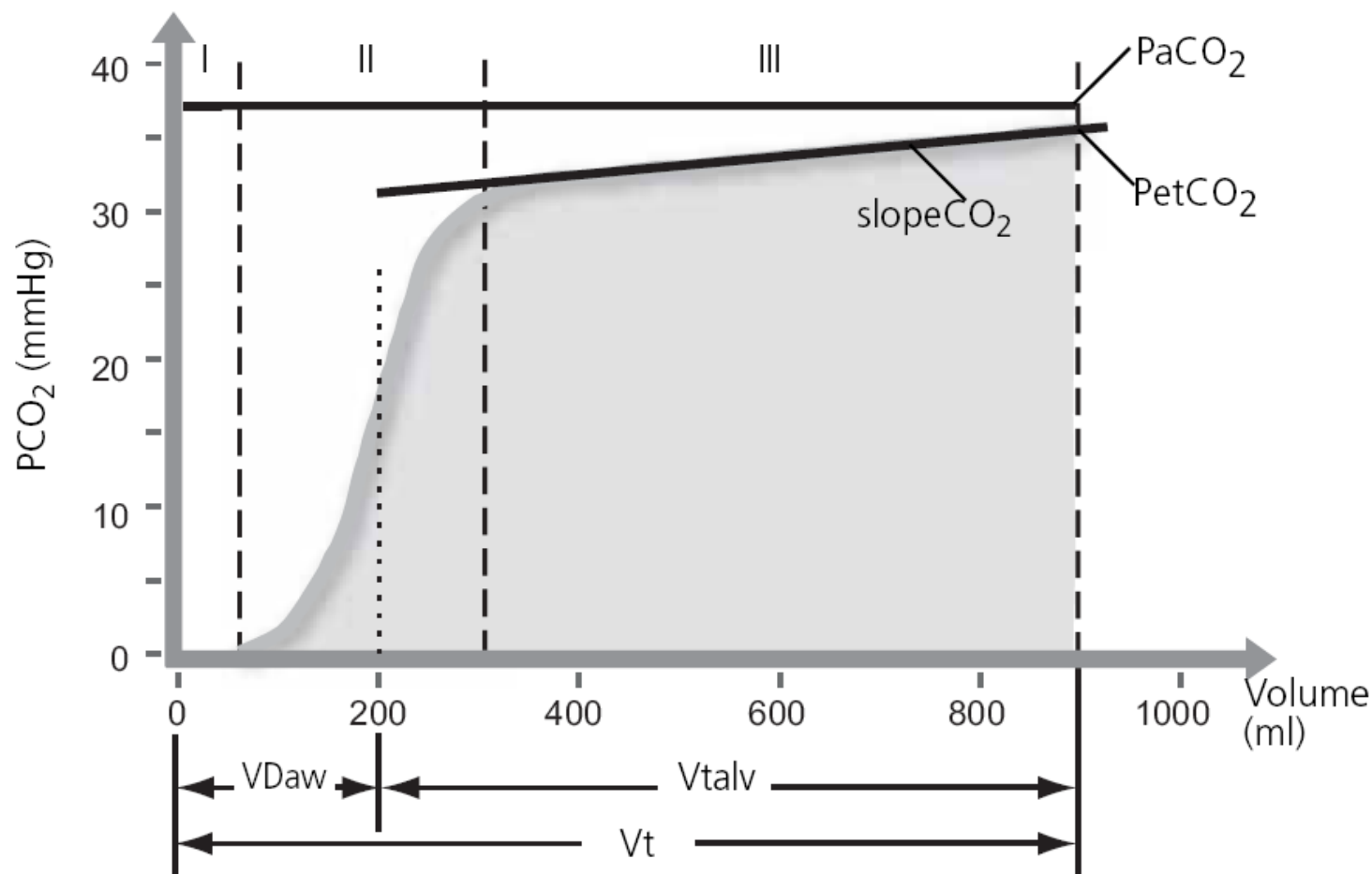
S.Verscheure et al. Crit Care 2016; 20: 184



Волюметрическая капнография: фазы и величины

V_T ,

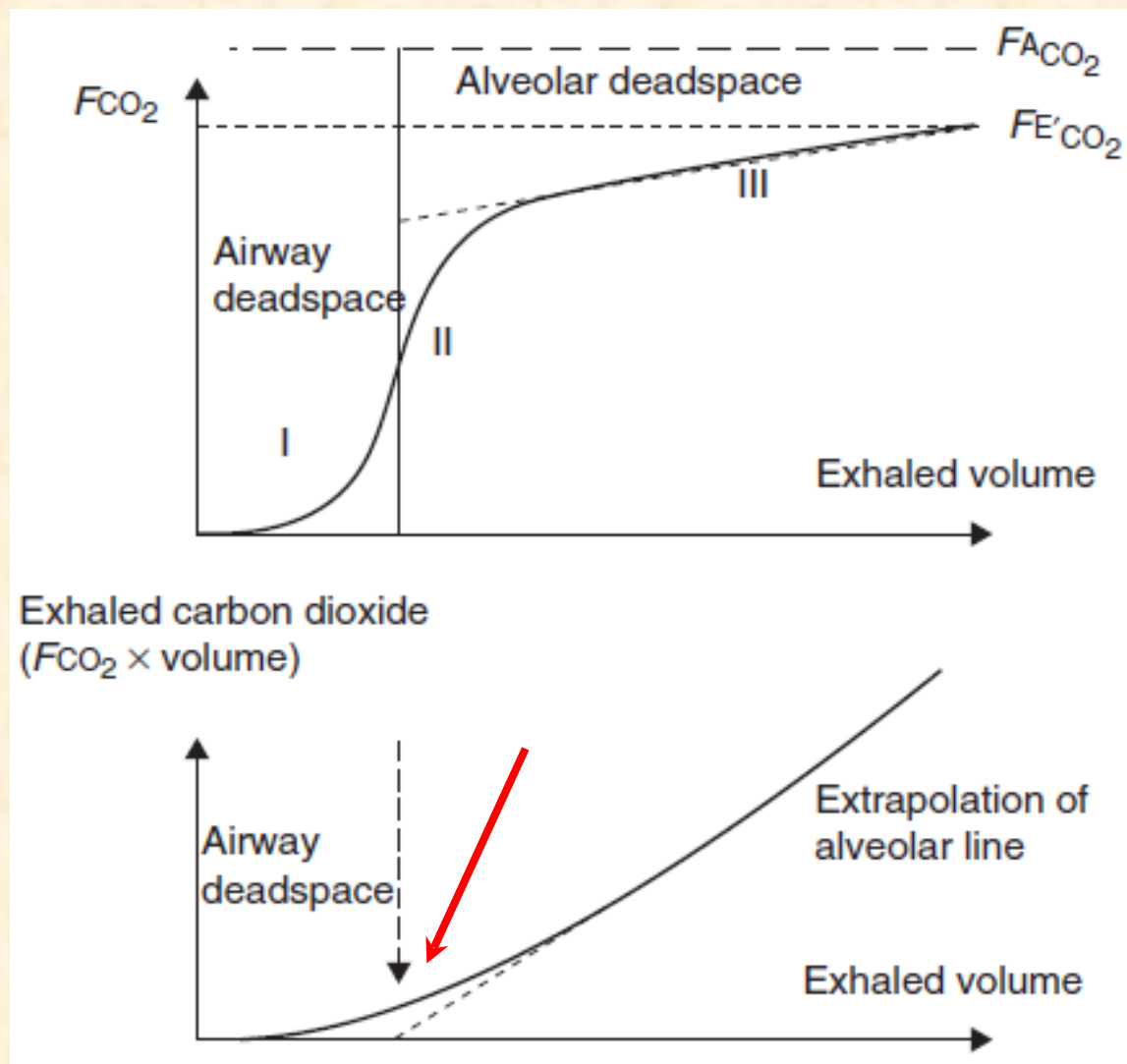
V_{Daw} , V_{talv}



G.Drummond, R.Fletcher Br. J. Anaesth. 2006; 96: 4



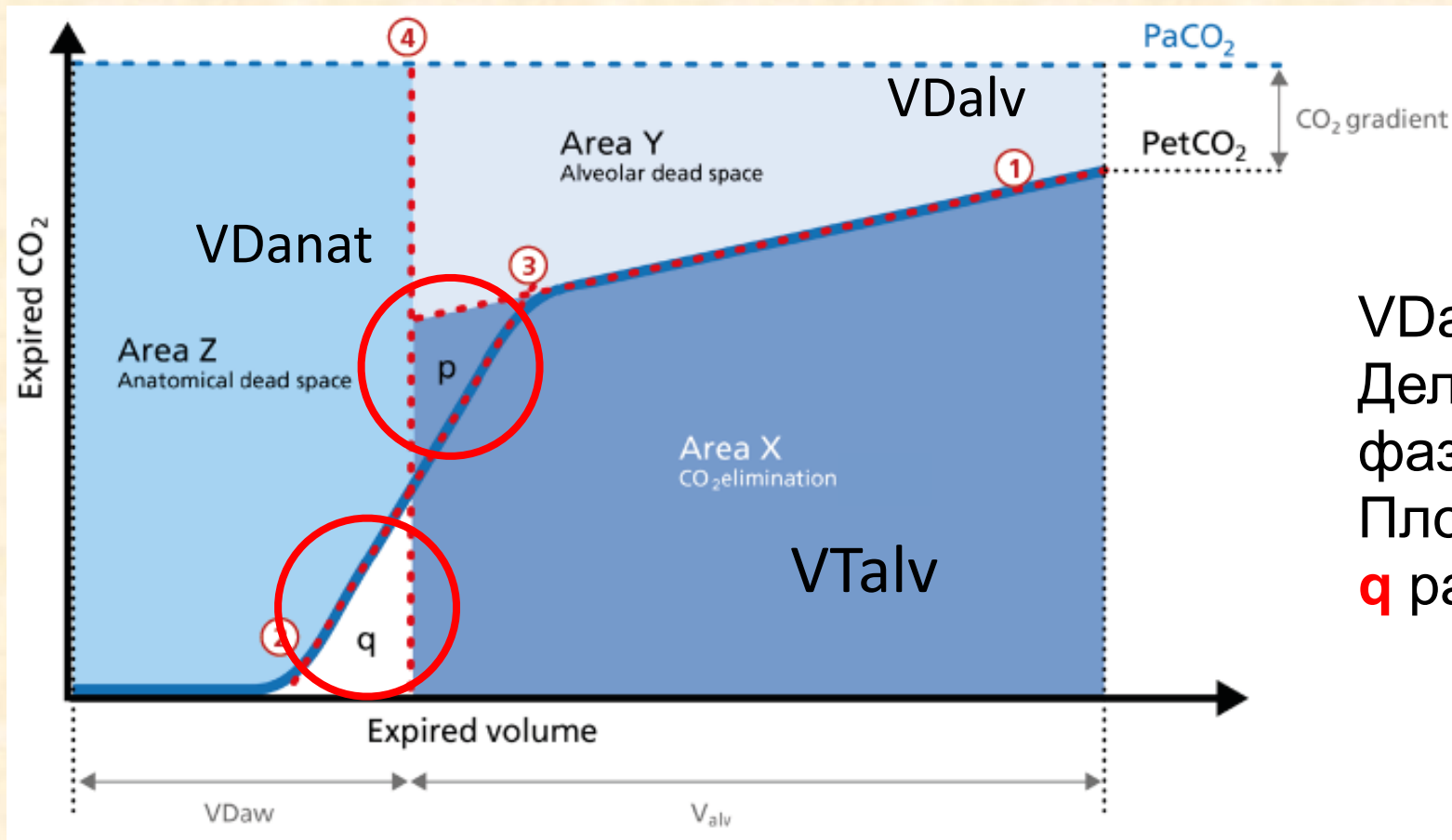
Когда начинается эффективное выделение CO_2 ?



G.Drummond, R.Fletcher Br. J. Anaesth. 2006; 96: 4



Волнометрическая капнография и объемные зоны: V_{Dana} , $V_{T_{alv}}$, ($V_{D_{alv}}$)



V_{Dana} :
Деление II
фазы,
Площади **p** и
q равны

R.Fletcher et al. Br J Anest 1981;53: 77

G.Tusman et al. Anesth Analg 2012; 114: 866



V_d/V_t

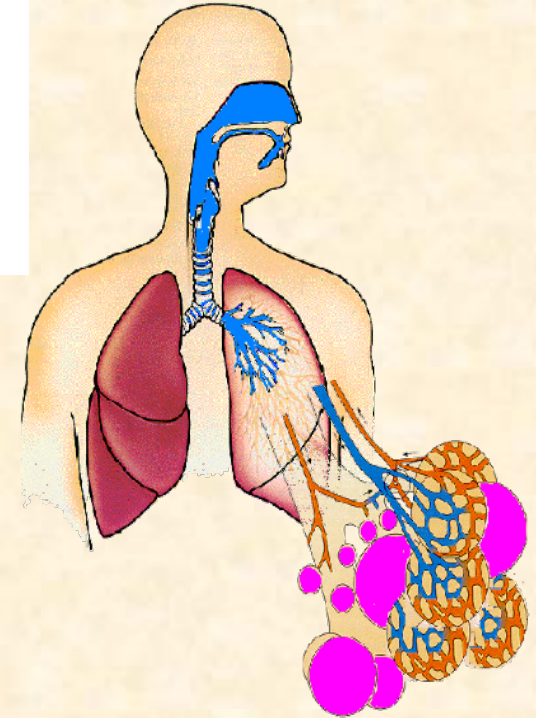
Intensive Care Med (2004) 30:576–579
DOI 10.1007/s00134-004-2194-8

PHYSIOLOGICAL NOTE

U. Lucangelo
L. Blanch

Dead space

- Отношение мертвого пространства (V_d) к дыхательному объему (V_t)
- Норма $\approx 0.25 - 0.35$
- Общая оценка эффективности и патологии внешней вентиляции
- Более точно отражает нарушение вентиляционно-перфузионных соотношений, чем абсолютное VD



Как определить V_D/V_T ?

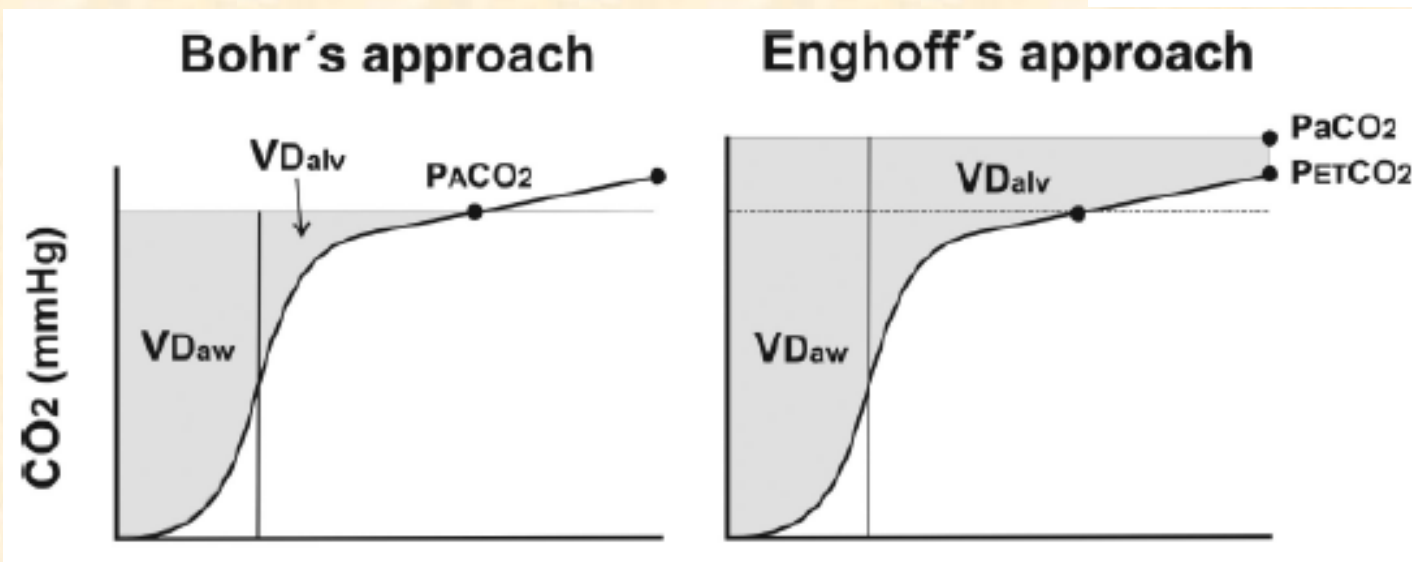
- P_{ACO_2} – альвеолярное CO_2
- P_{ECO_2} – «смешанное» CO_2 на выдохе

■ Bohr

$$\frac{V_D}{V_T} = \frac{P_{A_{CO_2}} - P_{E_{CO_2}}}{P_{A_{CO_2}}}$$

■ Enghoff

$$\frac{V_D}{V_T} = \frac{P_{a_{CO_2}} - P_{E_{CO_2}}}{P_{a_{CO_2}}}$$



Волюметрическая капнография: Как определить Vd/Vt ?

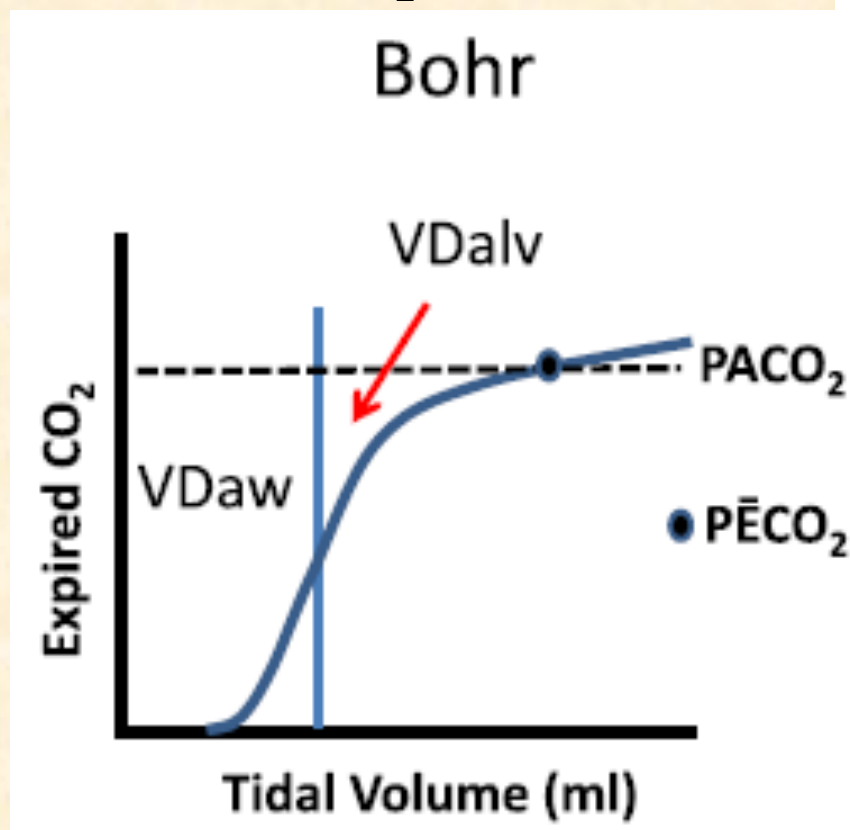
- P_{ACO_2} – альвеолярное CO_2

- P_{ECO_2} – «смешанное» CO_2

на выдохе

- Bohr

$$\frac{V_D}{V_T} = \frac{P_{A_{CO_2}} - P_{E_{CO_2}}}{P_{A_{CO_2}}}$$

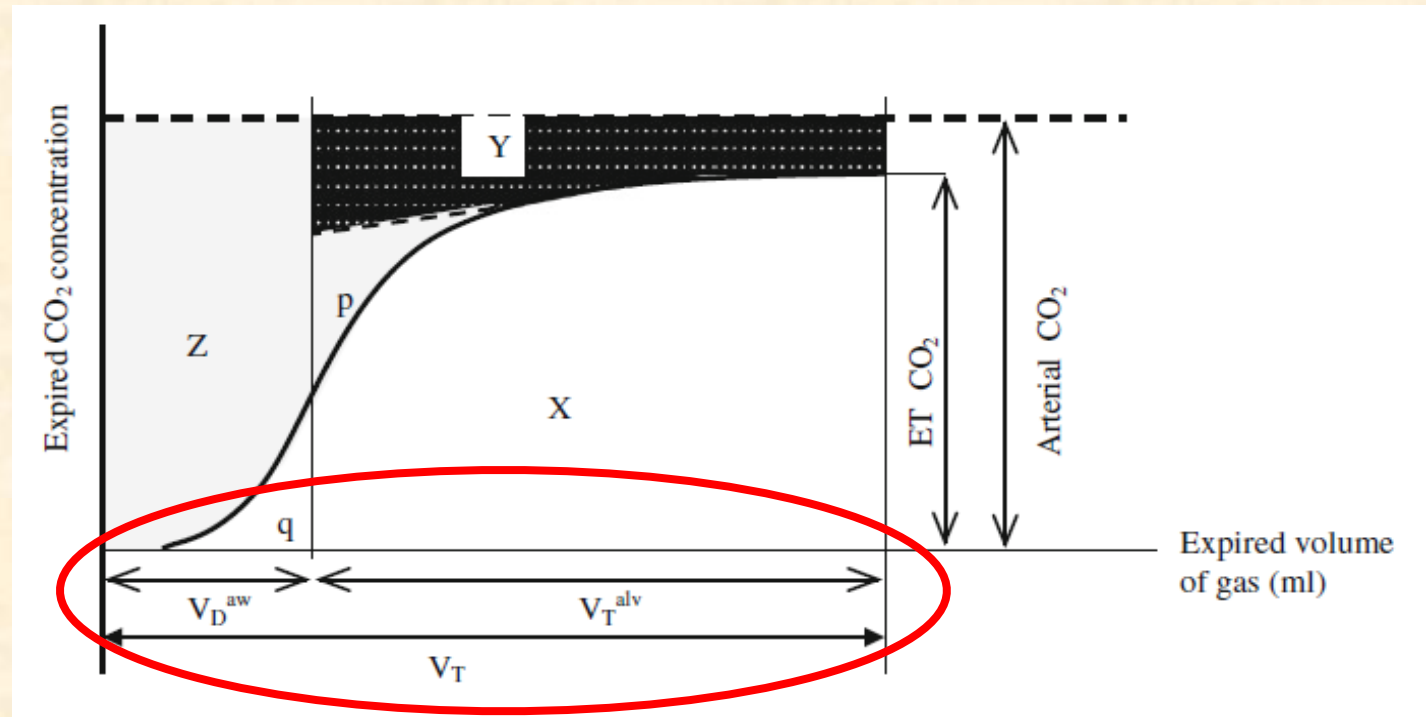


S.Verscheure et al. Crit Care 2016; 20: 184



Волюметрическая капнография и V_d/V_t

R.Fletcher
(1981)



$$V_D/V_t \approx 1 - (V_{e\text{CO}_2} / (V_t * F_{e\text{CO}_2}))$$

«...Измерение V_D/V_T методом волюметрической капнографии по точности
Близко к данным, полученным при помощи метаболического монитора...»

R.Kallet Respir Care 2005; 50: 462-7

M.Siobal et al. Respir Care 2013; 58: 1143



Мониторинг V_d/V_t : значение

- V_d/V_t – косвенно отражает эффективность и патологию внешней вентиляции
- Рост V_d/V_t – паренхиматозная патология легких (пневмония, ОРДС)
- **V_d / V_t** – оценка тяжести нарушений вентиляционно-перфузионных соотношений при ОРДС
- Повышенное V_d/V_t коррелирует с тяжестью дыхательной недостаточности и риском летальности*

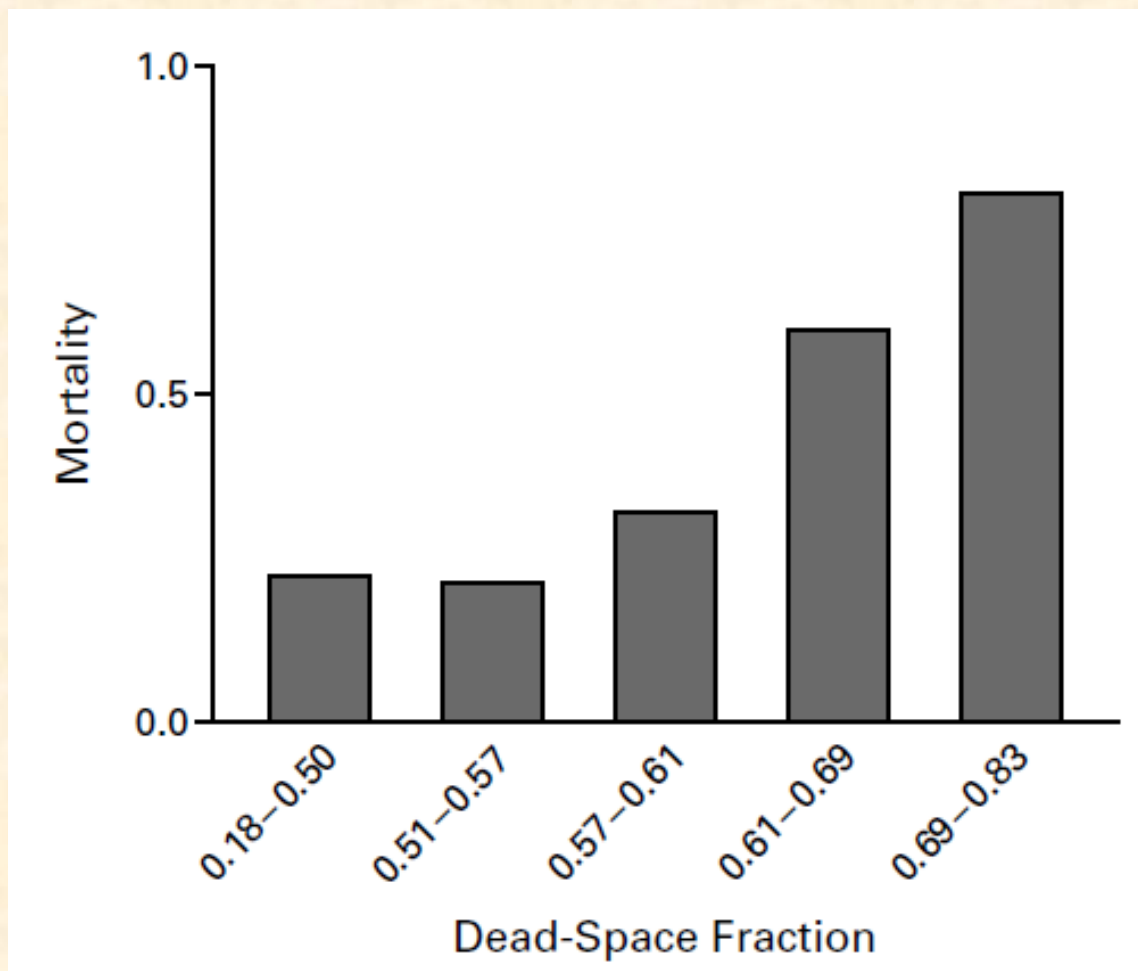
T.Nuckton NEJM 2002; 346: 1281-6

R.Kallet Respir Care 2004; 49: 1008-14

U.Lucangelo Chest 2008; 133: 62-71



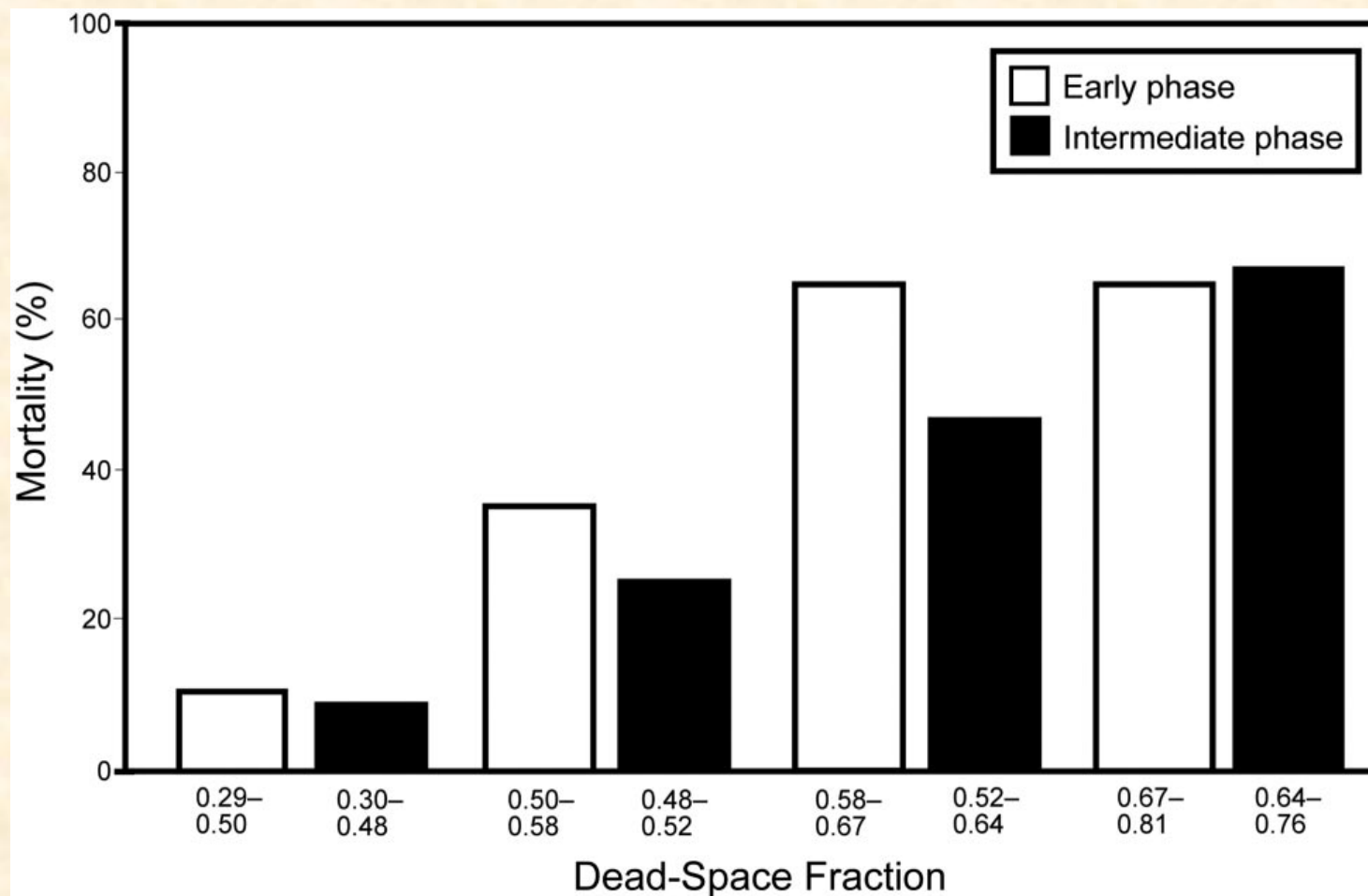
V_d/V_t и смертность при ОРДС



T.Nuckton NEJM 2002; 346: 1281-6



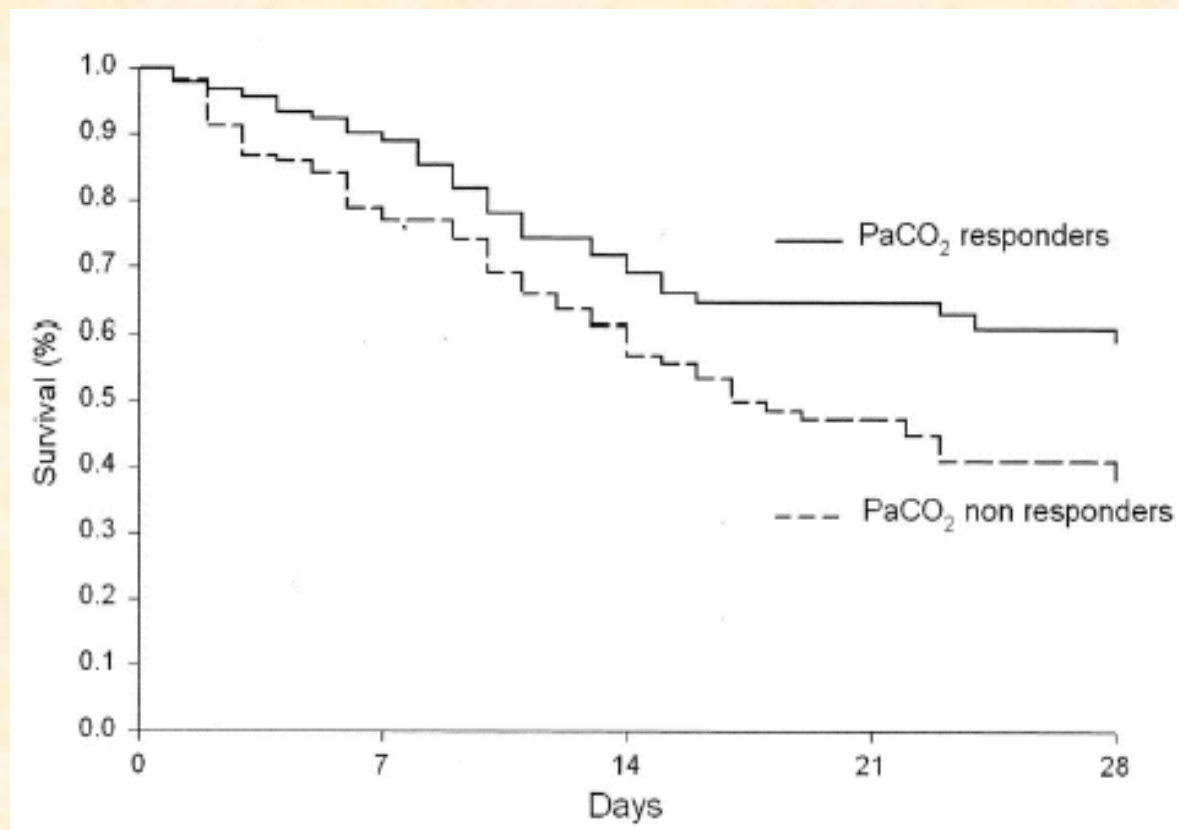
V_d/V_t и смертность при ОРДС



J.Raurich et al. Respir Care 2010; 55: 282



PaCO_2 (VD/VT) и прон-позиция у пациентов с ОРДС



«...при прон-позиции лучшая выживаемость оказалась у пациентов, которые «ответили» снижением PaCO_2 (вероятно, с уменьшением VD/VT)...»

L.Gattinoni Crit Care Med 2003; 31: 2727

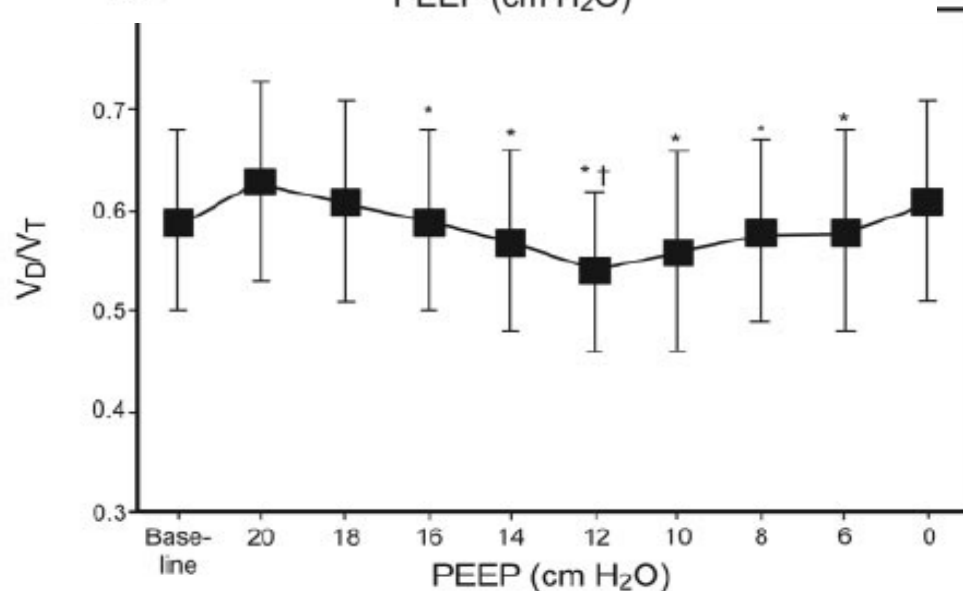
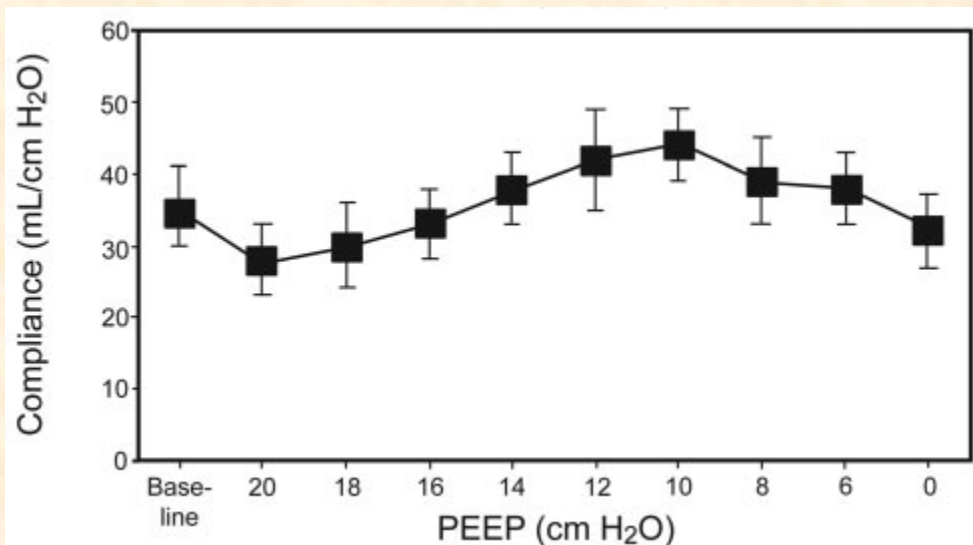


V_d/V_t : рекрутмент и регулировка PEEP

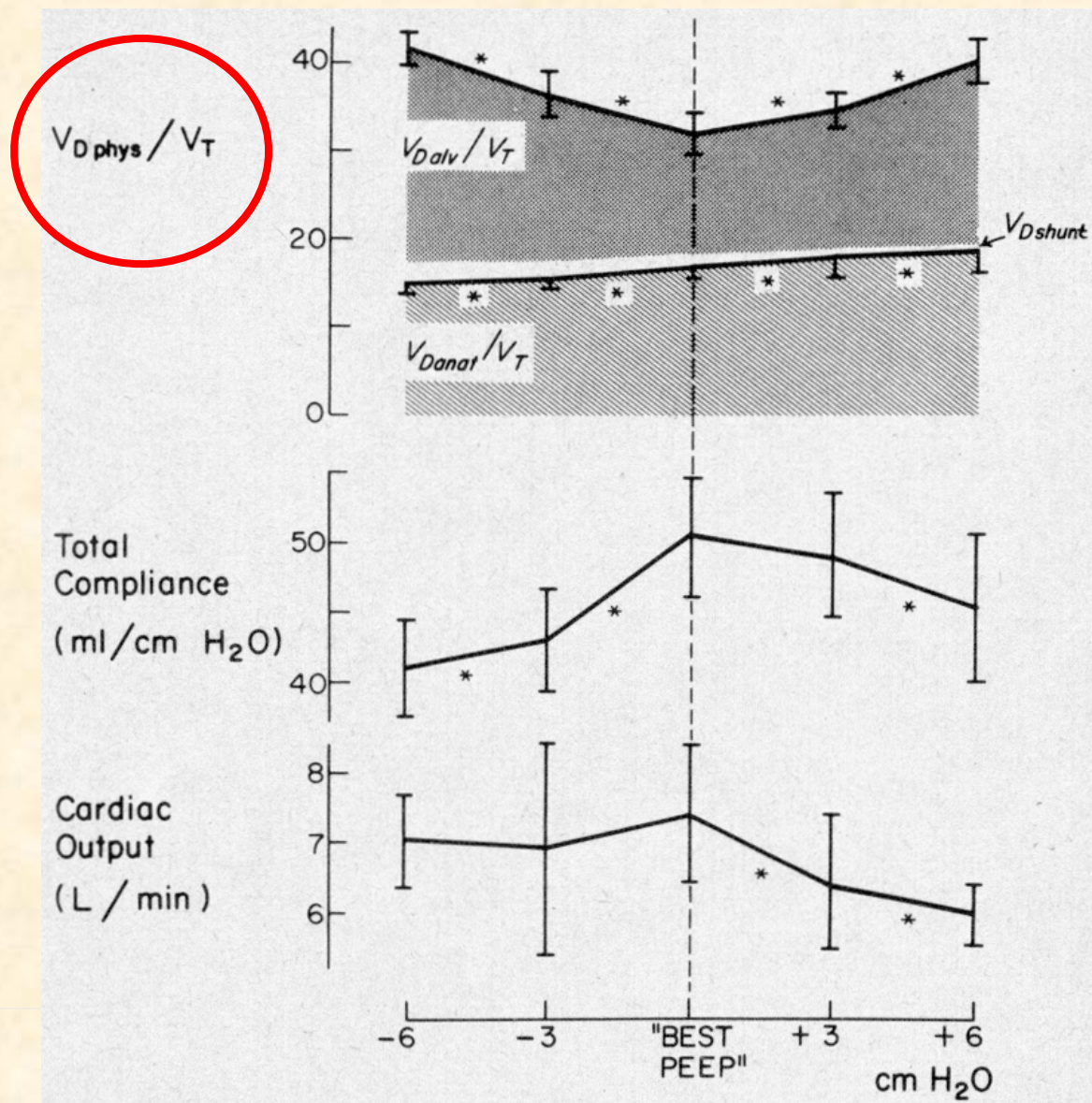
- Снижение V_d/V_t – один из критериев эффективности рекрутмента
- Наименьший V_d/V_t – почти наибольший комплайнс...
- V_d/V_t - один из критериев установки PEEP....

G.Fengmei Respir Care 2012; 57: 1578

S.Maisch Anesth Analg 2008; 106: 175



VD/VT и PEEP



P.Suter NEJM 1975; 292: 284



Vd/Vt как прогностический критерий эффективности «отлучения» от ИВЛ

Table 4 Comparative univariate analysis of extubation success or failure according to the variables of the patients obtained prior to extubation.

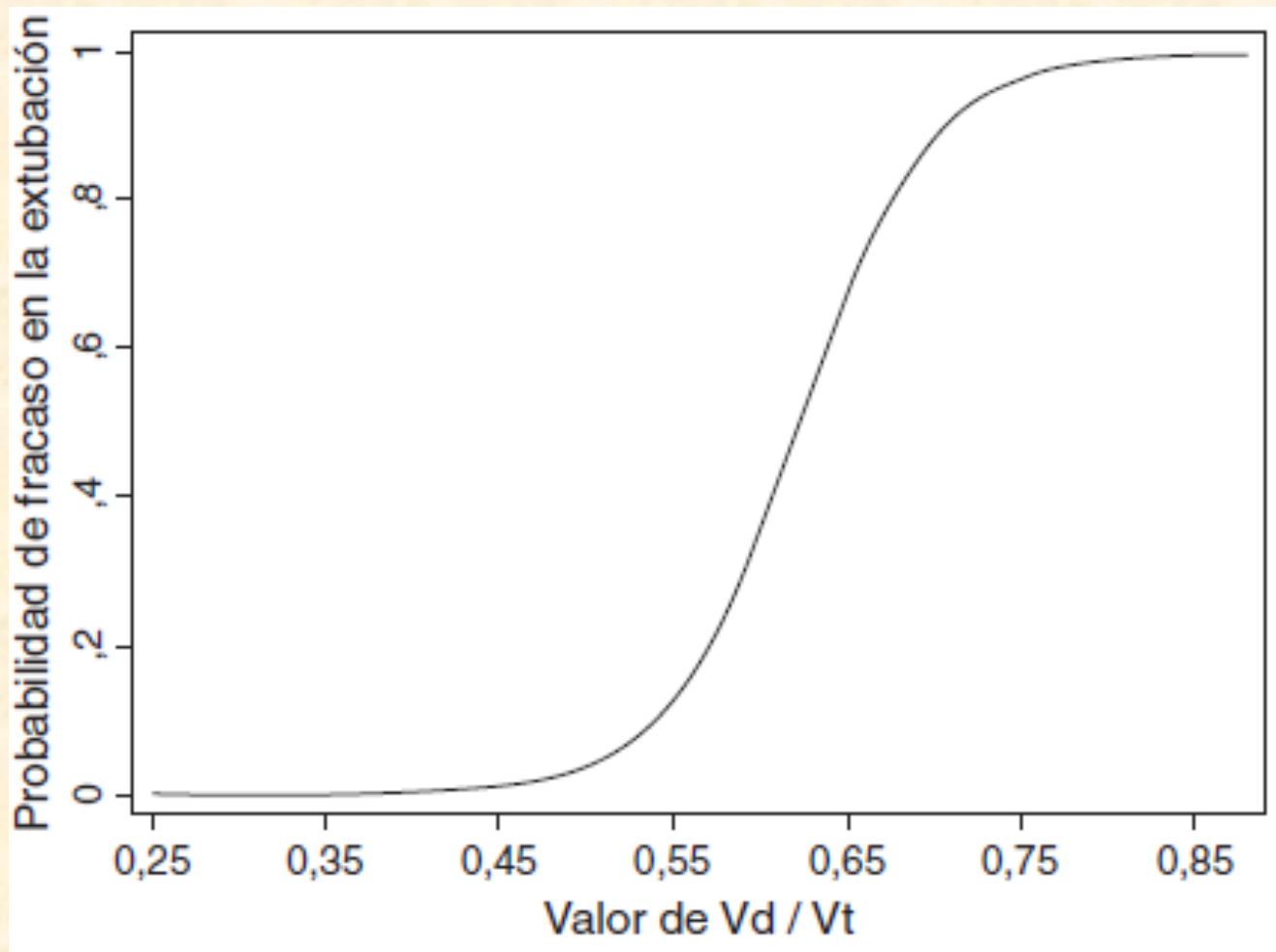
	Extubation success No. = 59 Mean (SD)	Extubation failure No. = 17 Mean (SD)	<i>p</i>
Heart rate, bpm	93.22 (18.06)	103 (27.80)	0.082
Respiratory frequency, rpm	20.96 (4.47)	25.11 (6.56)	0.003
Mv, l/min	9.80 (2.14)	11.10 (3.60)	0.064
Vte. l	0.55 (0.11)	0.55 (0.12)	0.952
P ASB	10.78 (3.87)	10.47 (3.28)	0.764
PaCO ₂	39.51 (6.14)	43.84 (5.29)	0.010
PaO ₂ /FiO ₂	293 (63.75)	242.27 (60.49)	0.004
PEEP	2.59 (1.17)	2.94 (1.5)	0.311
SBP, mmHg	137 (20.72)	139 (22.73)	0.732
DBP, mmHg	73.61 (12.40)	68.82 (14.46)	0.180
Vd/Vt	0.48 (0.09)	0.65 (0.08)	< 0.0001

A.Gonzales-Castro Med Intensiva 2011; 35: 529



V_d/V_t и вероятность неудачной экстубации

Вероятность неудачной экстубации

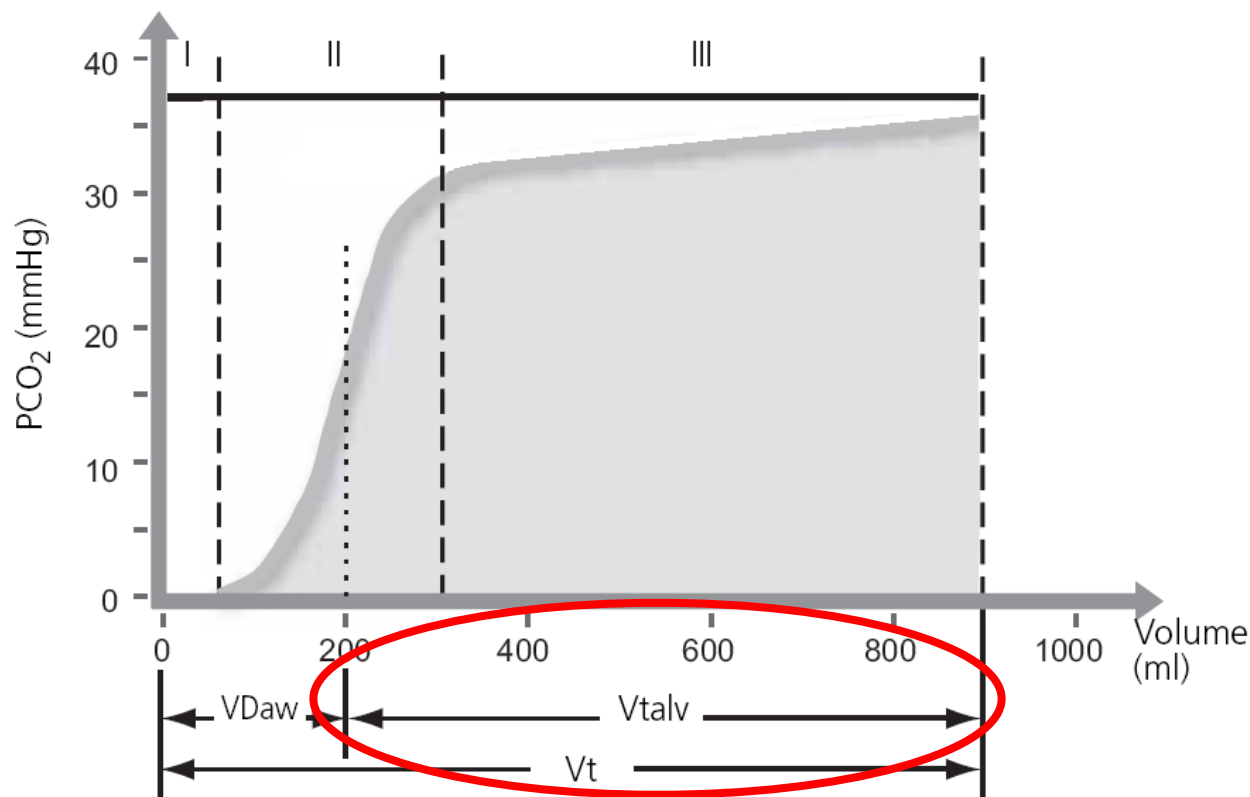


A.Gonzales-Castro Med Intensiva 2011; 35: 529



Мертвое пространство V_{Daw} и альвеолярная вентиляция V'_{alv}

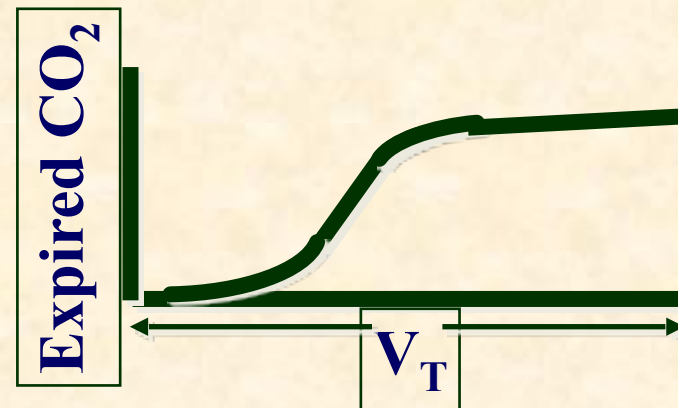
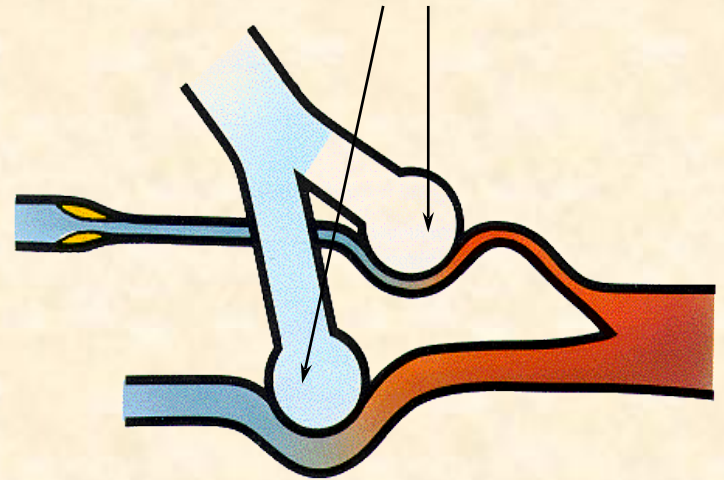
Определение альвеолярной вентиляции (V'_{alv}) позволяет оценить уровень вентиляции, участвующей в газообмене



$$MV_{\text{alv}} (V'_{\text{alv}})$$

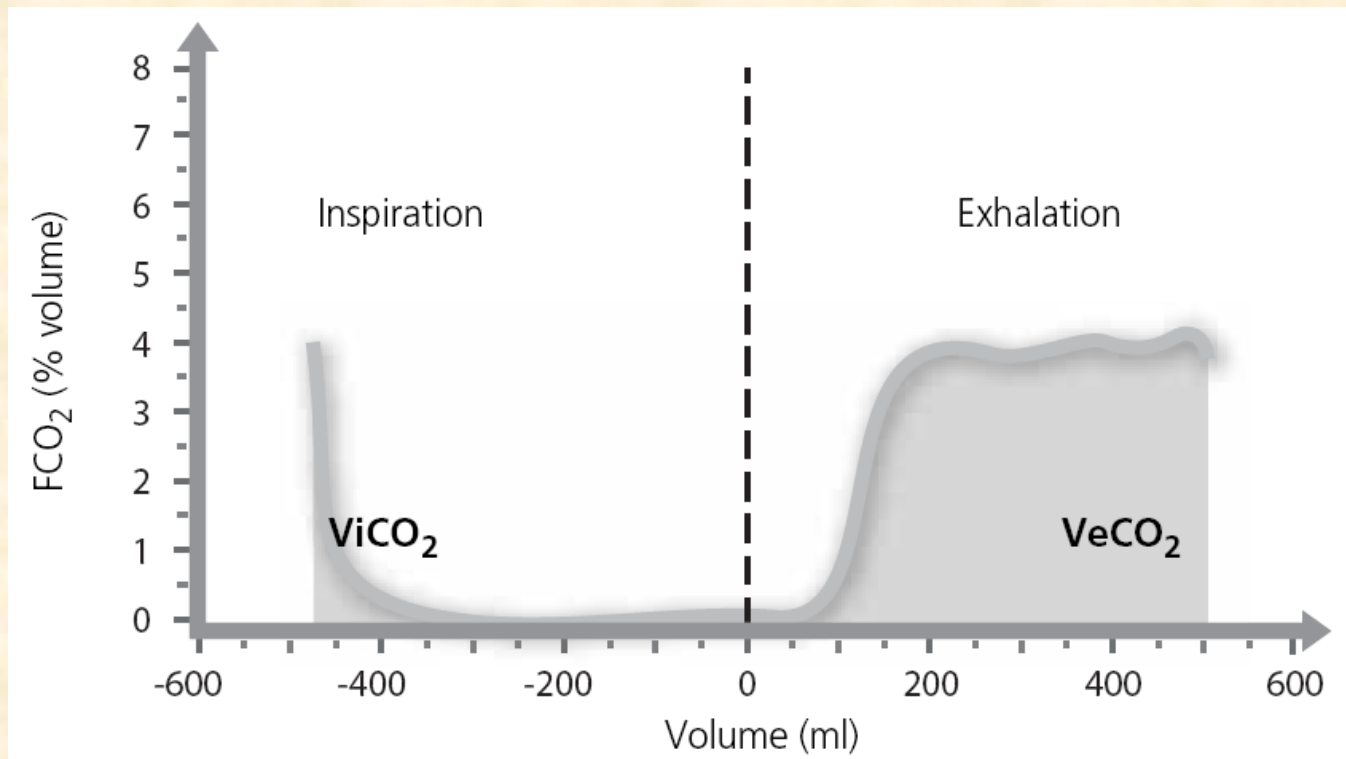
- Минутная альвеолярная вентиляция
- Минутный объем дыхания, участвующий в газообмене
- $N \approx \geq 50\text{-}60 \text{ ml/kg/min}$

Альвеолярная вентиляция



VCO_2 : минутная продукция CO_2

VCO_2 позволяет оценить уровень метаболизма ($\uparrow$ при сепсисе, гипертермии...), вентиляции ($\downarrow$ при росте VD/VT), перфузии ($\downarrow$ при эмболии, гипотензии...) и эффективность лечения



$$\text{VCO}_2 = (\text{VeCO}_2 - \text{ViCO}_2) \cdot \text{RR}$$

$$\text{VCO}_2 = \text{VTCO}_2 \cdot \text{RR}$$



VCO_2 / $VeCO_2$: факторы влияния

**Рост VCO_2 : (> 3 ml/kg/min,
 $\approx > 200$ мл/мин)**

- Повышенная продукция CO_2 вследствие ССВО (сепсис)
- Гипертермия
- Мышечная дрожь, судороги
- Реперфузионный синдром
- Ожоговая б-нь
- Инфузия бикарбоната
- Гипералиментация

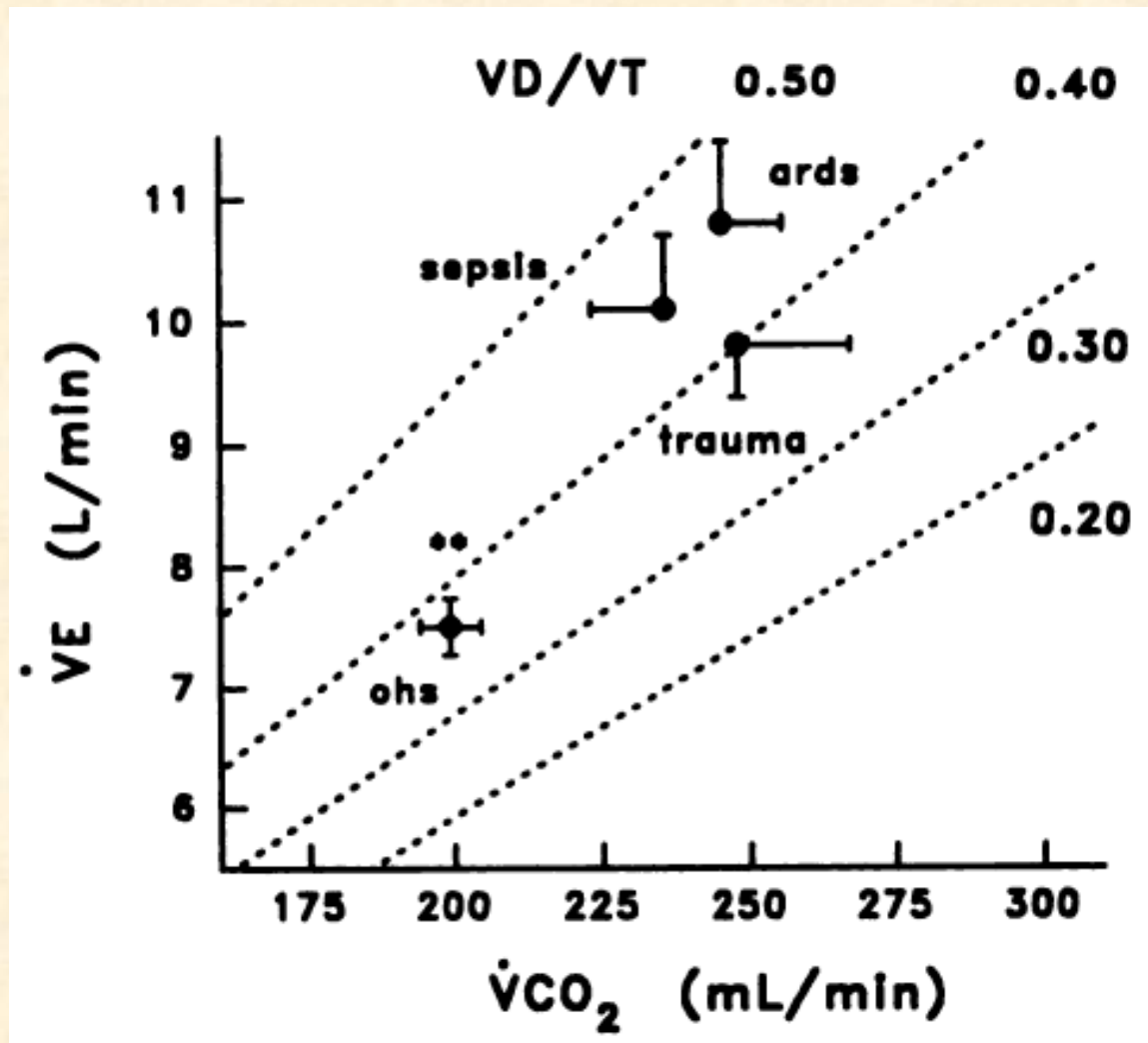
Снижение VCO_2 :

- Седация (анестезия)
- Гипотермия
- Гемодинамическая проблема, снижение перфузии и микроциркуляции
- ТЭЛА
- Бронхоспазм
- Снижение реального ДО (при той же ЧД)

L.Blanch Minerva Anesthesiol 2006; 72: 577



$\dot{V}CO_2$ и необходимый минутный объем вентиляции



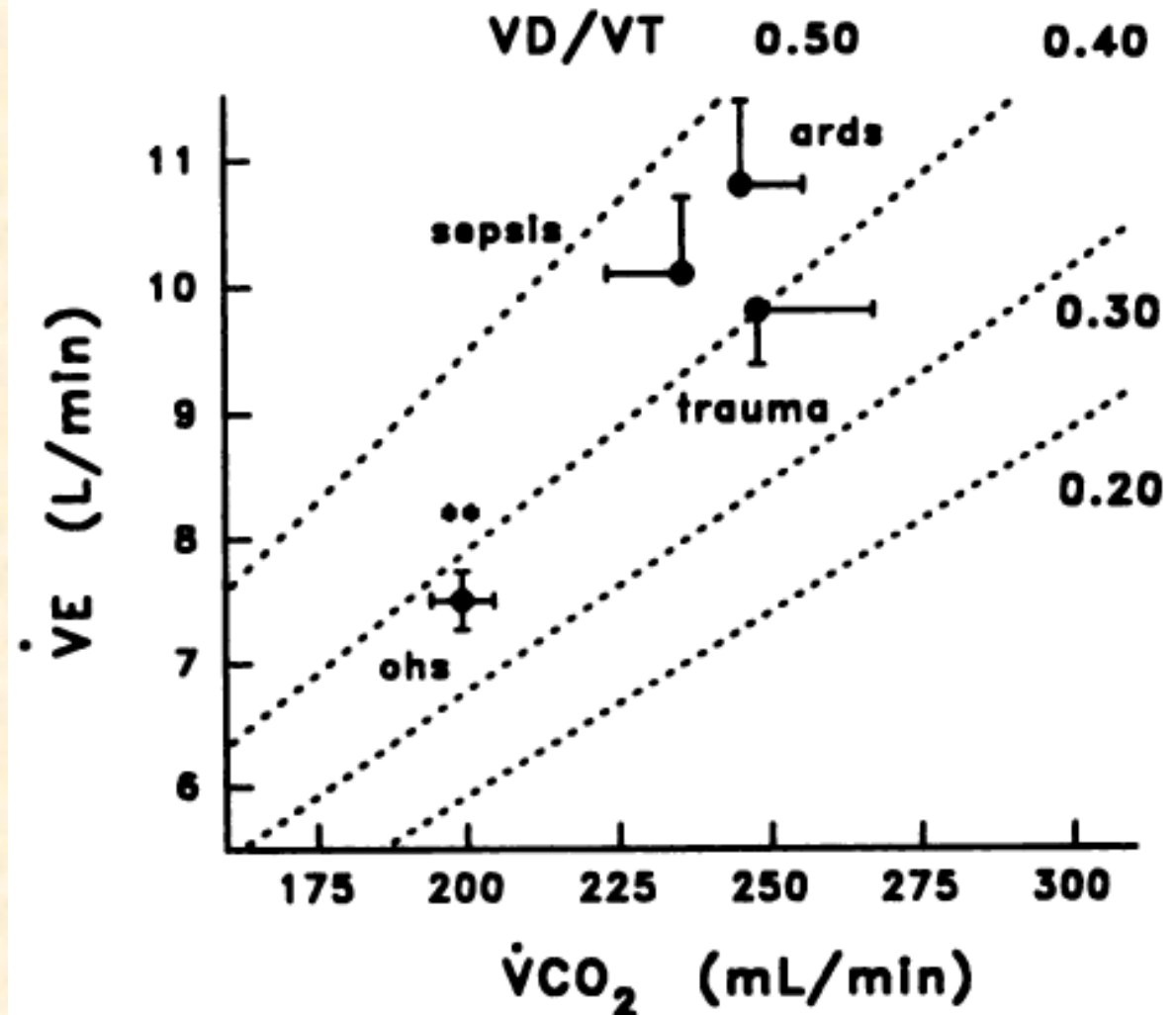
R.Kiiski Chest 1994; 105: 1198



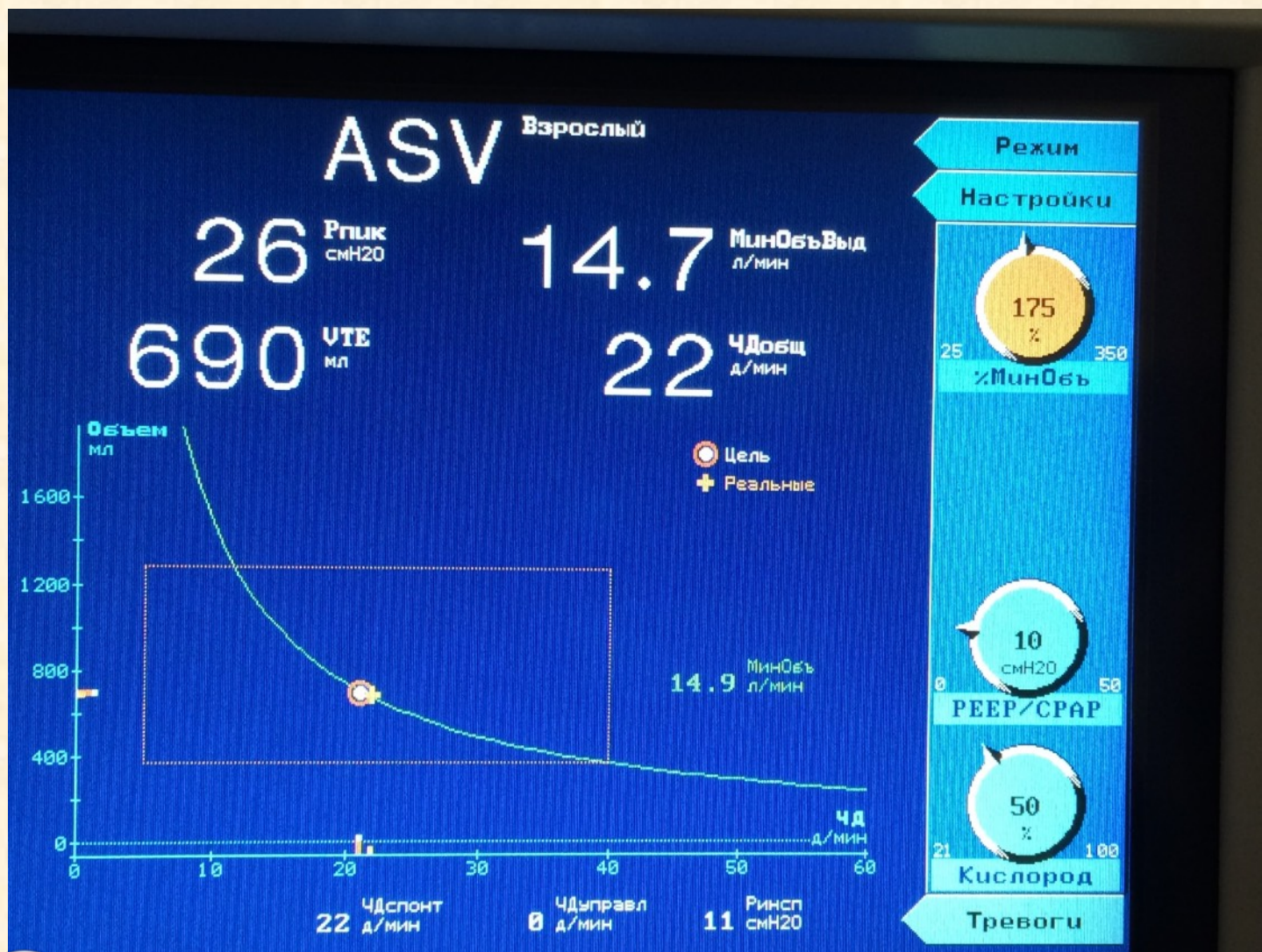
Hypermetabolism and efficiency of CO₂ removal in acute respiratory failure

R Kiiski and J Takala

Chest 1994;105;1198-1203



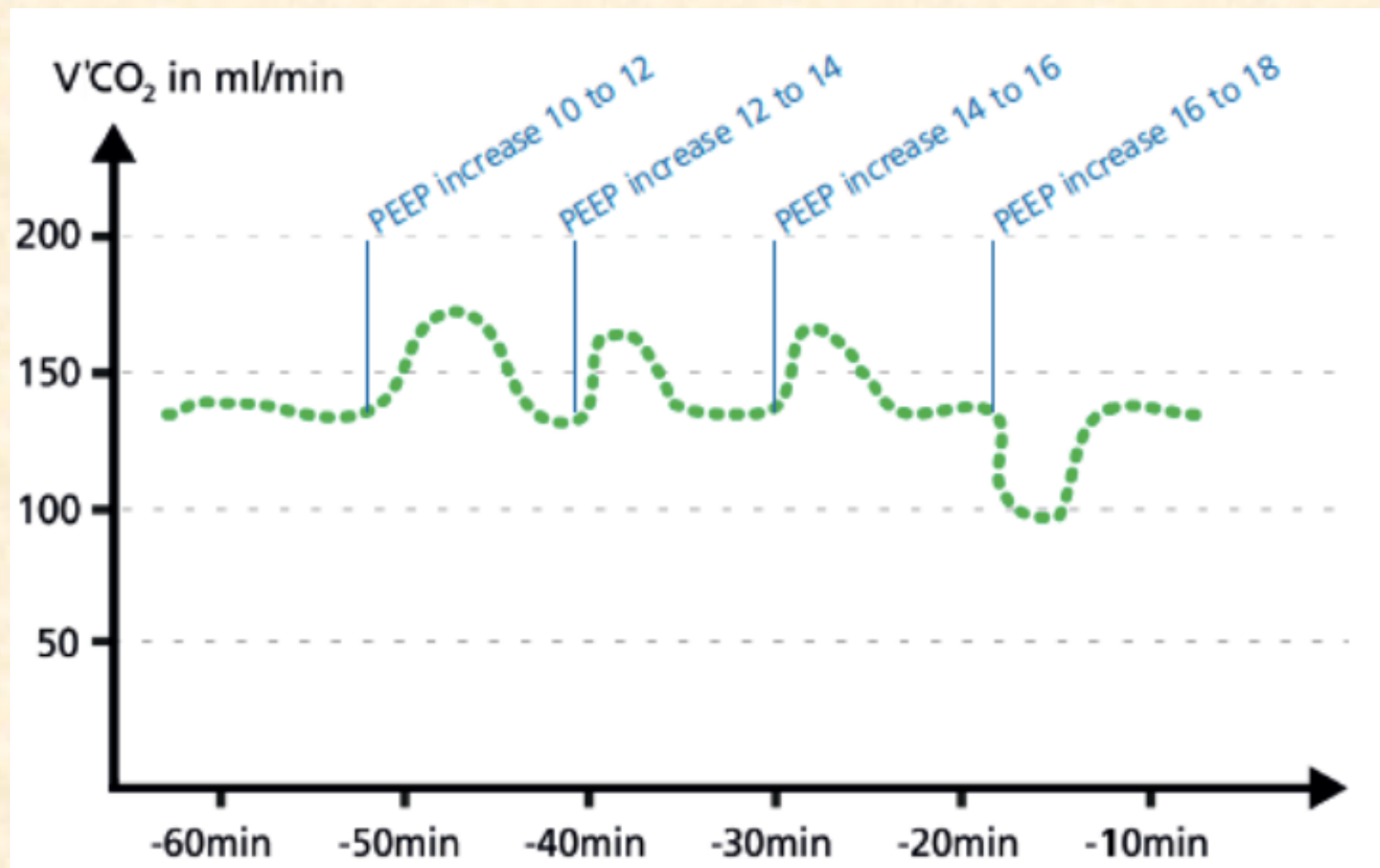
%MinVol и ССВО



- MinVol 175%
- ЧД 22/мин
- SpO2 95%

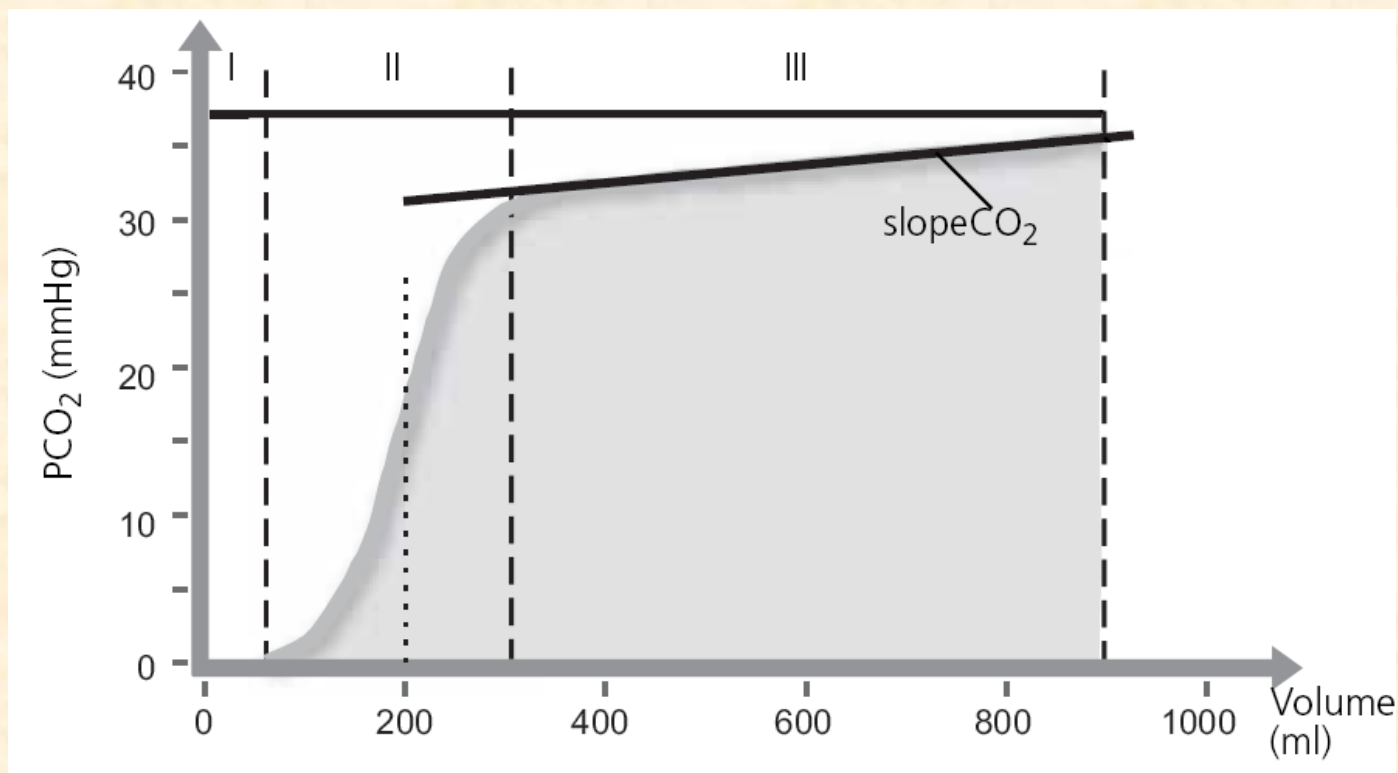


$V\text{CO}_2$ и PEEP



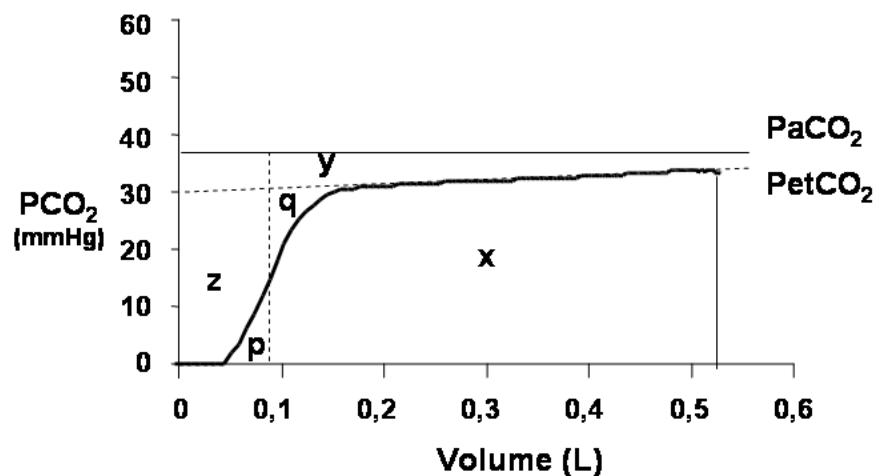
Наклон плато кривой CO_2 -объем (slope CO_2)

Форма наклона кривой (slope CO_2) позволяет оценить степень эффективности вентиляции и обструктивной патологии (ХОБЛ, астма и т.д.)

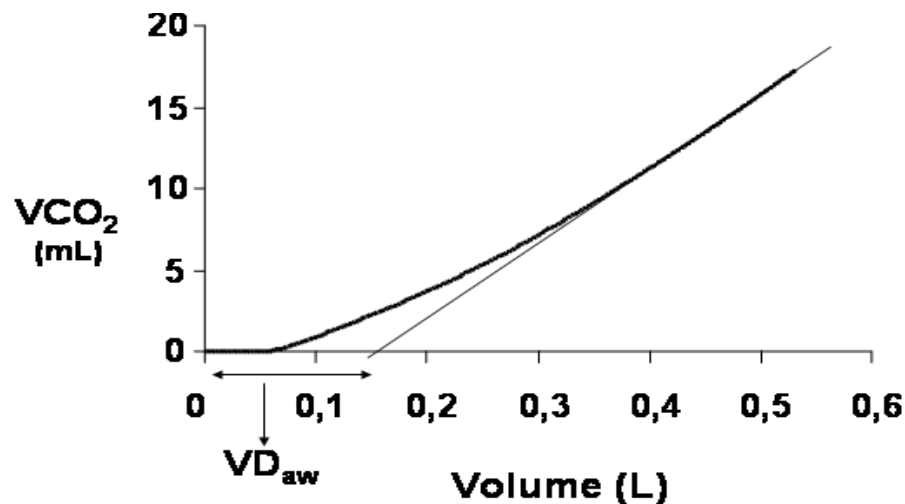
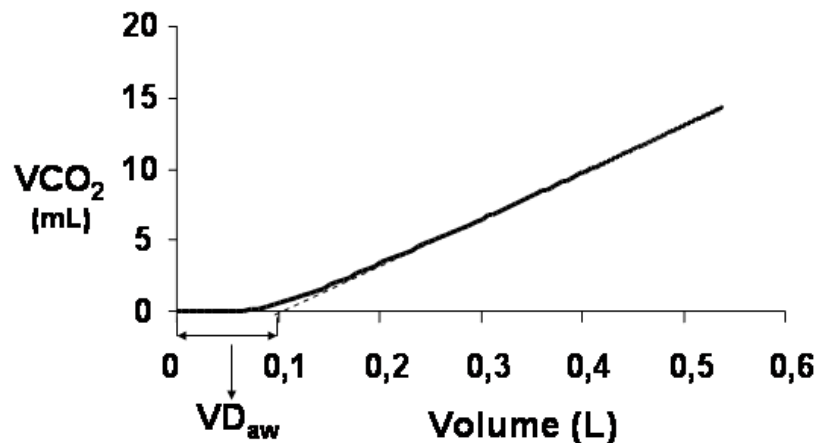
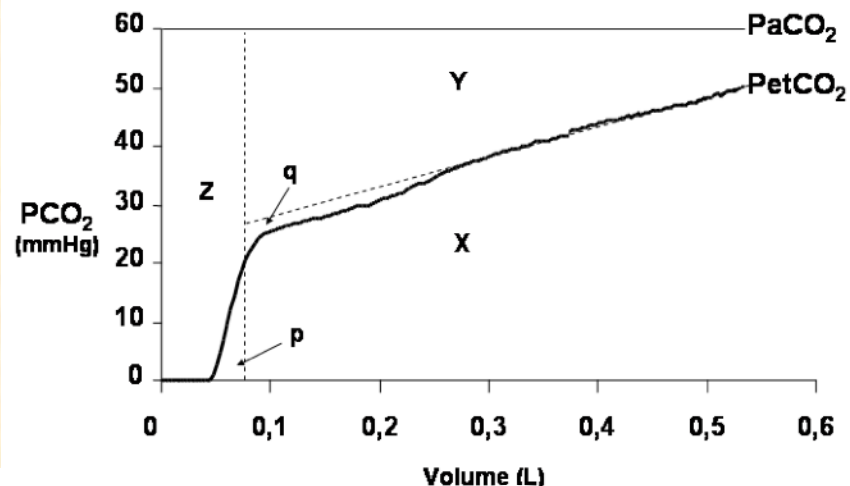


Форма (наклон) волюметрической капнограммы (slopeCO2)

Без патологии



ХОБЛ

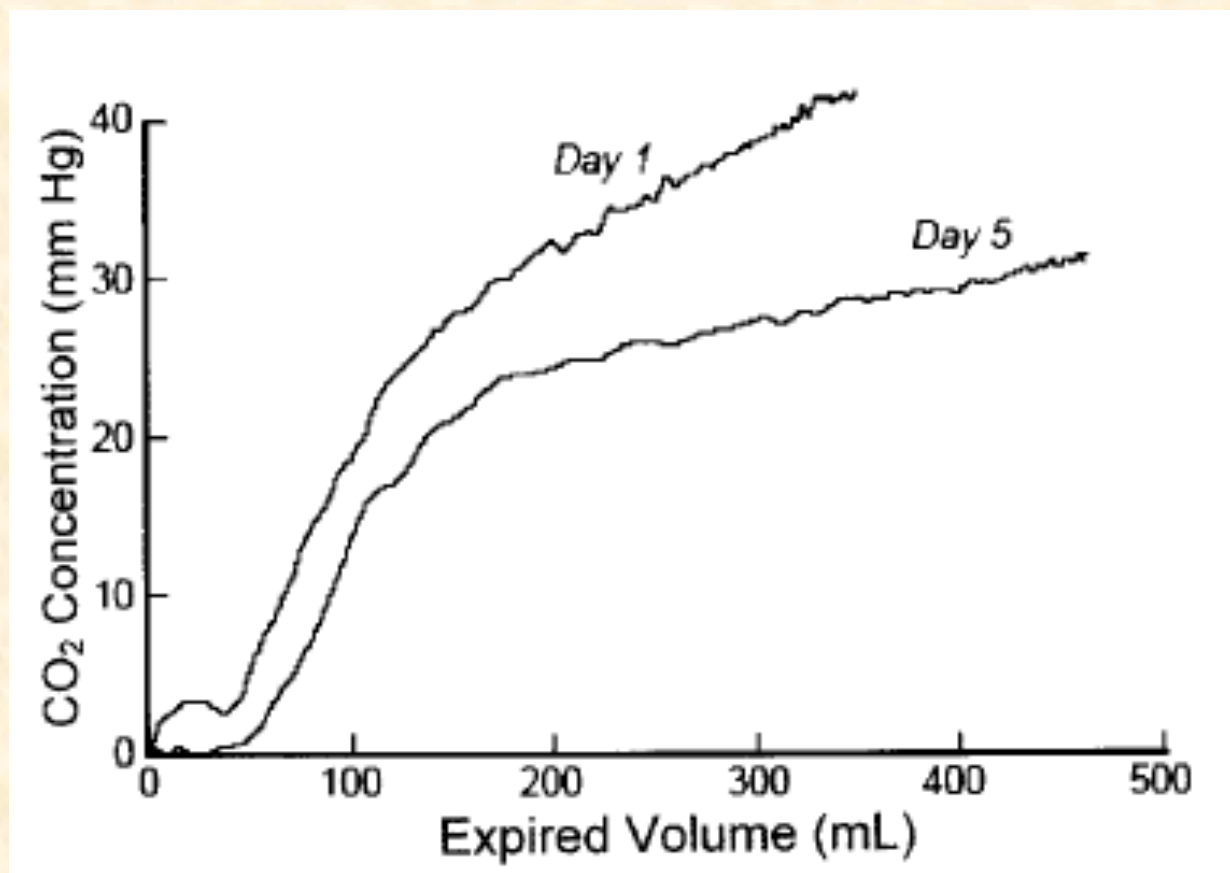


Lucangelo U, Blanch L. Intensive Care Med 2004; 30:576-579

О.Є. Сатішур. 11-й Британо-Український Симпозіум. Київ, 2019



Динамика наклона кривой CO_2 -объем и обструктивная патология легких



R.Thompson Respir Care 2005; 50: 100-8



Волюметрическая капнография: клиническое значение

- Важная составная часть респираторного мониторинга
- Неинвазивный метод, в режиме реального времени
- 10 цифровых параметров плюс кривая CO_2 -объем
- Оценка тяжести патологии легочной ткани и дыхательных путей (V_{daw} , VD/VT , V'_{alv} , slopeCO_2)
- Оценка в-п взаимоотношений (VD/VT , VCO_2 , V'_{alv})
- Помощь в регулировке PEEP (VCO_2 , V'_{alv})
- Оценка эффективности рекрутмента
- Динамика уровня метаболизма и перфузии ($V'\text{CO}_2$)
- Оценка эффективности лечения ОРДС, ХОБЛ, шока
- Оценка эффективности «отлучения» от ИВЛ
- Прогностические критерии (VD/VT , VCO_2 , V'_{alv})



Волюметрическая капнография



**Спасибо
За
ВНИМАНИЕ**

**Дякуємо
За
Увагу**

**Дзякуй
За
Увагу**

