

Мониторинг газообмена: капнография

Киров М.Ю.

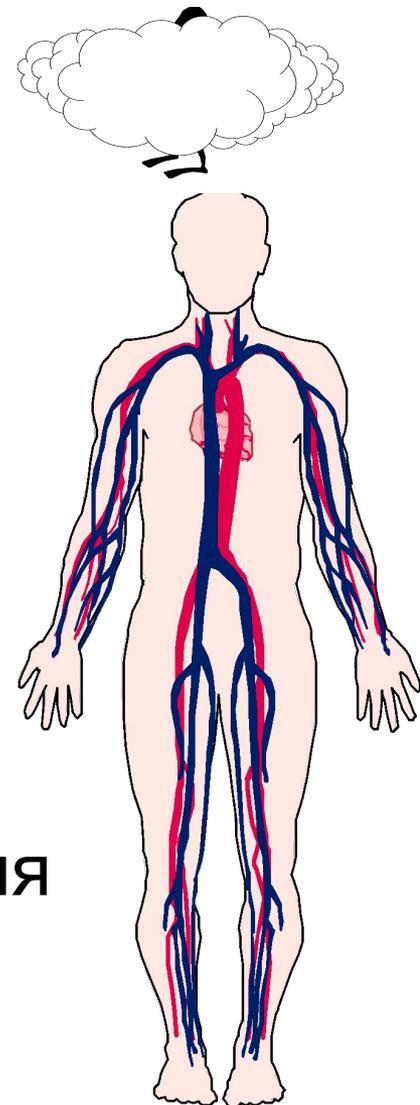
Северный государственный
медицинский университет,
Архангельск



Капнос – дым (греч.)

Физиология CO_2

- Вырабатывается всеми клетками
- Диффундирует в кровоток
- Транспортируется в легкие
- Поступает в альвеолы
- Элиминируется в процессе дыхания



НА МЕТАБОЛИЗМ CO_2 ВЛИЯЮТ ТРИ ФАКТОРА:

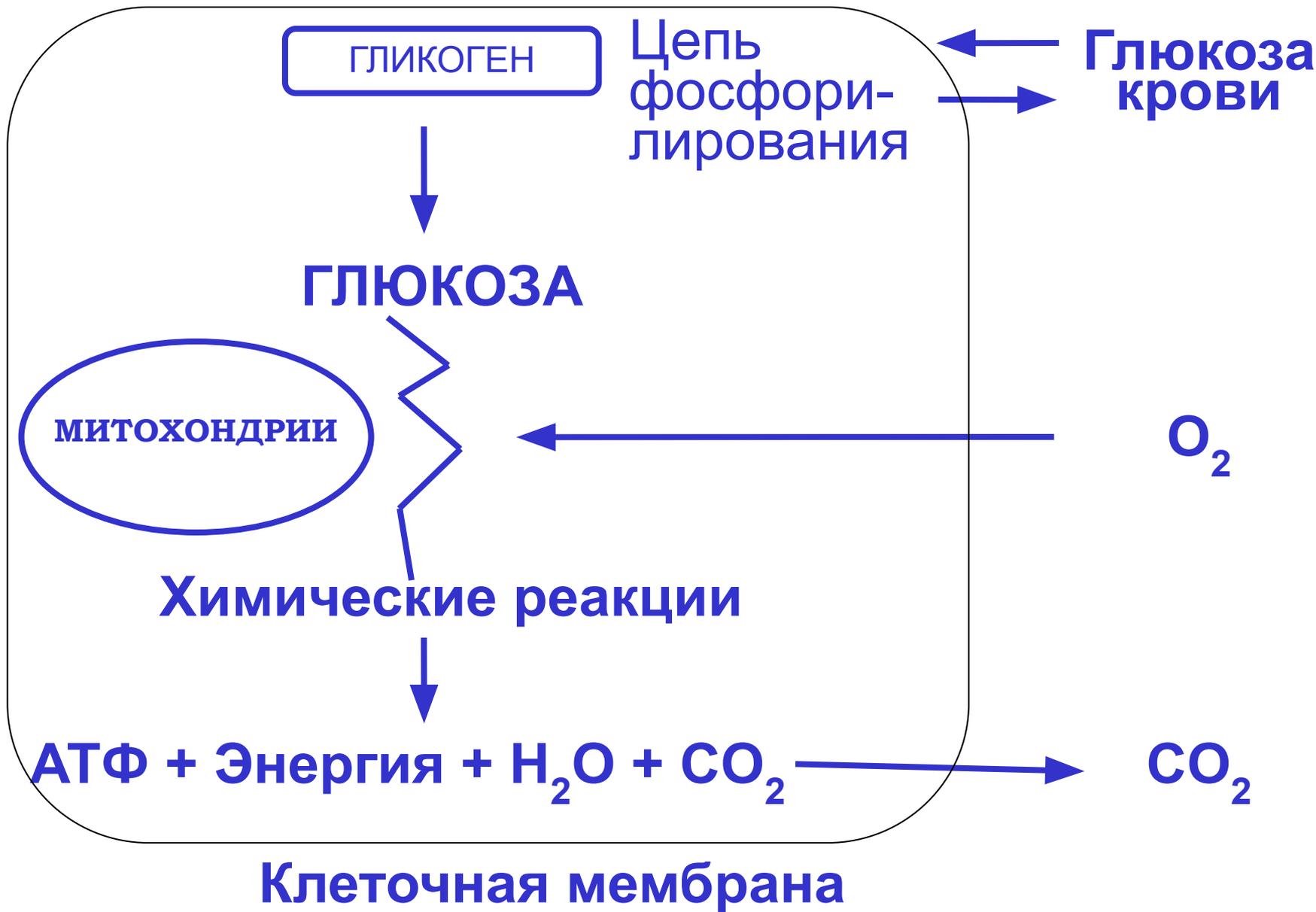
1 – ПРОДУКЦИЯ

2 - ТРАНСПОРТ

3 - ВЫВЕДЕНИЕ

1 - ПРОДУКЦИЯ CO₂

- CO₂ ОБРАЗУЕТСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ КЛЕТКАМИ КИСЛОРОДА И ЭНЕРГИИ



МЕХАНИЗМ ПРОДУКЦИИ CO₂

**ПРОДУКЦИЯ CO_2 ($V\text{CO}_2$)
СВЯЗАНА С
ПОТРЕБЛЕНИЕМ O_2 ($V\text{O}_2$)**

В норме у взрослого

$$V\text{O}_2 = 250 \text{ мл/мин}$$

$$V\text{CO}_2 = 200 \text{ мл/мин}$$

**Отношение $V\text{CO}_2/V\text{O}_2$ называется
ДЫХАТЕЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ**

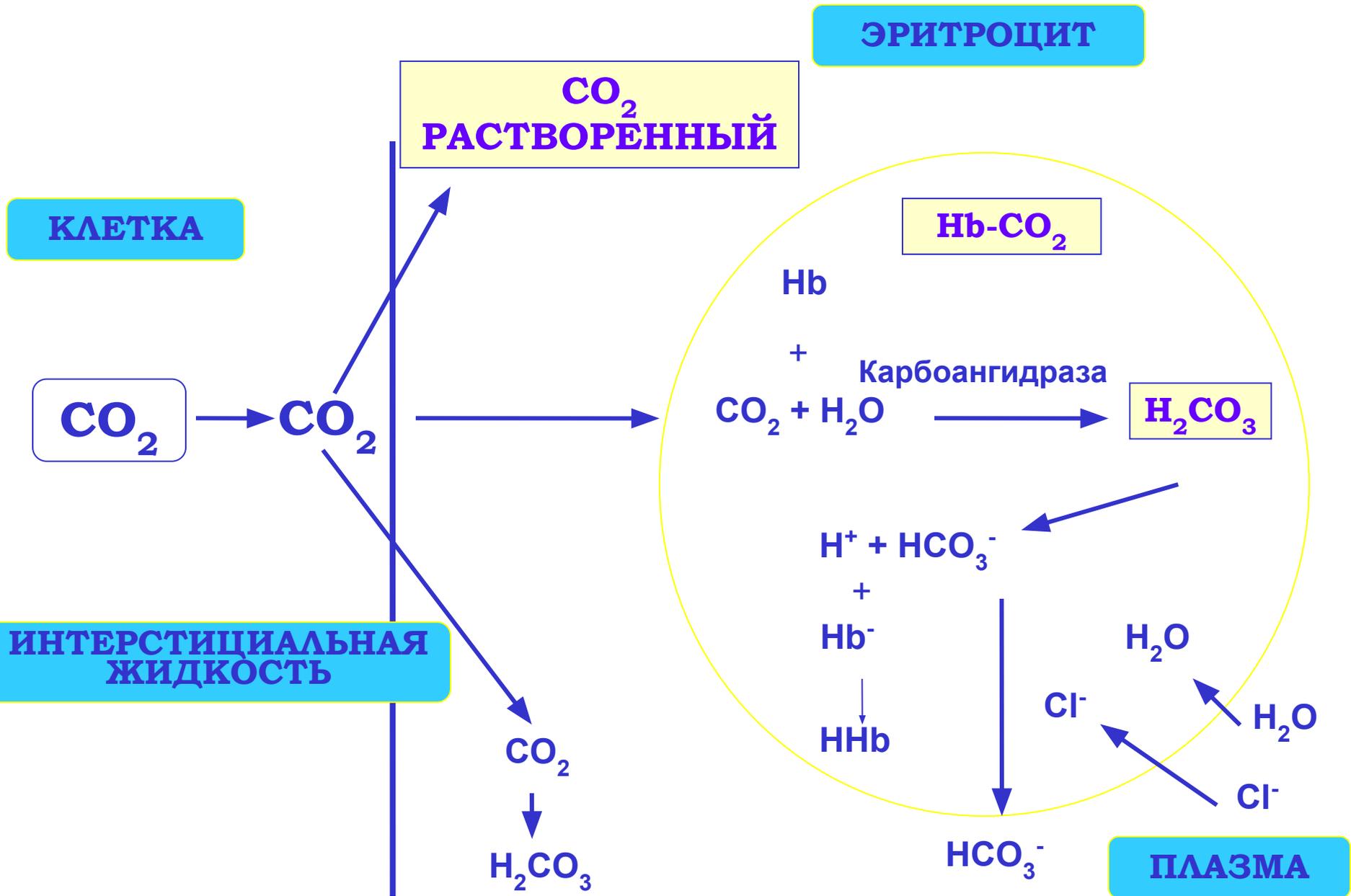
В норме $R=0,8$ и зависит от:

- **характера питания**
- **метаболизма**
- **синтеза жирных кислот**

2 - ТРАНСПОРТ CO_2

CO_2 ТРАНСПОРТИРУЕТСЯ КРОВЬЮ В ТРЕХ ФОРМАХ:

- **РАСТВОРЕННЫЙ В ПЛАЗМЕ (5%)**
- **В ФОРМЕ H_2CO_3 И HCO_3^- (80%)**
 - ХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭРИТРОЦИТАХ
 - ЗАВИСИТ ОТ PCO_2
- **СВЯЗАННЫЙ С БЕЛКАМИ – КАРБАМИНОГЕМОГЛОБИН (15%)**



МЕХАНИЗМ ТРАНСПОРТА CO_2

ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ CO₂

**АЛЬВЕОЛЯРНОЕ
ДАВЛЕНИЕ**

**ВЕНОЗНОЕ
ДАВЛЕНИЕ**

**АРТЕРИАЛЬНОЕ
ДАВЛЕНИЕ**

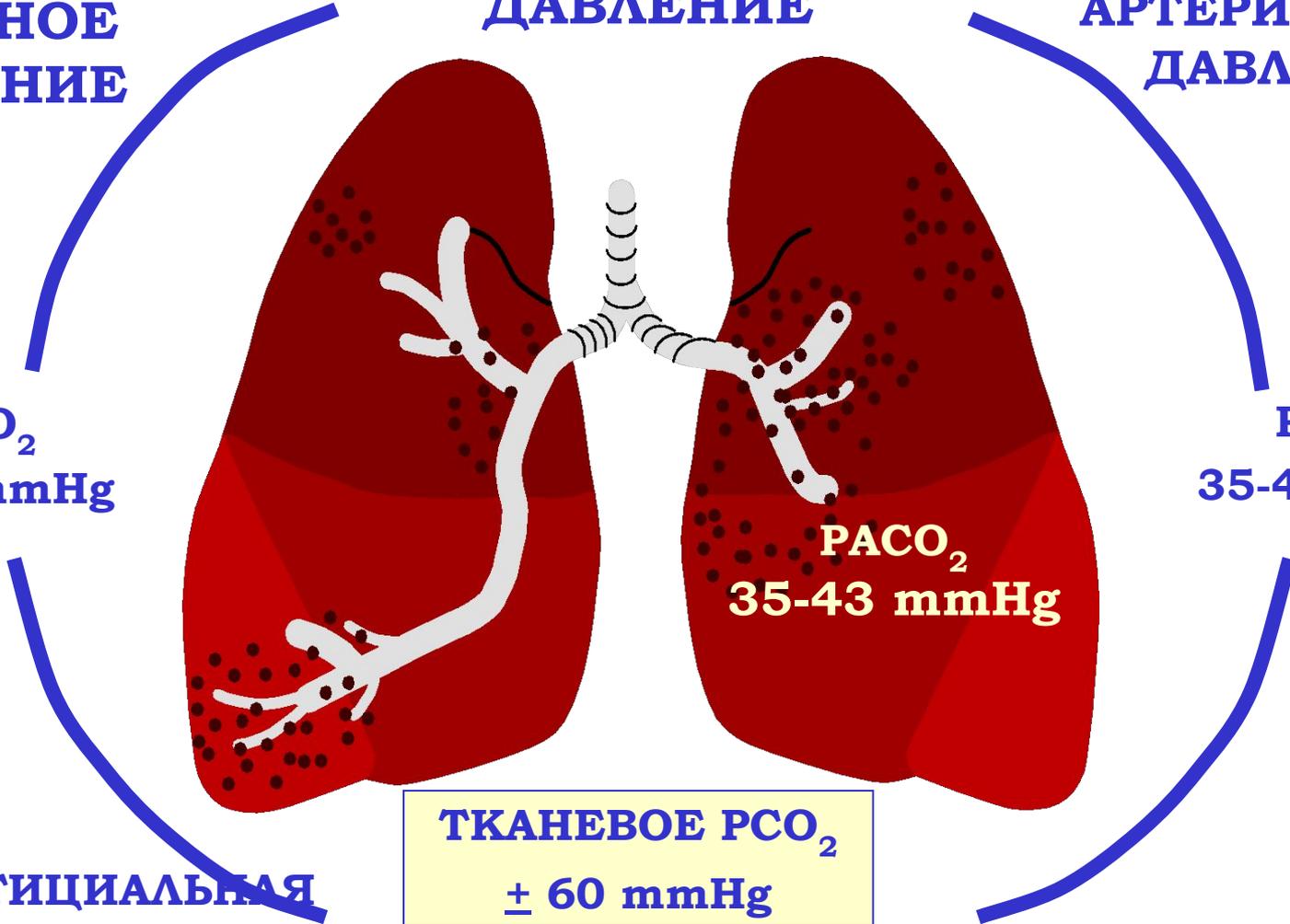
**PvCO₂
43-48 mmHg**

**PaCO₂
35-43 mmHg**

**PACO₂
35-43 mmHg**

**ТКАНЕВОЕ PCO₂
± 60 mmHg**

**ИНТЕРСТИЦИАЛЬНАЯ
ЖИДКОСТЬ
PCO₂ - 46 mmHg**



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ КИСЛОРОДОМ И CO_2

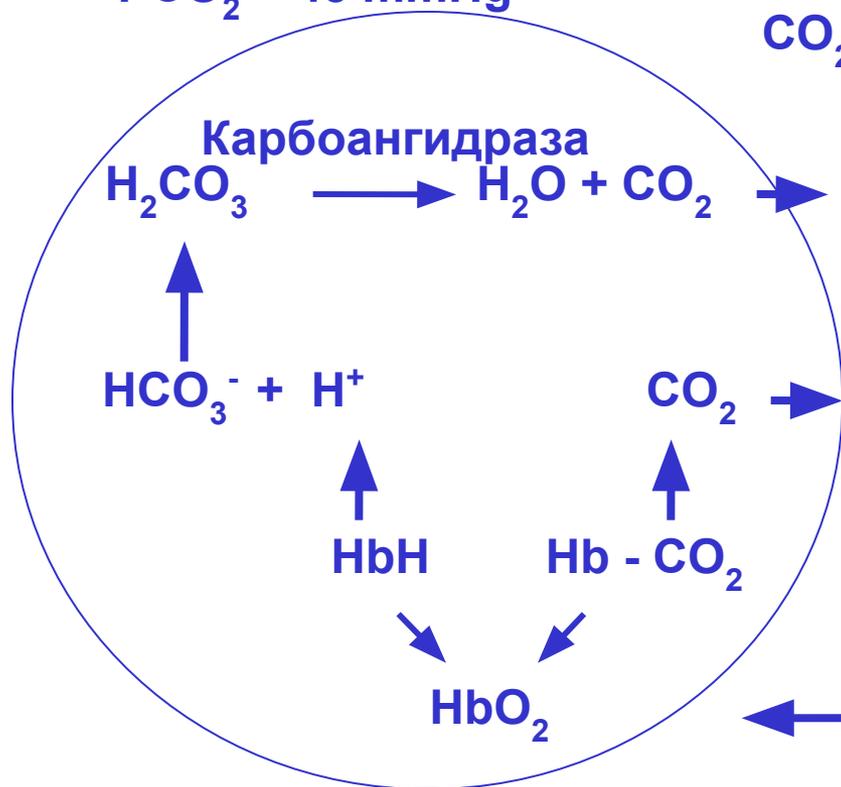
ЭФФЕКТ БОРА: ПОВЫШЕНИЕ CO_2 В КРОВИ ПОТЕНЦИИРУЕТ ОСВОБОЖДЕНИЕ O_2 ГЕМОГЛОБИНОМ НА ТКАНЕВОМ УРОВНЕ

ЭФФЕКТ ХАЛДАНА: ПОВЫШЕНИЕ O_2 В КРОВИ ПОТЕНЦИИРУЕТ ВЫСВОБОЖДЕНИЕ CO_2 ГЕМОГЛОБИНОМ НА УРОВНЕ ЛЕГКИХ

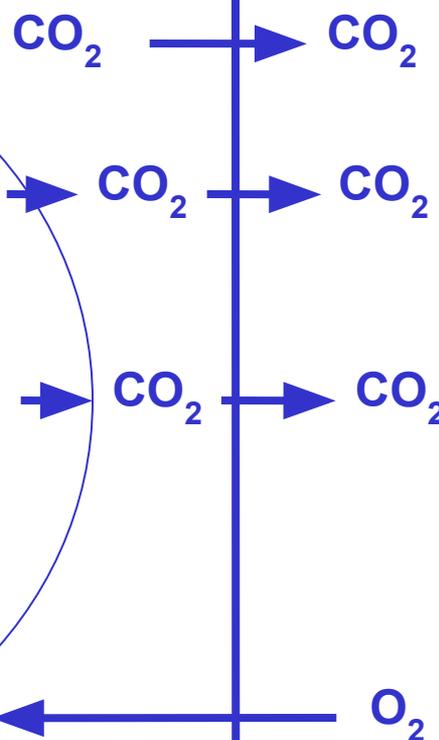
3 - ВЫВЕДЕНИЕ CO₂

**КАПИЛЛЯРЫ
ЛЕГКИХ**

$PCO_2 = 45 \text{ mmHg}$



**МЕМБРАНА
КАПИЛЛЯРА**



АЛЬВЕОЛЫ

$PCO_2 = 40 \text{ mmHg}$

PCO_2

**ДОСТИЖЕНИЕ
РАВНОВЕСИЯ МЕНЕЕ
ЧЕМ ЗА 0,5 СЕК**

ЭРИТРОЦИТЫ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА P_{aCO_2}

1-АЛЬВЕОЛЯРНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ (АВ)

ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПУТЕМ УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ (ЧД) НА РАЗНИЦУ МЕЖДУ ДЫХАТЕЛЬНЫМ ОБЪЕМОМ (ДО) И МЕРТВЫМ ПРОСТРАНСТВОМ (МП)

$$AV = (DO - MP) \times ЧД = V_{CO_2} / PaCO_2 \times K \text{ (коэф.)}$$

Анализ динамики CO_2 в зависимости от величины объема выдоха – объемная капнография

2 – РАЗНИЦА АЛЬВЕОЛЯРНО-АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ CO_2

$$P_{ACO_2} = P_aCO_2 = 40 \pm 4 \text{ мм рт. ст.}$$

КОНЦЕНТРАЦИЯ CO_2 В КОНЦЕ ВЫДОХА ($P_{ET}CO_2$) ОТРАЖАЕТ АЛЬВЕОЛЯРНУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ CO_2 .

В НОРМЕ $P_{ET}CO_2$ (35-45 мм рт. ст.) МЕНЬШЕ P_aCO_2 НА 2-5 ММ РТ. СТ.

По изменению градиента $P_a\text{CO}_2 - E_t\text{CO}_2$ различают следующие состояния:

1. Высокий градиент:

- увеличение физиологического мертвого пространства - V_d/V_t ;
- низкая перфузия альвеол (низкий сердечный выброс);
- ухудшение транспорта CO_2 из легочных капилляров в альвеолы.

2. Обратный градиент:

- избыточное образование CO_2 при снижении объема вдоха;
- избыточная альвеолярная вентиляция

КАПНОГРАФИЯ И КАПНОМЕТРИЯ

Miller ED et al. Anaesthesia 1999, 2004, 2009, 2015

Морган Д.Э., Михаил М.С. Клиническая анестезиология, 1998

Суборов Е.В., Киров М.Ю. Вестник интенсивной терапии 2008;3: 3-9.

Buhre WF. Euroanesthesia 2009; 03RC2

- **Капнография регистрирует графически концентрацию CO_2 на вдохе и выдохе в дыхательном контуре**
- **Капнометрия регистрирует величину парциального давления CO_2 в конце выдоха – $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$**
- **$P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ зависит от 3 факторов – вентиляции, перфузии, метаболизма**

КАПНОГРАФИЯ И КАПНОМЕТРИЯ

Miller ED et al. Anaesthesia 1999, 2004, 2009

Морган Д.Э., Михаил М.С. Клиническая анестезиология, 1998

Суборов Е.В., Киров М.Ю. Вестник интенсивной терапии 2008;3: 3-9.

Buhre WF. Euroanesthesia 2009; 03RC2

Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia

and recovery 2015: Association of Anaesthetists of Great Britain

and Ireland. Anaesthesia (Accepted: 13.10.2015), doi:10.1111/anae.13327

- **Используется с 1950-х годов, с 1991 г. включена в международные стандарты мониторинга в анестезиологии и интенсивной терапии, в т.ч. в Гарвардский стандарт мониторинга и национальные стандарты (ASA, ESA, ФАР и др.)**

НЕОБХОДИМЫЙ МИНИМУМ МОНИТОРИНГА

Международные стандарты анестезии (WFSA2008). Анестезиология и реаниматология 2009;6:4-10.

Buhre WF. Euroanesthesia 2009; 03RC2

Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2015: Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland. Anaesthesia (Accepted: 13.10.2015), doi:10.1111/anae.13327

- **Вентиляция – *капнография***
- **Оксигенация – пульсоксиметрия**
- **Перфузия – ЭКГ, АД, ЧСС**

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- 1 МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ**
- 2 ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ
(ПРИНЦИП РАМАН)**
- 3 ИНФРАКРАСНАЯ
СПЕКТРОГРАФИЯ (ИС)**

1- МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ

- **РАЗДЕЛЕНИЕ ГАЗОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ**
- **ИОНИЗАЦИЯ И ПРОХОЖДЕНИЕ ЧЕРЕЗ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ**
- **ОДНОВРЕМЕННЫЙ АНАЛИЗ РАЗНЫХ ГАЗОВ**
- **ВЫСОЧАЙШАЯ ТОЧНОСТЬ**
- **ДОРОГОСТОЯЩАЯ, ГРОМОЗДКАЯ И ТРУДОЕМКАЯ СИСТЕМА**
- **МАЛО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В КЛИНИКЕ**

2- ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОГРАФИЯ (ПРИНЦИП РАМАН)

- **АНАЛИЗ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛ ГАЗА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АРГОНОВОГО ЛАЗЕРА, АДСОРБИРУЮЩЕГОСЯ РАЗНЫМИ МОЛЕКУЛАМИ**
- **ВОЗМОЖНА ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ**
- **МЕТОДИКА ТОЧНА, НО ГРОМОЗДКА**

3- ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОГРАФИЯ (ИС)

- **НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ В КЛИНИКЕ МЕТОД**
- **ОСНОВАН НА ЧАСТИЧНОЙ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ АБСОРБЦИИ CO₂ ИНФРАКРАСНЫХ ВОЛН**
- **КОЛИЧЕСТВО АБСОРБИРОВАННОГО СВЕТА ПРОПОРЦИОНАЛЬНО КОНЦЕНТРАЦИИ МОЛЕКУЛ CO₂**
- **В СПЕЦИАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКЕ РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ СРАВНИВАЕТСЯ С КАЛИБРОВОЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ CO₂**
- **ВЕЛИЧИНА ВЫРАЖАЕТСЯ В mmHg ИЛИ % (1 % = 1 kPa = 7,6 мм рт. ст.)**
- **НАДЕЖНОСТЬ И ПРОСТОТА В ЭКСПЛУАТАЦИИ**
- **ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДЕШЕВИЗНА**

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОГРАФИЯ

- СПОСОБНОСТЬ НЕСИММЕТРИЧНЫХ МОЛЕКУЛ ГАЗА (УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ - CO_2 , ЗАКИСЬ АЗОТА - N_2O , ПАРЫ ВОДЫ - H_2O , ЛЕТУЧИЕ АНЕСТЕТИКИ) ПОГЛОЩАТЬ ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
- CO_2 - ДЛИНА ВОЛНЫ 4,25 МКМ

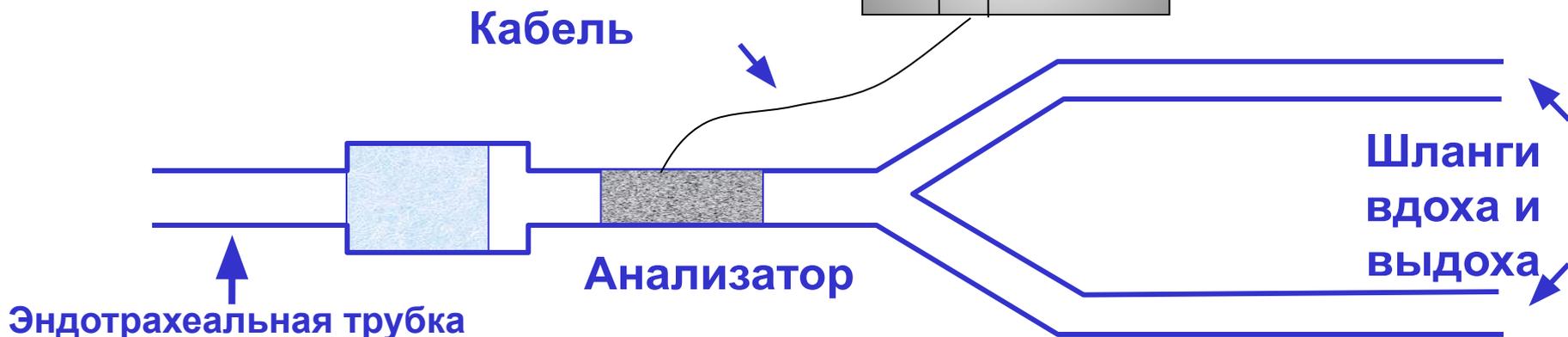
ФОТОАКУСТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОГРАФИЯ

- **ВАРИАНТ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОГРАФИИ С ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**
- **ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ**
 - **ЭФФЕКТИВНА И ТОЧНА**
 - **РЕЖЕ ТРЕБУЕТ КАЛИБРОВКИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**
 - **БОЛЕЕ ДОРОГОСТОЯЩАЯ, НЕ ПОЛУЧИЛА ШИРОКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В КЛИНИКЕ**

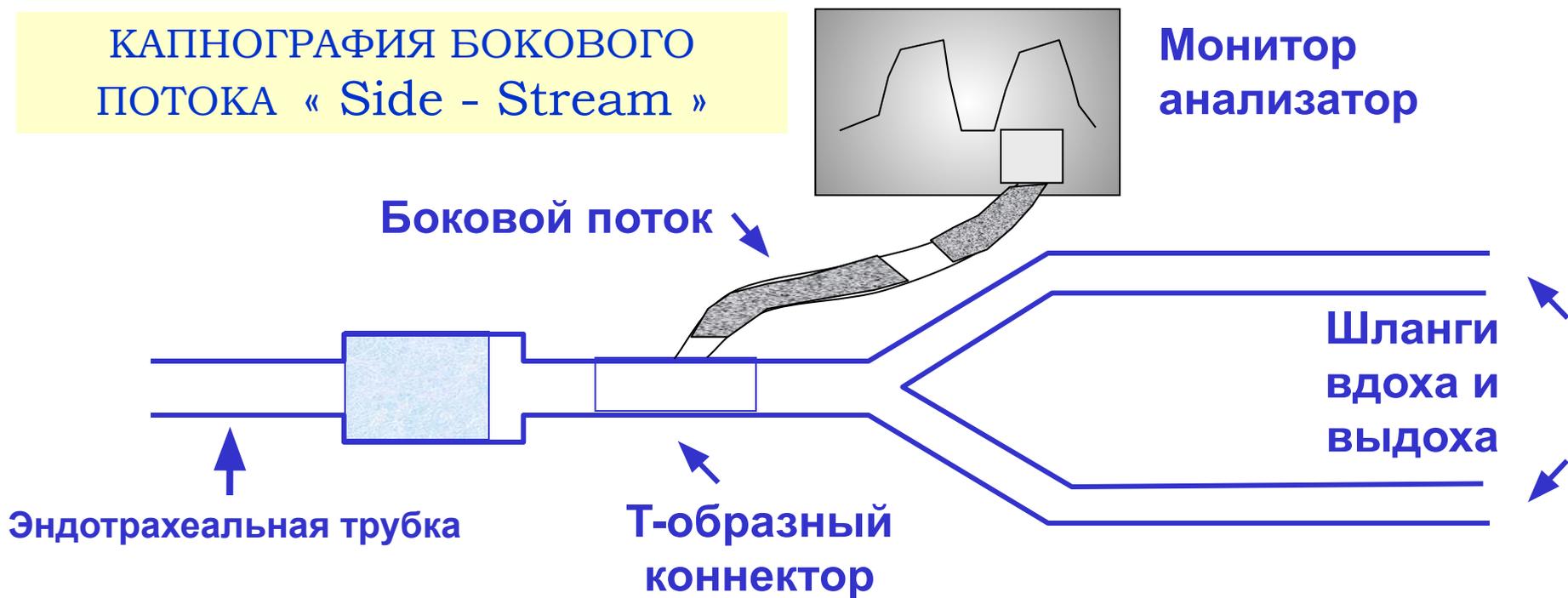
ТИПЫ КАПНОГРАФОВ

- **КАПНОГРАФЫ ПРЯМОГО ПОТОКА
«MAIN-STREAM»**
- **КАПНОГРАФЫ БОКОВОГО ПОТОКА
«SIDE-STREAM»**
- КАПНОГРАФЫ МИКРОПОТОКА:
«MICROSTREAM»***

КАПНОГРАФИЯ ПРЯМОГО ПОТОКА
« Main - Stream »



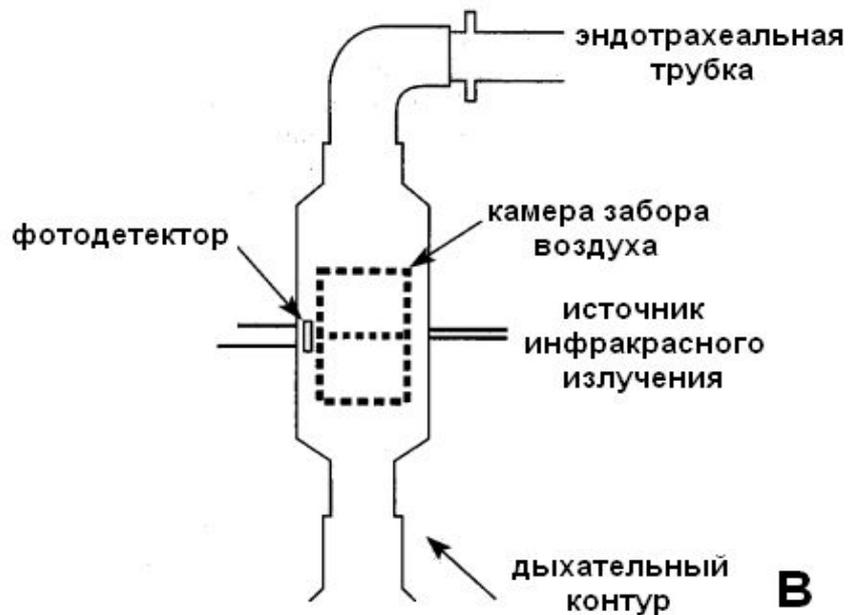
КАПНОГРАФИЯ БОКОВОГО ПОТОКА
« Side - Stream »



Капнометрия прямого потока (Mainstream)

Датчик фиксируется на специальной камере, помещенной непосредственно в дыхательном контуре (Mainstream analysis)

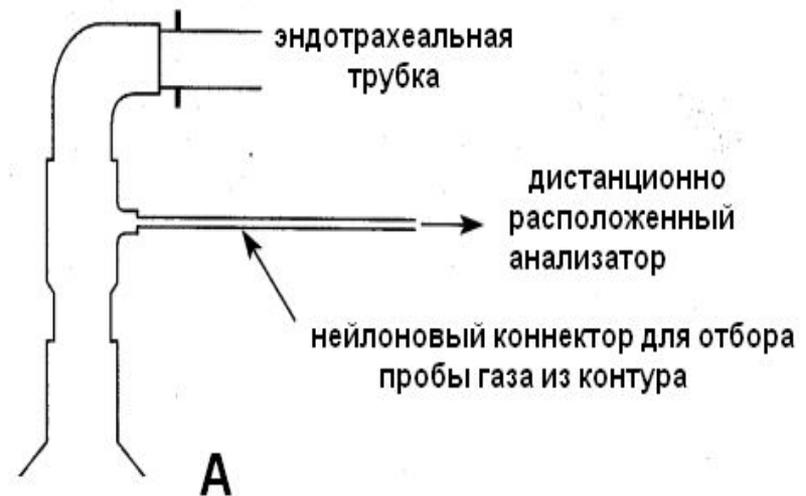
Система подогрева адаптера для удаления влаги



Капнометрия бокового потока (Sidestream)

Датчик расположен вне потока – производится непрерывный отбор газа из дыхательного контура, который оценивается в отдельной камере (Sidestream analysis)

Задержка влаги в накопительном резервуаре



ОСОБЕННОСТИ КАПНОГРАФОВ ПРЯМОГО И БОКОВОГО ПОТОКА

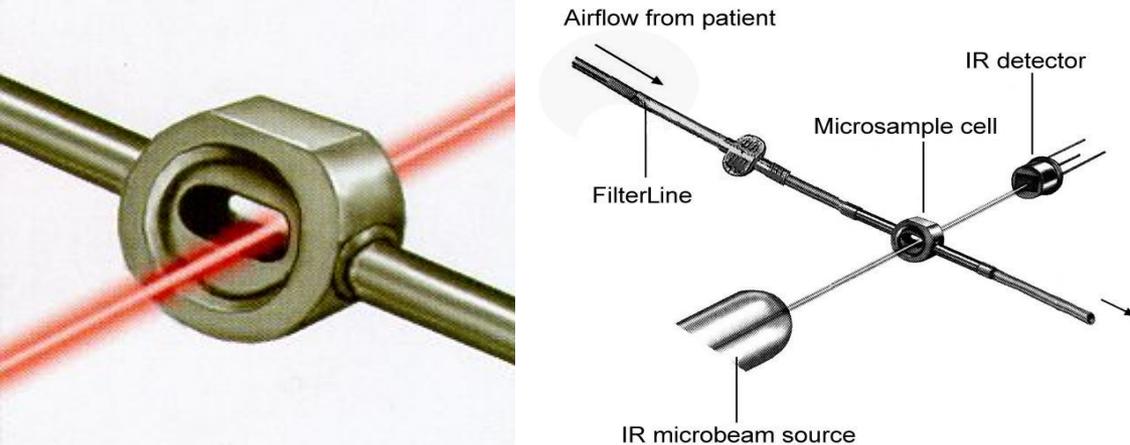
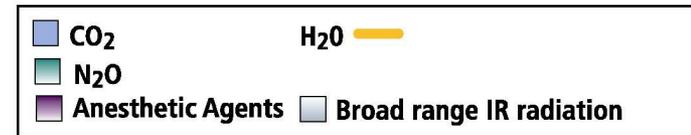
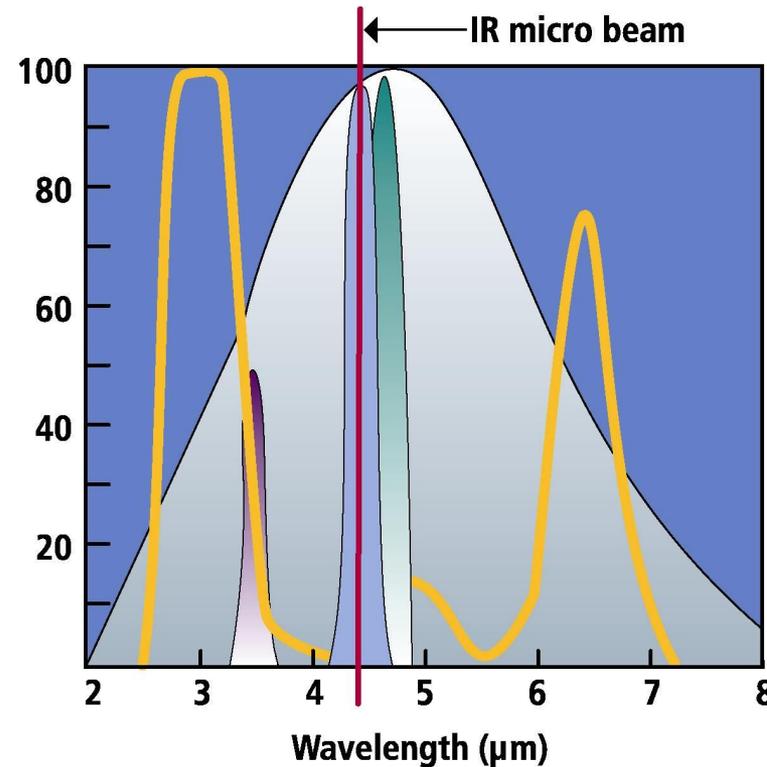
ПРЕИМУЩЕСТВА	ПРЯМОЙ	БОКОВОЙ
Адаптирован к высокой ЧД (>20)	X	
Возможность работы в режиме реального времени, быстрая реакция на изменение PCO_2	X	
Близость к дыхательным путям	X	
Несколько газов одновременно		X
Может быть подсоединен к маске или носовым канюлям		X
Применим при седации на спонтанном дыхании		X

ОСОБЕННОСТИ КАПНОГРАФОВ ПРЯМОГО И БОКОВОГО ПОТОКА

НЕДОСТАТКИ	ПРЯМОЙ	БОКОВОЙ
Риск дислокации (движения, зонд и др.)	X	
Чувствителен к шуму и вибрации	X	
Может вызывать ожоги при контакте с кожей	X	
Увеличивает мертвое пространство в дыхательном контуре	X	
Возможность перегиба эндотрахеальной трубки	X	
Относительно высокая стоимость датчика	X	
Возможность блокады датчика мокротой	X	X
Требует калибровки	X	X
Потеря МОВ (до 0,25 л/мин)		X
Занижение истинной величины PCO_2		X
Меньшая точность в присутствии N_2O		X
Контаминация датчика		X

Технология микропотока (Microstream)

- Молекулярная корреляционная спектроскопия газовой смеси
- Сфокусирована только на длину волны CO_2 (сужение инфракрасного спектра в 135 раз)
- Нет перекрестной чувствительности к летучим анестетикам

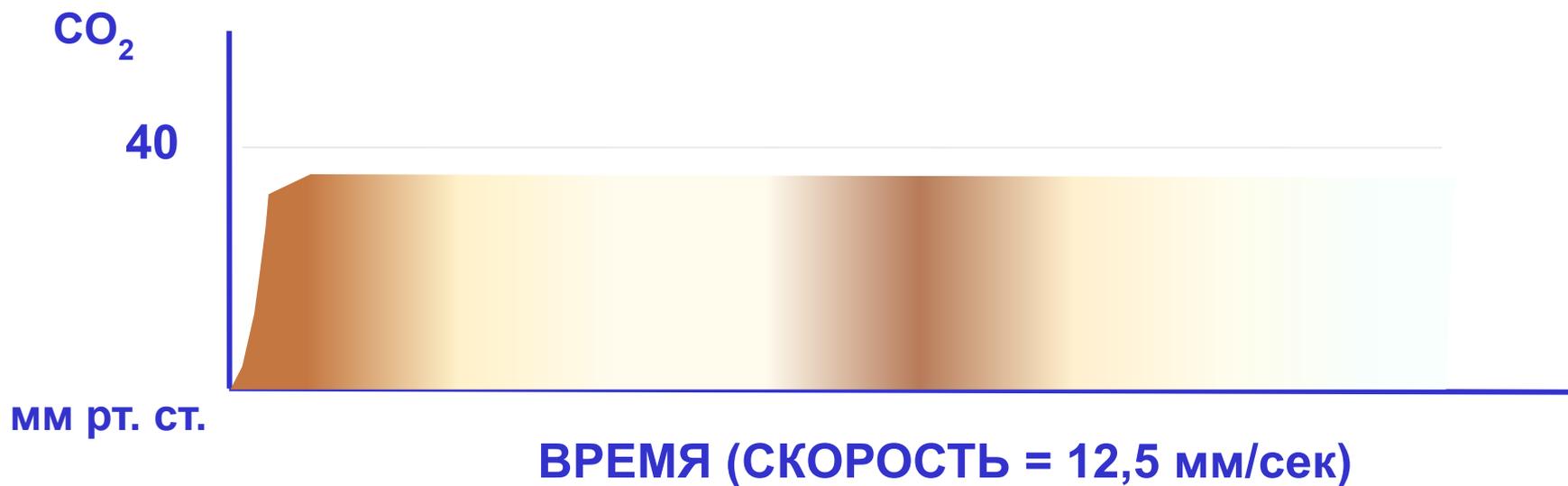
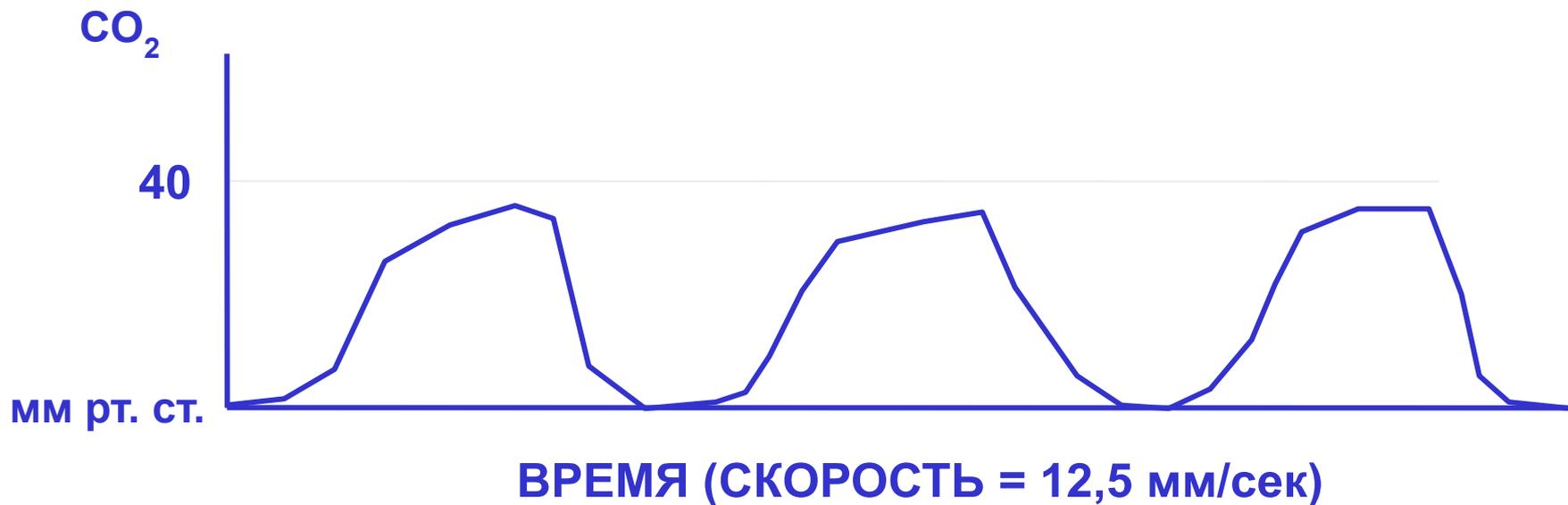


Технология микропотока (Microstream)

- Сенсор находится вне дыхательных путей
- Точные результаты при минимальных заборах проб газовой смеси из нескольких микропортов
- Быстрая реакция, небольшая скорость потока 50 мл/мин и минимальное «мертвое пространство» 0,5 мл
- Не требуется частая калибровка (автоматическое обнуление)
- Возможно применение у интубированных пациентов и на спонтанном дыхании
- Возможно применение у всех возрастных групп пациентов
- Предупреждение накопления конденсата за счет нафiona в магистрали

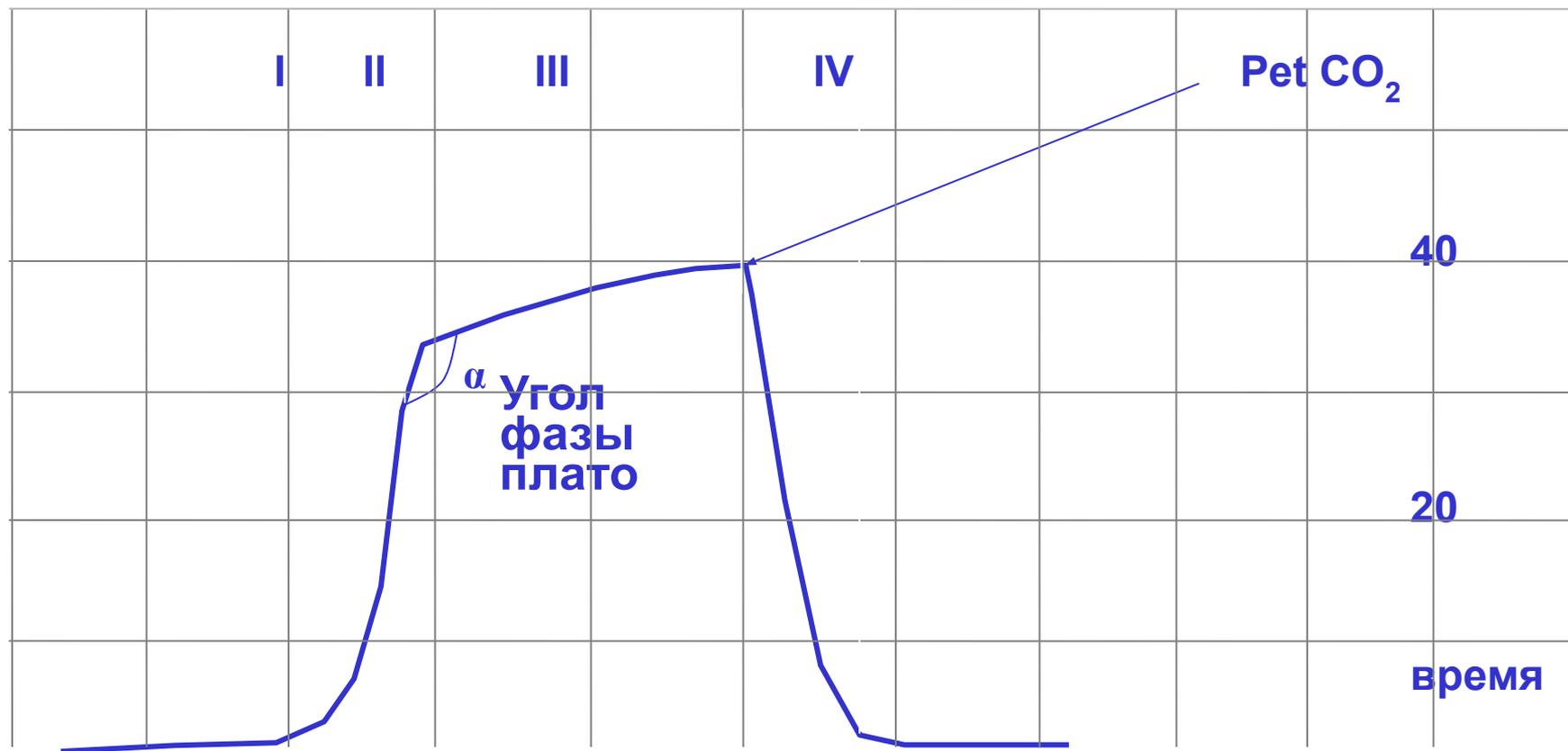


НОРМАЛЬНАЯ КАПНОГРАММА



НОРМАЛЬНАЯ КАПНОГРАММА

ДАВЛЕНИЕ CO_2 (мм рт. ст.)



I НАЧАЛО
ВЫДОХА

II ПОДЪЕМ CO_2 НА
ВЫДОХЕ ОТРАЖАЕТ
ПОСТУПЛЕНИЕ ГАЗА ИЗ
АЛЬВЕОЛ

III АЛЬВЕОЛЯРНОЕ
ПЛАТО

IV НАЧАЛО
ВДОХА

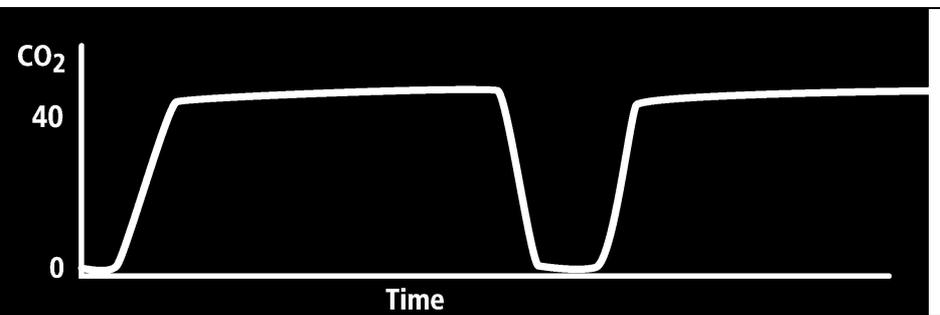
ИЗМЕНЕНИЯ КАПНОГРАММЫ

ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ СЛЕДУЮЩИМИ ФАКТОРАМИ:

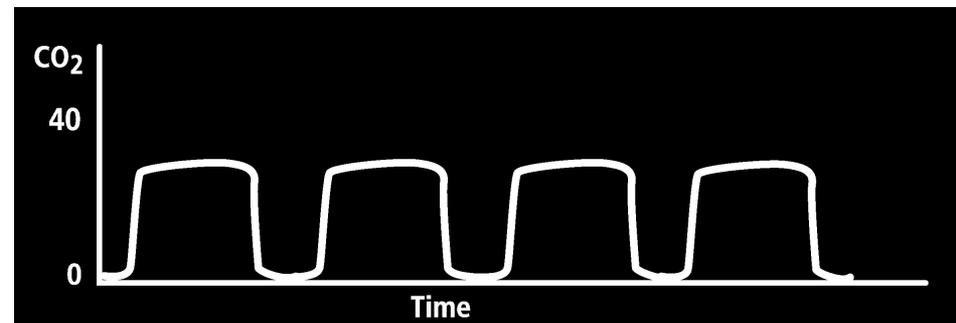
- 1. ЗНАЧЕНИЕМ $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$**
- 2. ФОРМОЙ КРИВОЙ**
- 3. УРОВНЕМ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ**
- 4. ХАРАКТЕРОМ ДЫХАТЕЛЬНОГО РИТМА**
- 5. ИЗМЕНЕНИЯМИ ФАЗ ДЫХАНИЯ**

ИЗМЕНЕНИЯ КАПНОГРАММЫ

Гиповентиляция



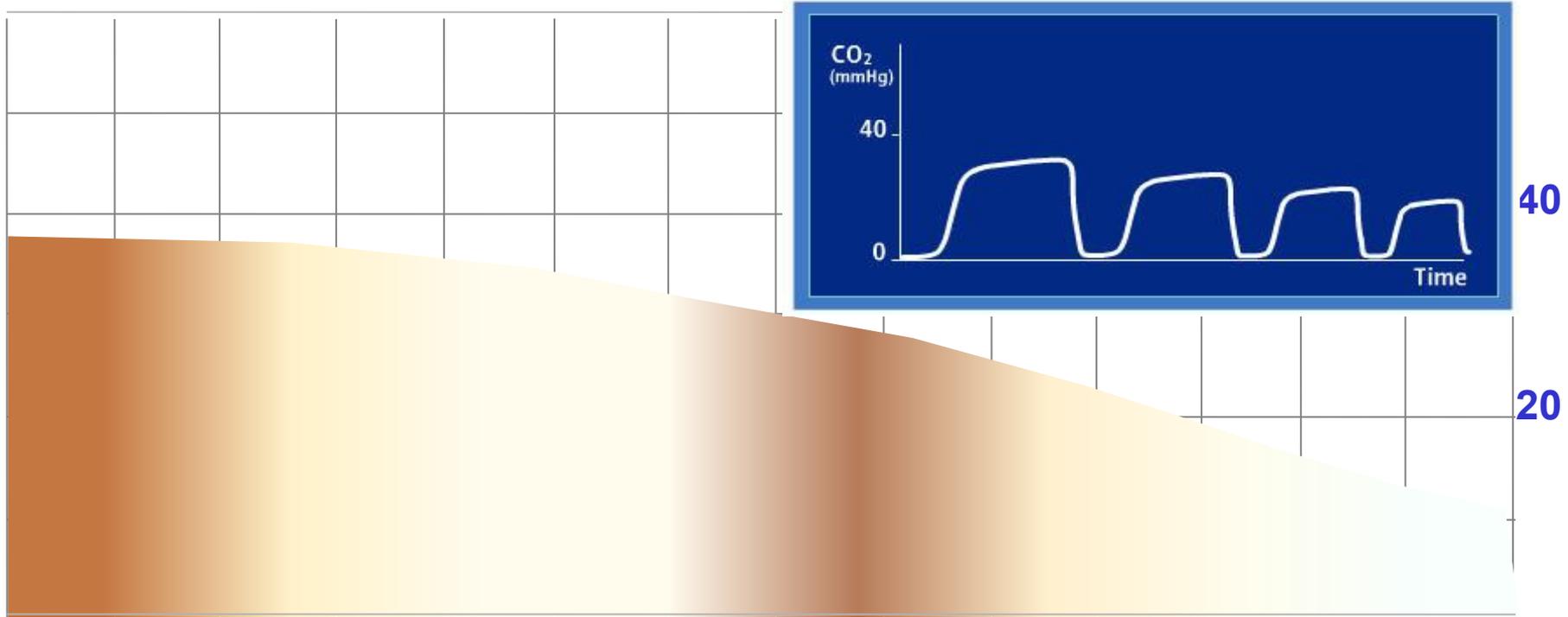
Гипервентиляция



ПОСТЕПЕННОЕ СНИЖЕНИЕ $P_{ET}CO_2$ С

НОРМАЛЬНОЙ МОРФОЛОГИЕЙ КАПНОГРАММЫ

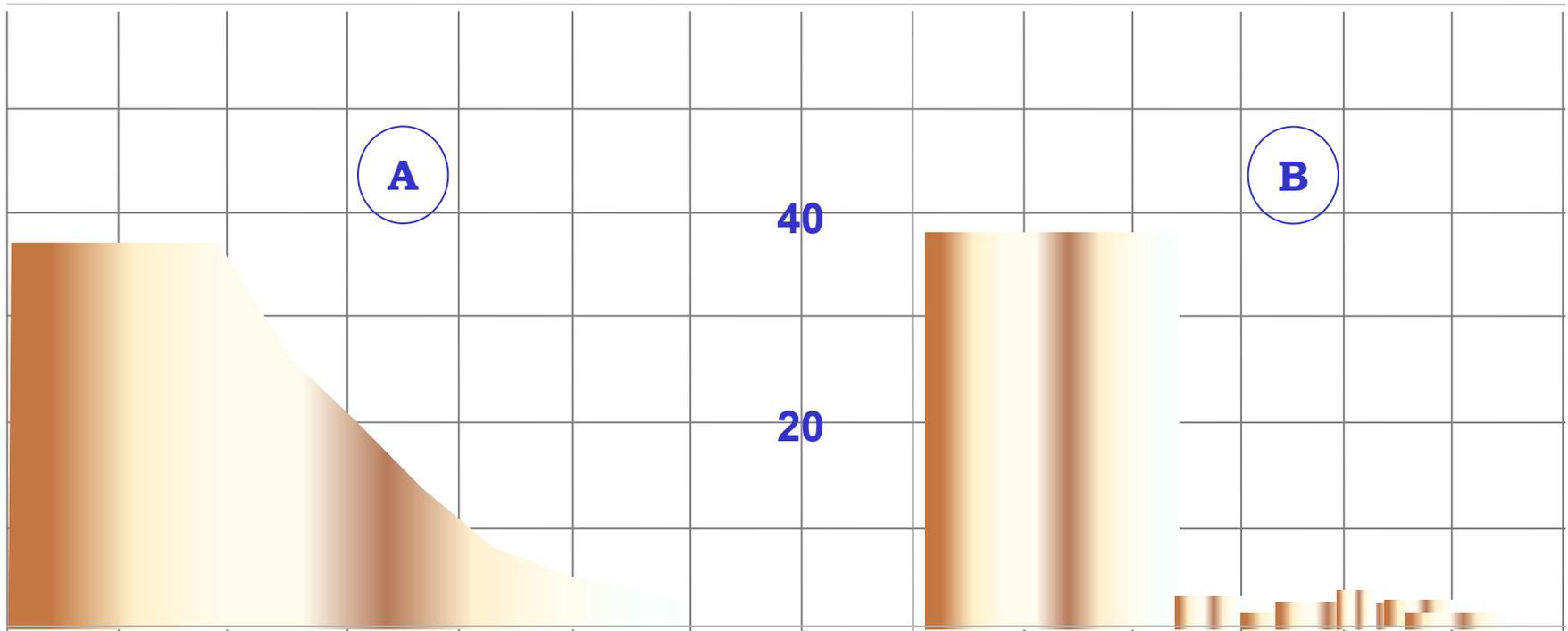
$ETCO_2$ (мм рт. ст.)



- СНИЖЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА
- ГИПОТЕРМИЯ
- ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ГИПЕРВЕНТИЛЯЦИЯ
- ГИПОВОЛЕМИЯ
- ПОСТЕПЕННОЕ СНИЖЕНИЕ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА, СИСТЕМНАЯ ИЛИ ЛЕГОЧНАЯ ГИПОПЕРФУЗИЯ

СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ $P_{ET}CO_2$ ПРИ ИВЛ

$P_{ET}CO_2$ (мм рт. ст.)



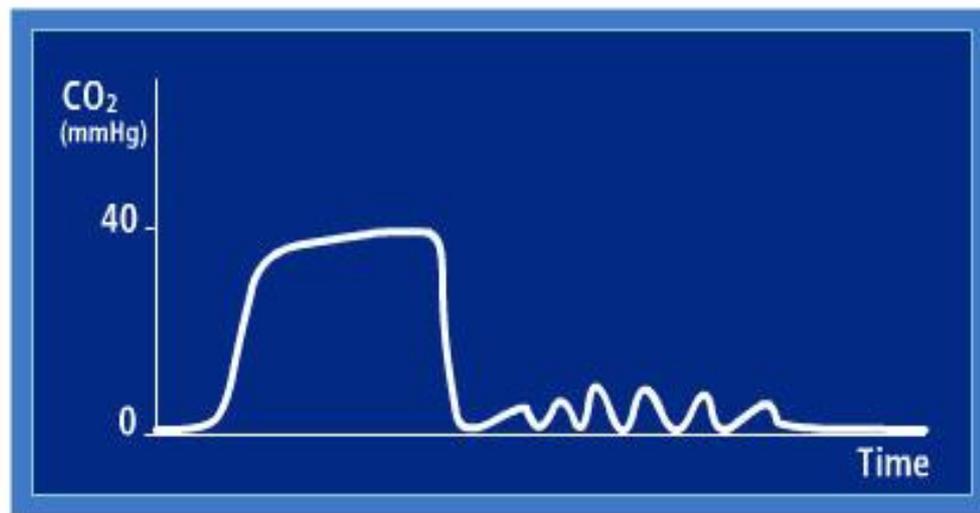
A РЕЗКОЕ СНИЖЕНИЕ $P_{ET}CO_2$: НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ГЕМОДИНАМИКИ (ГИПОТЕНЗИЯ ПРИ МАССИВНОМ КРОВОТЕЧЕНИИ, КОМПРЕССИЯ ПОЛЫХ ВЕН, ТЭЛА И ДР.)

B ВНЕЗАПНОЕ ПАДЕНИЕ $P_{ET}CO_2$ ДО НУЛЕВЫХ ЗНАЧЕНИЙ: СБОЙ ВЕНТИЛЯТОРА, ДИСКОННЕКЦИЯ, ПОЛНАЯ ОБСТРУКЦИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ, ЭКСТУБАЦИЯ, ОСТАНОВКА СЕРДЦА

СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОТЫ НА ФОНЕ СПОНТАННОГО ДЫХАНИЯ ЧЕРЕЗ НОСОВЫЕ КАНЮЛИ

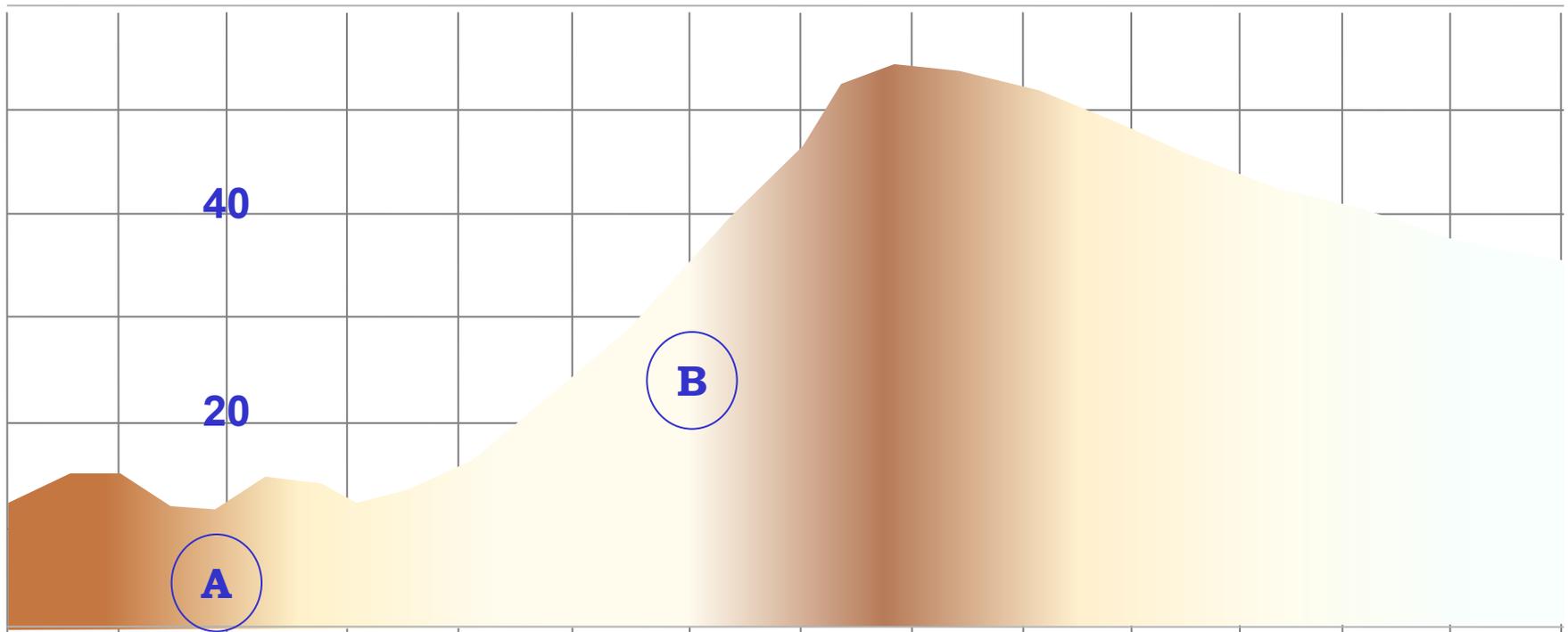
«Потеря кривой» и снижение показаний EtCO_2 до нуля на фоне спонтанного дыхания могут быть вызваны следующими причинами:

- поверхностное дыхание
- гиповентиляция, увеличение «мертвого пространства»
- полная обструкция дыхательных путей
- смещение канюль
- апноэ
- остановка кровообращения



КАПНОГРАММА ПРИ СЛР

ETCO₂ (мм рт. ст.)



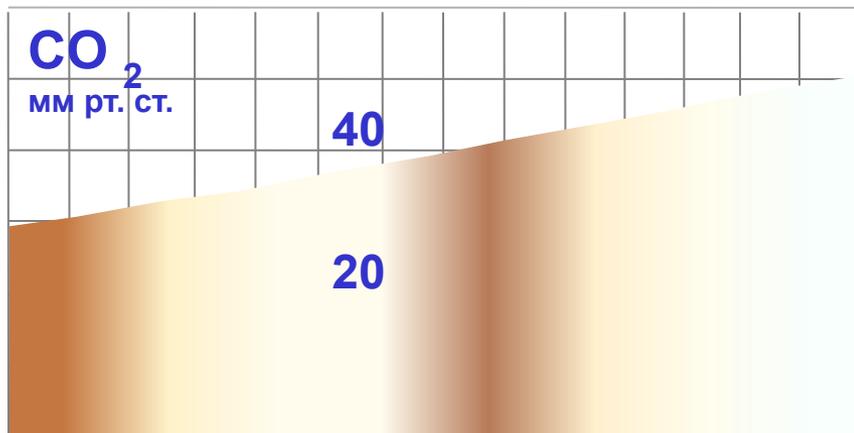
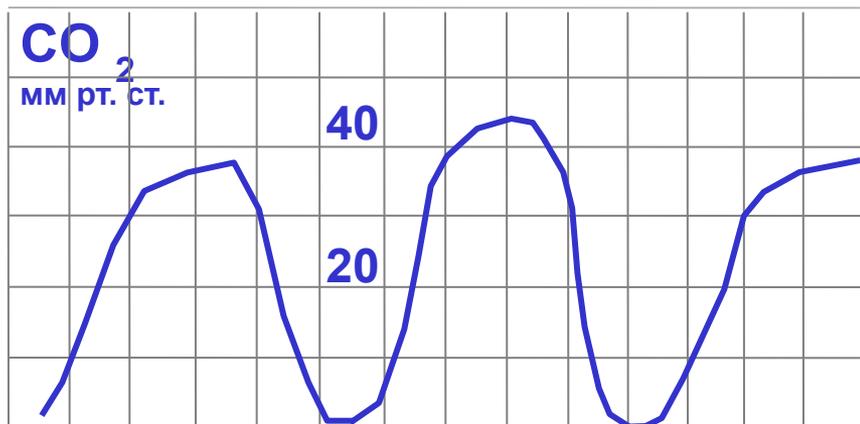
A МАССАЖ СЕРДЦА

B ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПОНТАННОЙ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

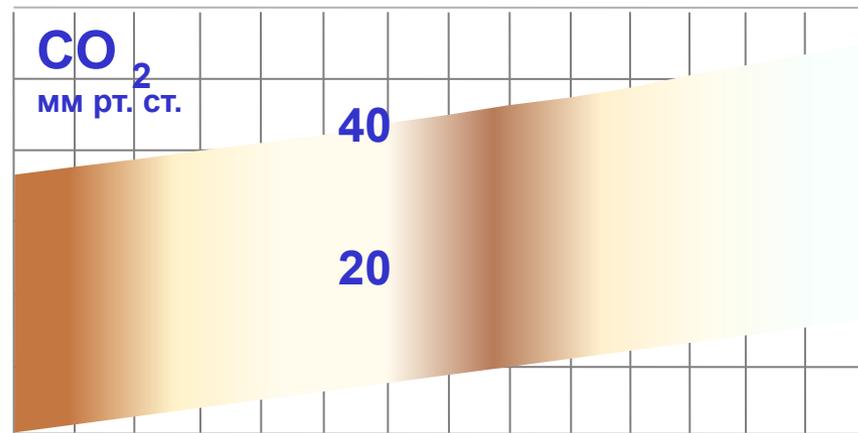
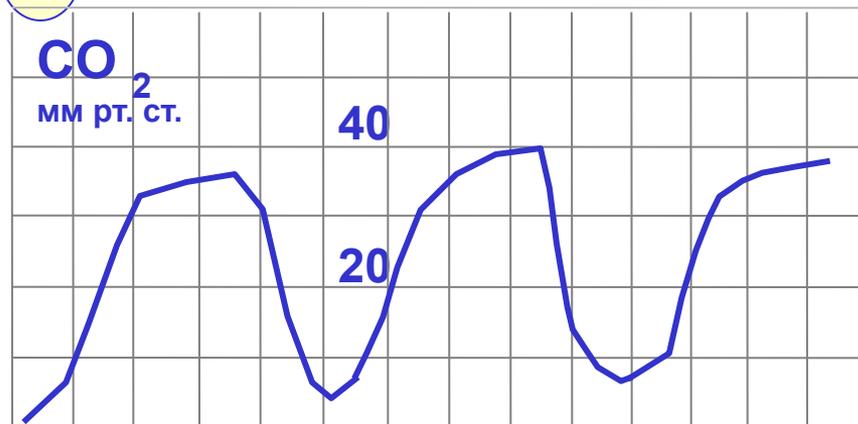
ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ПОВЫШЕНИЕ $P_{ET}CO_2$

А ИЗОЛИРОВАННОЕ В С ПОДЪЕМОМ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ

А



В

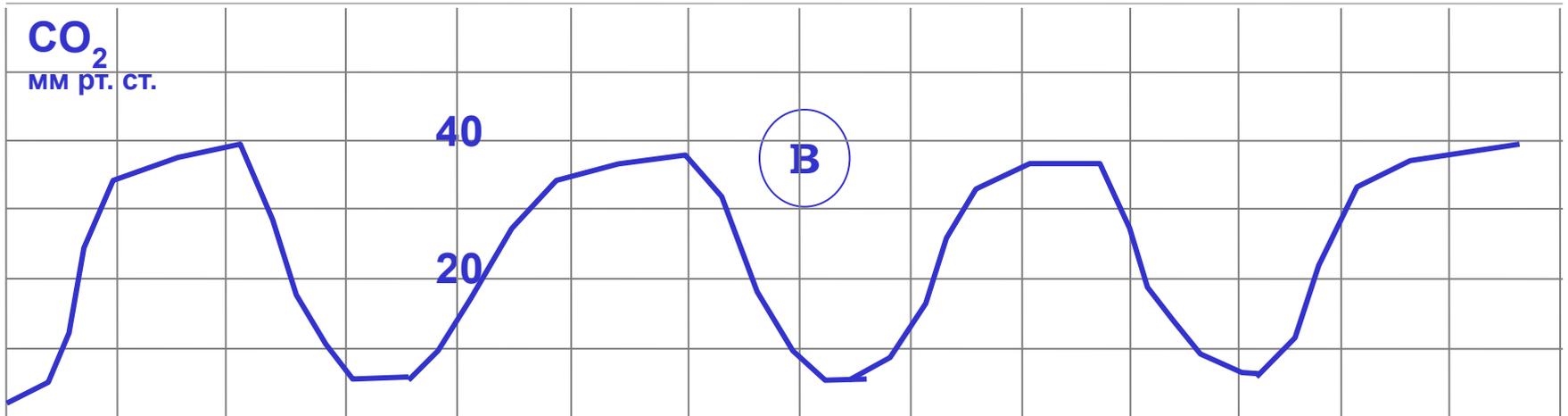
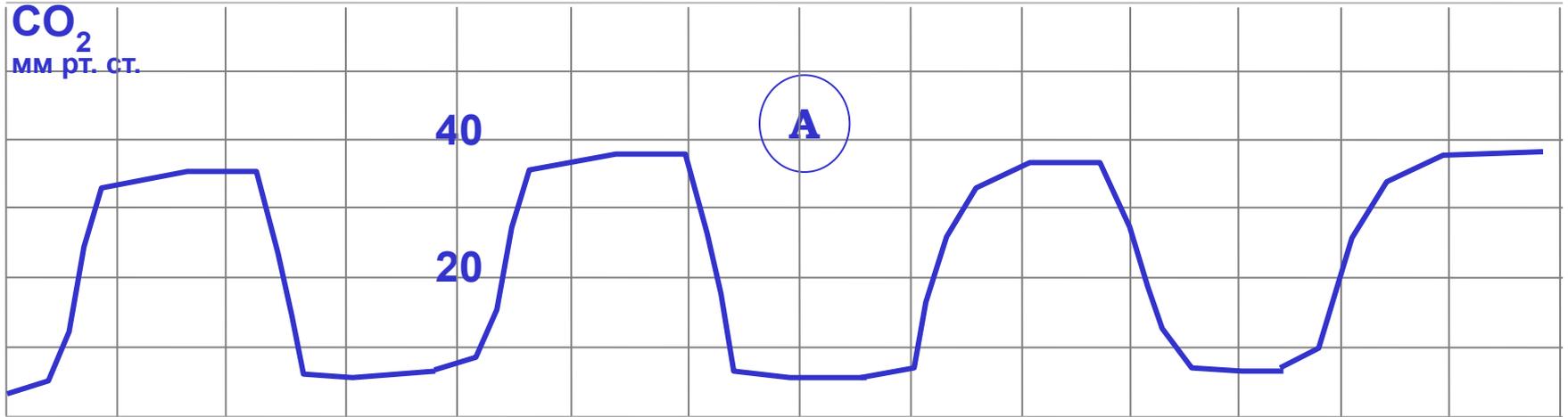


- Уменьшение минутной вентиляции
- Повышение продукции CO_2 , гипертермия
- Абсорбция CO_2 (инсуффляция CO_2 при лапароскопии)

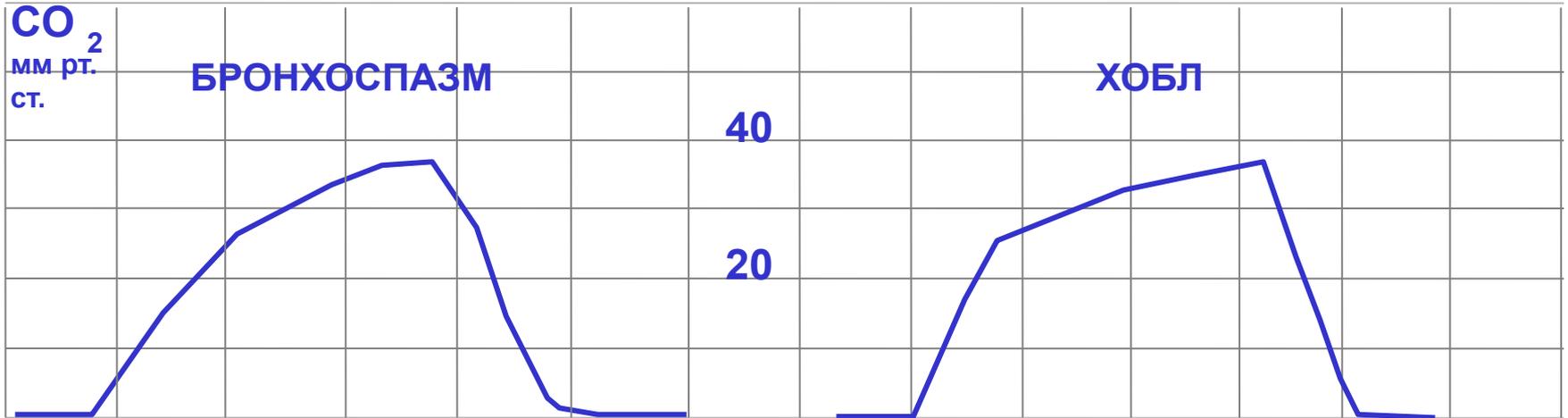
РЕЦИРКУЛЯЦИЯ CO_2

- Истекший срок натронной извести
- Недостаточный поток свежих газов при анестезии низкого потока
- Дисфункция клапанов

ПОДЪЕМ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ ПРИ ДИСФУНКЦИИ КЛАПАНА ВЫДОХА (А) ИЛИ ВДОХА (В)



ИЗМЕНЕНИЯ КАПНОГРАММЫ

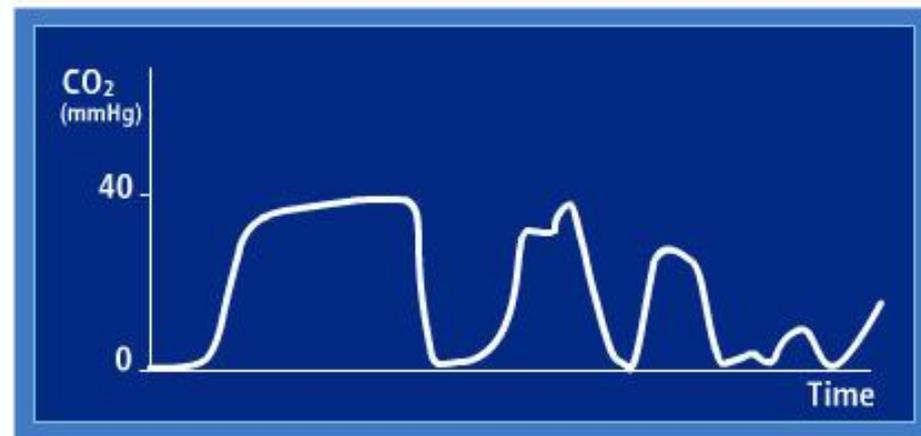


Отсутствие альвеолярного плато на фоне ИВЛ

Неполное освобождение альвеолярного пространства во время выдоха или нарушение проходимости дыхательных путей

Возможные причины:

- Частичное отсоединение пациента от вентилятора
- Утечка в контуре
- Частичная обструкция дыхательных путей
- Бронхоспазм
- Смещение эндотрахеальной трубки в надсвязочное пространство
- Утечка в системе забора газовой смеси капнографа



Основные причины гиперкапнии

Метаболизм

- Боль
- Гипертермия
- Дрожь

Дыхание

- Дыхательная недостаточность
- Угнетение дыхания
- ХОБЛ
- Анальгезия/седация

Кровообращение

- Повышение сердечного выброса при постоянной вентиляции

Оборудование

- Неисправность клапанов вдоха или выдоха
- Избыточное «мертвое пространство»

Основные причины гипокапнии

Метаболизм

- Гипотермия

Кровообращение

- Гипотензия
- Резкая гиповолемия
- Остановка кровообращения
- ТЭЛА

Дыхание

- Гипервентиляция
- Бронхоспазм
- Бронхообструкция

Оборудование

- Утечка в дыхательном контуре
- Смещение носовых канюль
- Положение эндотрахеальной трубки

КАПНОГРАФИЯ: ПОКАЗАНИЯ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Buhre WF. Euroanesthesia 2009; 03RC2

Суборов Е.В., Киров М.Ю. Вестник интенсивной терапии 2008;3: 3-9.

Checketts MR et al. Anaesthesia 2016;71:85–93.

- **КАПНОГРАФИЯ – ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ РУТИННОГО МОНИТОРИНГА В ХОДЕ АНЕСТЕЗИИ**
- **НЕОБХОДИМА НА ФОНЕ ИВЛ, ЖЕЛАТЕЛЬНА ПРИ СПОНТАННОМ ДЫХАНИИ**
- **ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИНТУБАЦИИ ТРАХЕИ**
- **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛР**
- **ДИАГНОСТИКА АПНОЭ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ**
- **ПРОВЕДЕНИЕ ИВЛ:**
 - для оценки эффективности вентиляции
 - для коррекции параметров вентиляции
 - отлучение от ИВЛ
 - контроль герметичности контура

КАПНОГРАФИЯ: ПОКАЗАНИЯ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Buhre WF. Euroanesthesia 2009; 03RC2

Суборов Е.В., Киров М.Ю. Вестник интенсивной терапии 2008;3: 3-9.

Checketts MR et al. Anaesthesia 2016;71:85–93.

- **МОНИТОРИНГ МЕТАБОЛИЗМА**
- **КОНТРОЛЬ АДЕКВАТНОСТИ СЕДАЦИИ И АНАЛЬГЕЗИИ**
- **МОНИТОРИНГ ПЕРФУЗИИ**
- **ТРАНСПОРТИРОВКА БОЛЬНЫХ**
- **БЛОК ПОСЛЕНАРКОЗНОГО ПРОБУЖДЕНИЯ и ОРИТ**
- **СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ С ГАЗАМИ КРОВИ, СНИЖЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АНАЛИЗОВ**

Капнография в кардиохирургии

Suborov E. et al. Eur J Anaesth 2008; 25 (suppl. 44): 5AP3-5; 76.

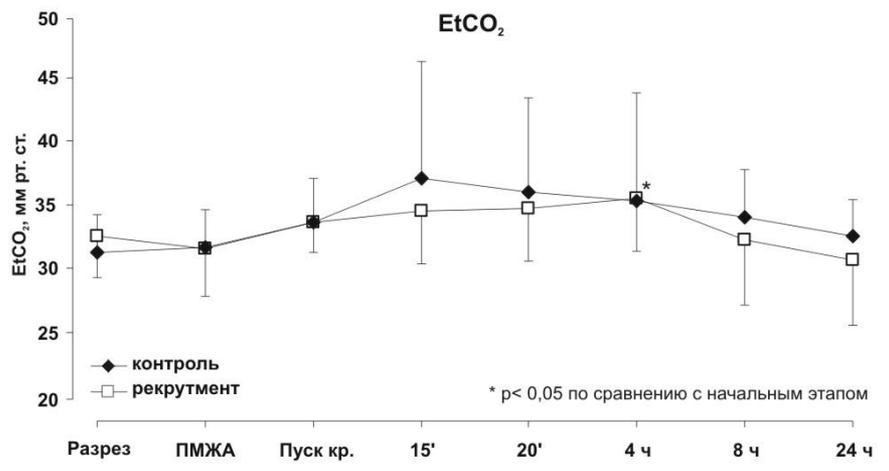
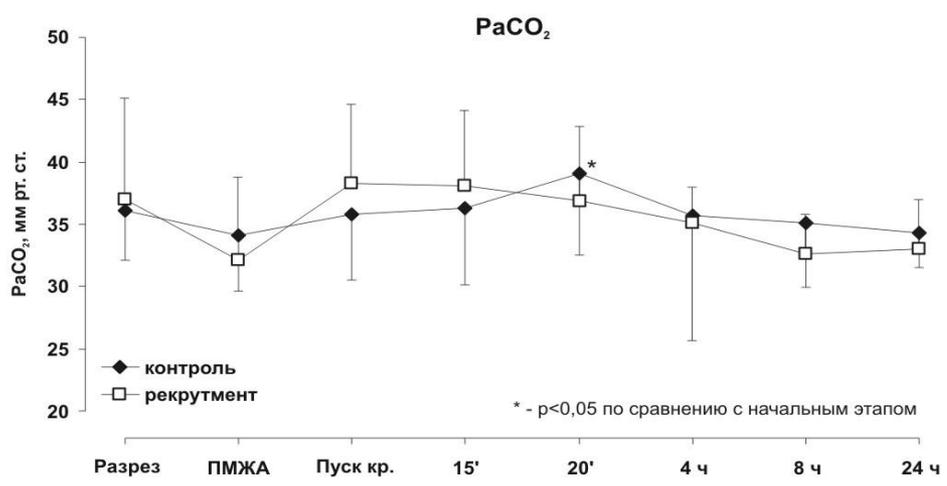
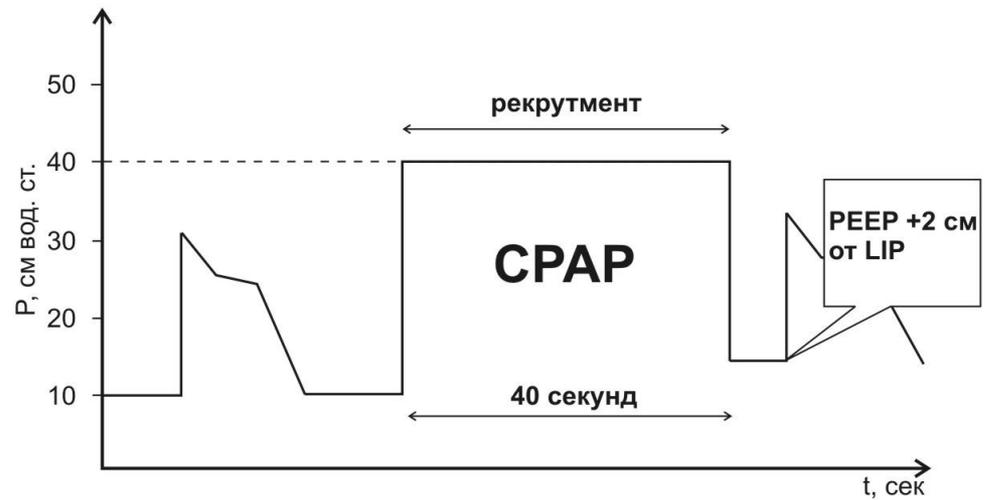
Суборов Е.В. и соавт. Анестезиол. и реаниматол. 2009.

- Кардиохирургические операции – вмешательства высокого риска
- Осложнения в периоперационном периоде (в частности – нарушения функции дыхания, ателектазы)
- Необходимость использования мониторинга функции дыхания в периоперационном периоде
- Предотвращение развития микроателектазов – маневр рекрутмента альвеол
- Эффективность капнографии микропотока и рекрутмента после АКШ без ИК изучена недостаточно

Динамика изменения $PaCO_2$ и $EtCO_2$ при АКШ без ИК

Suborov E. et al. Eur J Anaesth 2008; 25 (suppl. 44): 5AP3-5; 76.

Суборов Е.В. и соавт. Анест. и реаниматол. 2009.



Капнография микропотока при АКШ без ИК

Suborov E. et al. Eur J Anaesth 2008; 25 (suppl. 44): 5AP3-5; 76.

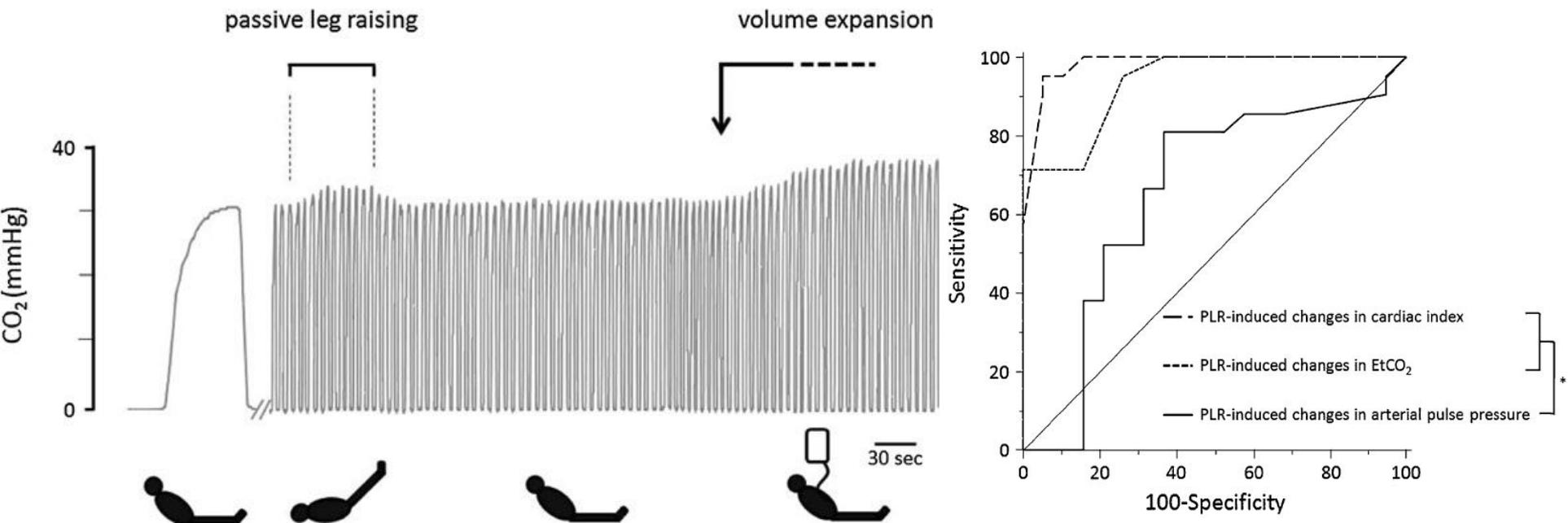
Суборов Е.В. и соавт. Анестезиол. и реаниматол. 2009

- При АКШ на работающем сердце показатель EtCO_2 , измеренный с помощью технологии микропотока, достоверно коррелирует с PaCO_2 и служит критерием адекватно проведенного рекрутмента
- Применение маневра рекрутмента после АКШ может способствовать улучшению газообмена за счет расправления спавшихся альвеол

Оценка восприимчивости к инфузии

Monnet X et al. *Intensive Care Med* 2012, DOI 10.1007/s00134-012-2693-y

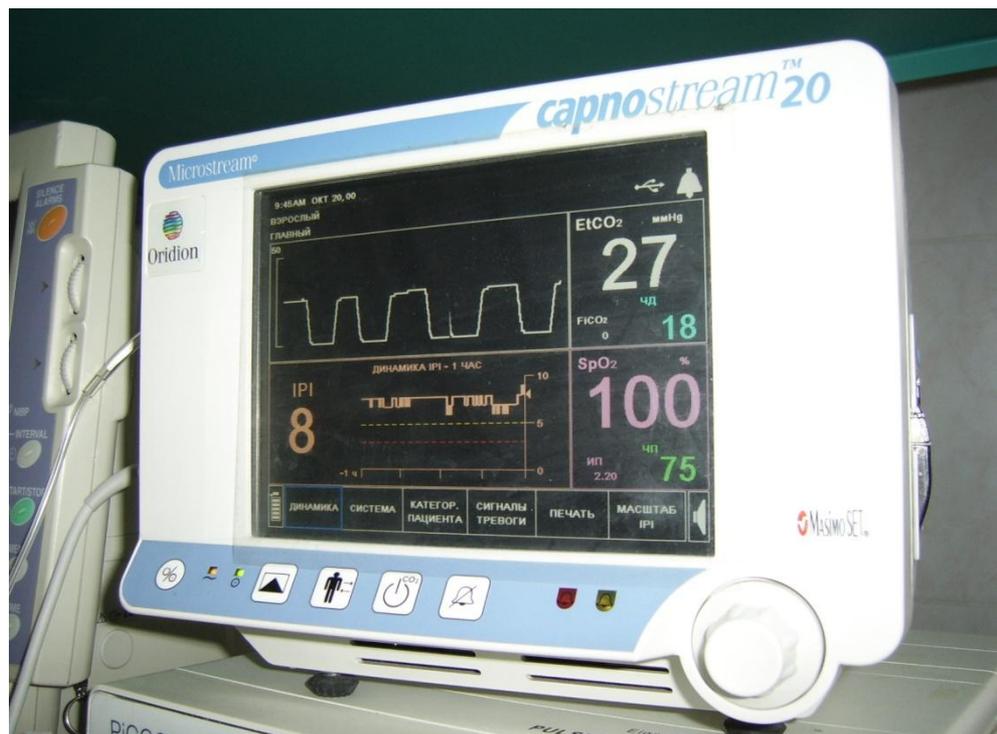
- ✓ Увеличение $\text{EtCO}_2 > 5\%$ после подъема ножного конца кровати предсказывает повышение СИ $> 15\%$ с чувствительностью 71% и специфичностью 100%
- ✓ EtCO_2 предсказывает восприимчивость к инфузионной нагрузке лучше, чем АД



Капнография микропотока: интегрированный легочный индекс (IPI)

Gozal Y, Gozal D. Society for Technology in Anesthesia 2009

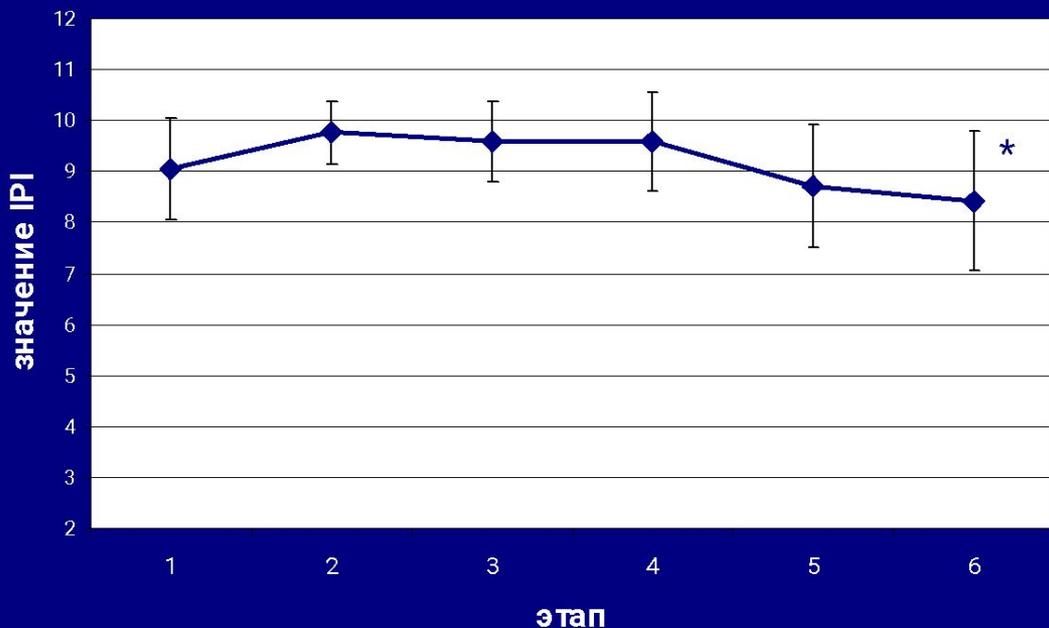
- IPI основан на измерении и взаимосвязи ETCO_2 , ЧД, ЧСС и SpO_2 для экспресс-оценки дыхательного статуса больного
- 8-10 – норма
- 7 – требует внимания
- 5-6 - требует внимания и может потребовать вмешательства
- 3-4 - требует вмешательства
- 1-2 - требует немедленного вмешательства



Интегрированный легочный индекс (IPI) после АКШ

Фот Е.В., Гайдуков К.М. и соавт. Вестник анестезиологии и реаниматологии 2011

динамика изменения IPI



	PaO ₂ /FiO ₂ через 12 ч после экстубации	Длительность ИВЛ в ОИТ (мин)
IPI > 8 Me 95% ДИ	363 (333 – 414)	187 (163 – 260)
IPI ≤ 8 Me 95%ДИ	303 (279 – 356)	270 (190 – 314)
p	0,048	0,155

* Различия по IPI при поступлении в ОИТ и через 12 ч после экстубации (p = 0,027)

Интегрированный легочный индекс (IPI) после АКШ

Фот Е.В., Гайдуков К.М. и соавт., 2011

- В раннем послеоперационном периоде IPI способен прогнозировать нарушения дыхательной функции
- IPI менее 8 при поступлении в ОИТ говорит о необходимости более тщательного мониторинга в раннем постэкстубационном периоде

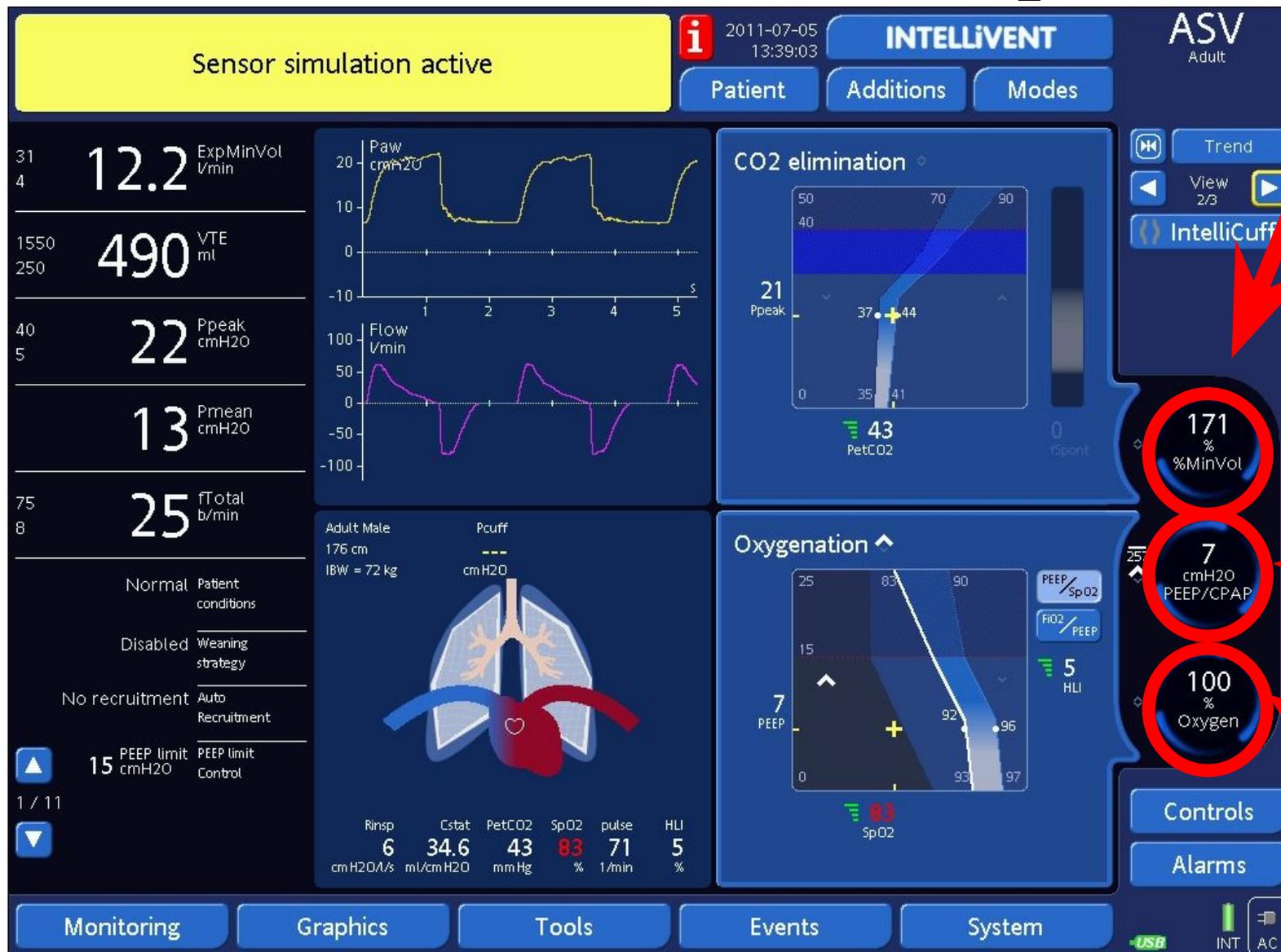
Дополнительные сферы применения капнографии

Scherpereel P., 2013

- Волюметрическая капнография – скрининг ТЭЛА
- Измерение сердечного выброса на основе принципа Фика – NiCO (Novametrics)
- Тонометрия желудка (>25 мм рт. ст. – гипоперфузия ЖКТ)
- Подъязычная капнография – мониторинг перфузии тканей

IntelliVent: обратная связь по оксигенации и элиминации CO₂

Увеличение МОВ

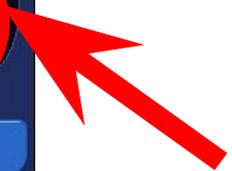


Trend
View 2/3
IntelliCuff

171 %
%MinVol
7 cmH2O
PEEP/CPAP
100 %
Oxygen



Повышение ПДКВ



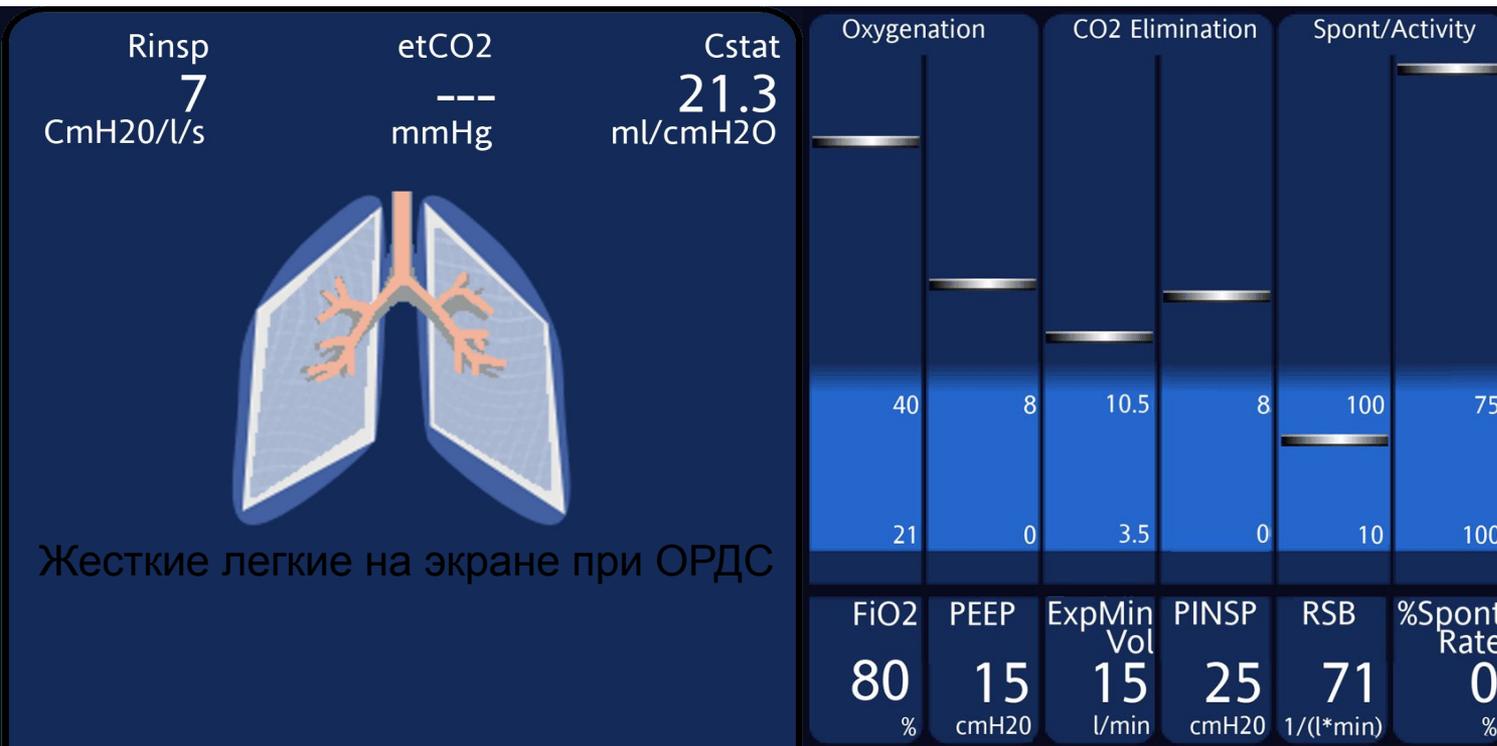
Повышение FiO₂



Jean-Michel Arnal
Marc Wysocki
Dominik Novotni
Didier Demory
Ricardo Lopez
Stéphane Donati
Isabelle Granier
Gaëlle Corno
Jacques Durand-Gasselain

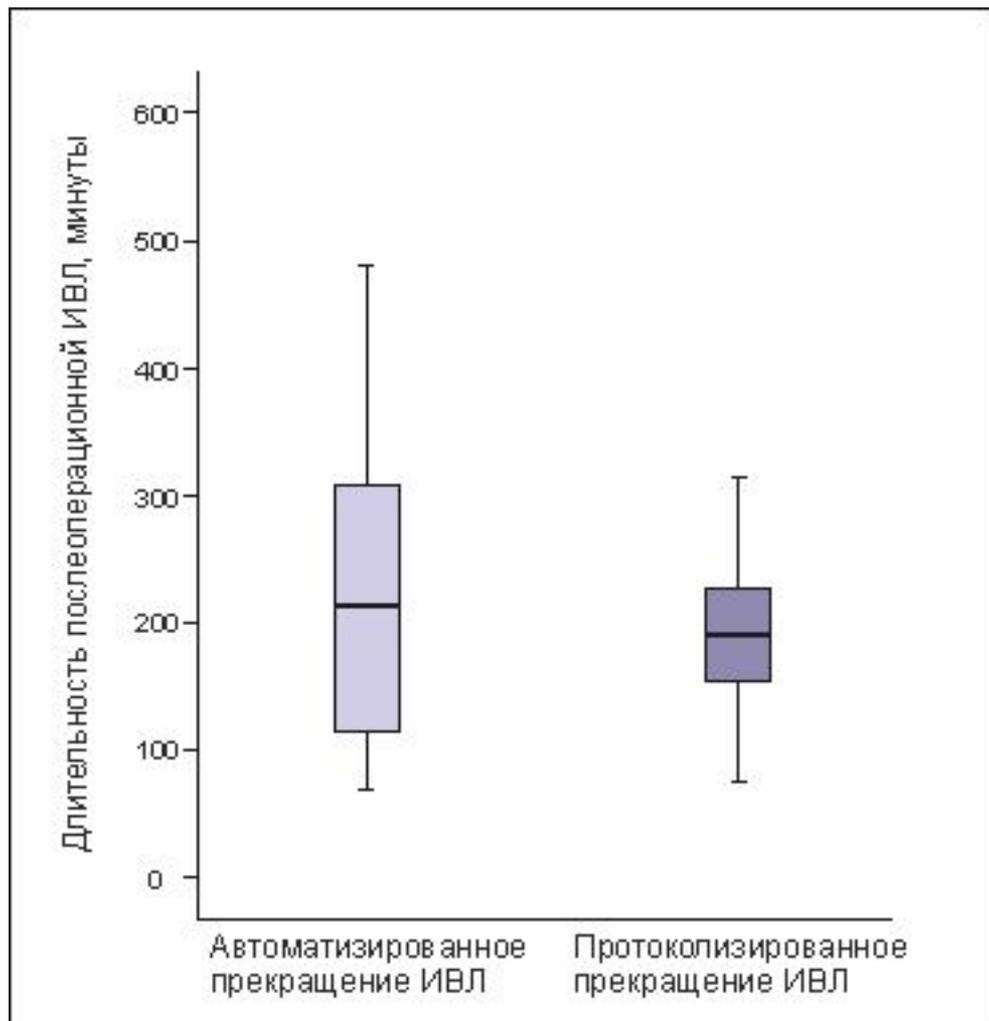
Safety and efficacy of a fully closed-loop control ventilation (IntelliVent-ASV®) in sedated ICU patients with acute respiratory failure: a prospective randomized crossover study

Режим ASV-Intellivent при ОДН позволяет уменьшить дыхательный объем, давление на вдохе и FiO_2



Режим IntelliVent в кардиохирургии

Фот Е.В., 2015



Протоколизированное прекращение ИВЛ требовало активного изменения настроек респиратора:
в среднем 6 раз у одного больного

Автоматизированное отлучение от ИВЛ лишь в одном случае из 20 потребовало активного вмешательства

Эпизоды отклонений от целевых параметров вентиляции отмечали у 18 больных в группе SIMV и у 12 – в группе IntelliVent™ ($p = 0.035$)



Капнография в анестезиологии и реаниматологии: ИВЛ, дыхательная недостаточность, шок, операции высокого риска....



Заключение

Капнография – метод, который должен использоваться в клинической практике для повышения безопасности и улучшения исхода анестезии и интенсивной терапии