

# Основы CO<sub>2</sub> мониторинга

Практическое руководство (по материалам фирмы Datex)  
Новосибирск 1995 г.

## Содержание

1. Введение 2
2. Что такое капнограмма. 3
  - Что такое PetCO<sub>2</sub> 4
3. Как образуется CO<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе 4
  - Отличие PetCO<sub>2</sub> от напряжения CO<sub>2</sub> в артериальной крови 5
  - Небольшое артериально-альвеолярное различие (аАДCO<sub>2</sub>) 5
  - Основные причины увеличения аАДCO<sub>2</sub> 5
4. Почему измеряется PetCO<sub>2</sub> 6
  - Клинические преимущества CO<sub>2</sub> мониторинга 6
  - Использование PetCO<sub>2</sub> для контроля вентиляции 7
  - Физиологические факторы, управляющие удалением CO<sub>2</sub> 7
  - Что такое альвеолярная вентиляция 7
5. Диагностика гипер- и гиповентиляции 7
  - Нормокапния и нормовентиляция 8
  - Гипокапния и гипervентиляция 8
  - Гиперкапния и гиповентиляция 9
6. Интерпретация капнограммы и тренда CO<sub>2</sub> 9
7. Практическое руководство по CO<sub>2</sub> мониторингу 15
  - Основное правило для размещения отборника газа 15
  - Удаление газа с выхода монитора 15
  - Мониторинг при слабых воздушных потоках 15
8. CO<sub>2</sub> мониторинг в посленаркозный период 16
9. Рекомендуемая литература 17
- Приложение 18

Практическое руководство составлено по материалам фирмы Datex научно-производственной фирмой ЗАО "ЛАСПЕК"

Перевод и компьютерная верстка - Д.Е. Грошев





Редактор к.м.н. - О.В. Гришин.

## 1 Введение.

Эти методические рекомендации рассчитаны на анестезиологов и реаниматологов, не знакомых с CO<sub>2</sub>-мониторингом, и имеют целью в простой форме ответить на вопрос: "зачем и как производится CO<sub>2</sub>-мониторинг?". Освоение нескольких основных принципов CO<sub>2</sub>-мониторинга обеспечивает врача богатой информацией о состоянии пациента и функционировании наркозной аппаратуры. Список литературы, рекомендуемой для более подробного изучения, приведен в разделе "Справочная литература".

Проведение CO<sub>2</sub>-мониторинга в анестезиологии и реаниматологии считается очень важным и даже необходимым условием эффективного наблюдения за больным с управляемым или нарушенным дыханием, а также с нормальным дыханием при угрозе его нарушения. Быстрый рост популярности CO<sub>2</sub>-мониторинга отражает его значение в обеспечении безопасности пациента. Многие потенциально опасные ситуации с его помощью обнаруживаются на самых ранних этапах развития, предоставляя врачу достаточное время для анализа и исправления развивающегося критического состояния. Кроме того мониторинг значения концентрации CO<sub>2</sub> в конце выдоха (PetCO<sub>2</sub>) и анализ его тренда дают наиболее объективную диагностическую информацию о состоянии пациента при наркозе.

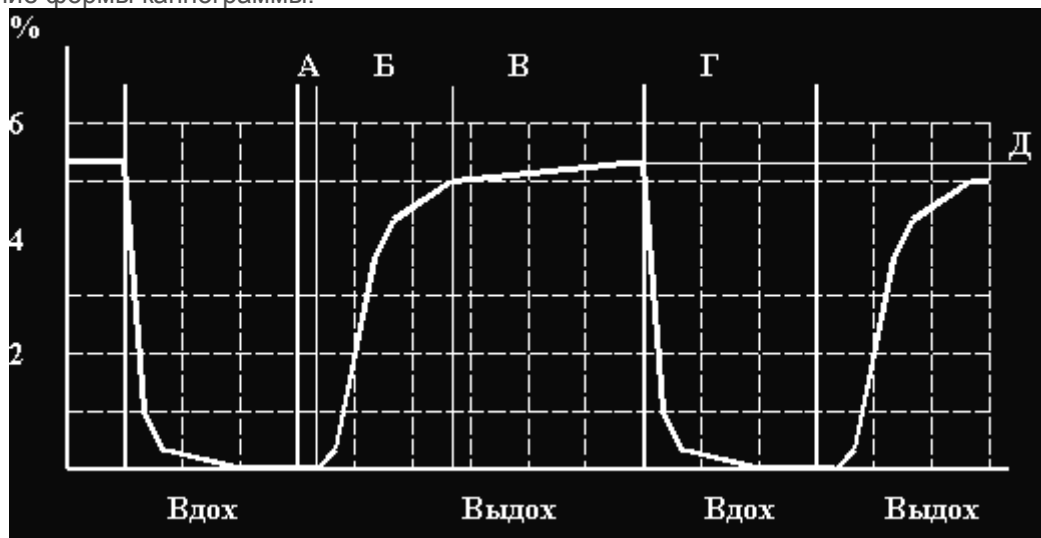
В таблице приведена оценка относительного значения ряда методик для выявления критических ситуаций. (Whitcer C. et al. Anesthetic mishaps and the cost of monitoring: a proposed standart for monitoring equipment. J. Clin Monit 1988; 4:5-15p.).

	большое
	среднее
	низкое
	нет

Пульсоксиметр													
Капнограф	■		■							■			
Спирометр	■	■											
Тонومتر							■						
Фонендоскоп	■												
Галометр							■						
Анализатор O <sub>2</sub>							■						
ЭКГ												■	
Термометр													

## 2. Что такое капнограмма.

Кривая изменения концентрации CO<sub>2</sub> во времени называется капнограммой. Она отражает различные стадии выдоха. Капнограмма является важным диагностическим средством, так как ее форма практически одинакова у здоровых людей. Поэтому следует анализировать любое изменение формы капнограммы.



- А На первой фазе выдоха выдыхается газ из анатомического и аппаратного мертвого пространства\*. Он не содержит CO<sub>2</sub>, так как он не попадал в альвеолы и не участвовал в газообмене.
- Б Эта часть является смесью альвеолярного газа и газа из анатомического мертвого пространства.
- В Участок отражает поступление альвеолярного газа, при этом капнограмма достигает наклоненного под небольшим углом плато. Концентрация CO<sub>2</sub> в конце выдоха (PetCO<sub>2</sub>) регистрируется в конце этого плато.

- Г В начале вдоха капнограмма быстро падает до нулевой линии. Минимальный уровень  $\text{CO}_2$  измеренный в течении фазы вдоха называется концентрацией  $\text{CO}_2$  вдоха (в норме равна 0.03 %).
- Д Максимальное значение капнограммы в конце выдоха автоматически рассчитывается и отображается как значение  $\text{PetCO}_2$ .

\***Мертвым пространством** называется часть воздушных путей, где не происходит газообмен. В случае аппаратного мониторинга  $\text{CO}_2$  в формировании капнограммы выдоха принимают участие следующие типы мертвого пространства. **Механическое** или аппаратное мертвое пространство - состоит из эндотрахеальной трубки и соединительных шлангов. **Анатомическое** мертвое пространство - составляют трахея и бронхи. **Альвеолярное** мертвое пространство - составляет часть дыхательных путей в которой не происходит газообмен, хотя они и вентилируются.

#### Что такое $\text{PetCO}_2$ .

Максимальная концентрация  $\text{CO}_2$  в конце спокойного выдоха  $\text{PetCO}_2$  (end-tidal  $\text{CO}_2$ ) очень тесно связана с альвеолярной концентрацией  $\text{CO}_2$ , так как она регистрируется во время поступления воздуха из альвеол.

### 3. Как образуется $\text{CO}_2$ в выдыхаемом воздухе.

- А Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) выделяется всеми клетками во всех тканях организма, как продукт метаболизма.  $\text{CO}_2$  является конечным продуктом процесса окисления глюкозы, и должен постоянно удаляться из тканей.
- Б Из клеток  $\text{CO}_2$  диффундирует в капиллярную кровь, так как в ней концентрация  $\text{CO}_2$  поддерживается более низкой. Из капиллярной крови  $\text{CO}_2$  далее транспортируется по венам от периферии к правому предсердию.
- В Сердце прокачивает венозную кровь через малый круг кровообращения к легким где происходит газообмен.
- Г Легкие состоят приблизительно из 300 миллионов альвеол, в которых кровь насыщается кислородом при легочном кровообращении. Стенки альвеол являются по существу очень тонкими мембранами (с общей площадью поверхности около  $100\text{m}^2$ ), позволяющими газам легко диффундировать между легочной кровью и альвеолярным воздухом.

$\text{CO}_2$  диффундирует из крови в альвеолярное пространство. При дыхании (или искусственной вентиляции), концентрация  $\text{CO}_2$  в альвеолах постоянно сохраняется ниже, чем в капиллярной крови легких. При вдохе "свежий" воздух поступает в легкие и смешивается с альвеолярным, слегка снижая альвеолярную концентрацию  $\text{CO}_2$ . При выдохе  $\text{CO}_2$  удаляется из организма. Газ, выходящий в конце выдоха, практически полностью соответствует альвеолярному газу.

- Д На протяжении выдоха воздух покидает различные участки легких, смешиваясь так, что  $\text{CO}_2$ -монитор измеряет только усредненную концентрацию  $\text{CO}_2$ . Диффузия  $\text{CO}_2$  на альвеолярном уровне является непрерывным процессом. На капнограмме этот процесс отражается только в последней фазе выдоха. В других фазах наблюдается значительная динамика капнограммы, так как она отражает концентрацию  $\text{CO}_2$  как во вдыхаемом, так и в выдыхаемом воздухе.

#### Отличие $\text{PetCO}_2$ от напряжения $\text{CO}_2$ в артериальной крови.

Сравнительный анализ артериальной крови и альвеолярного воздуха показывает, что величина  $\text{PetCO}_2$  довольно близко отслеживает уровень напряжения  $\text{CO}_2$  в крови ( $\text{PaCO}_2$ ), но все же они не равны. В норме  $\text{PetCO}_2$  на 1-3 мм рт.ст. ниже чем  $\text{PaCO}_2$ . Однако у пациентов с легочной патологией различия могут быть значительно большими. Причины этого сложные и выявление увеличения этого различия дает нам дополнительный диагностический параметр: артериально-альвеолярное различие ( $\text{aADCO}_2$ ). Фактически  $\text{aADCO}_2$  может рассматриваться как количественный показатель альвеолярного мертвого пространства, поэтому значительные его изменения должны исследоваться дополнительно.

#### Небольшое артериально-альвеолярное различие.

Артериально-альвеолярное различие является результатом особенностей процессов вентиляции и перфузии легочных альвеол. Даже у здорового пациента вентиляционно-перфузионное отношения отличаются в разных участках легких. При наркозе несоответствие вентиляции и перфузии обычно слегка возрастает, однако обычно это не имеет клинического значения.

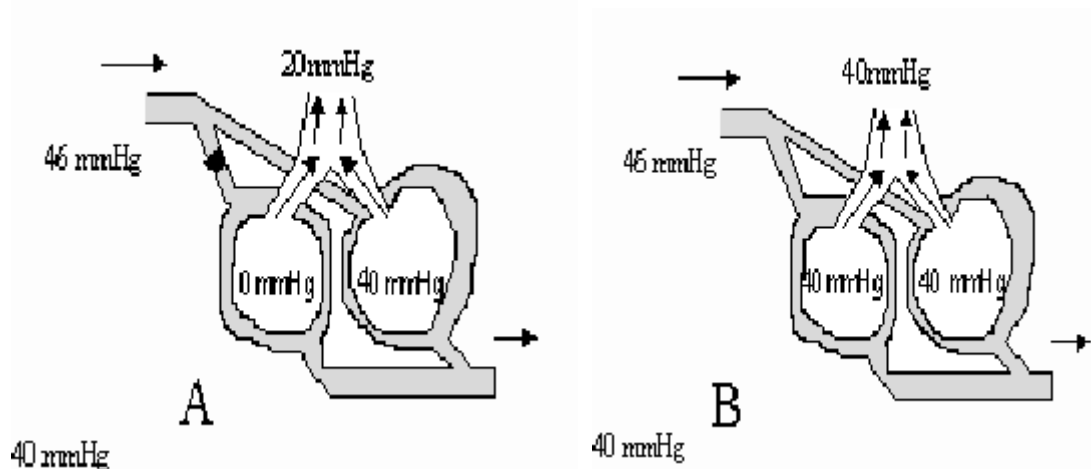
### Основные причины увеличения $a\text{ADCO}_2$ .

Снижение уровня газообмена происходит в той части респираторных отделов легких, которые не имеет достаточной перфузии, но тем не менее хорошо вентилируется. При выдохе воздух из этих участков легких будет смешиваться с обогащенным  $\text{CO}_2$  альвеолярным воздухом из остальных участков легких, уменьшая  $\text{PetCO}_2$ . При этом  $a\text{ADCO}_2$  будет увеличено. Такая вентиляция называется вентиляцией альвеолярного мертвого пространства.

Возможными причинами вызывающими увеличение  $a\text{ACO}_2$  являются:

- положение пациента (положение на боку)
- легочная гипоперфузия
- легочная тромбоэмболия.

Рисунок **A** иллюстрирует эффект вентиляции альвеолярного мертвого пространства. В половине легких нет перфузии и, следовательно, газообмена. При выдохе альвеолярный газ смешивается и результирующая концентрация  $\text{PetCO}_2$  будет в два раза меньше, чем  $\text{PaCO}_2$  в крови. Для сравнения рисунок **B** иллюстрирует идеальную ситуацию, когда перфузия происходит во всем объеме легких и  $\text{PetCO}_2 = \text{PaCO}_2 = \text{PaCO}_2$ .



### 4. Почему измеряется $\text{PetCO}_2$ .

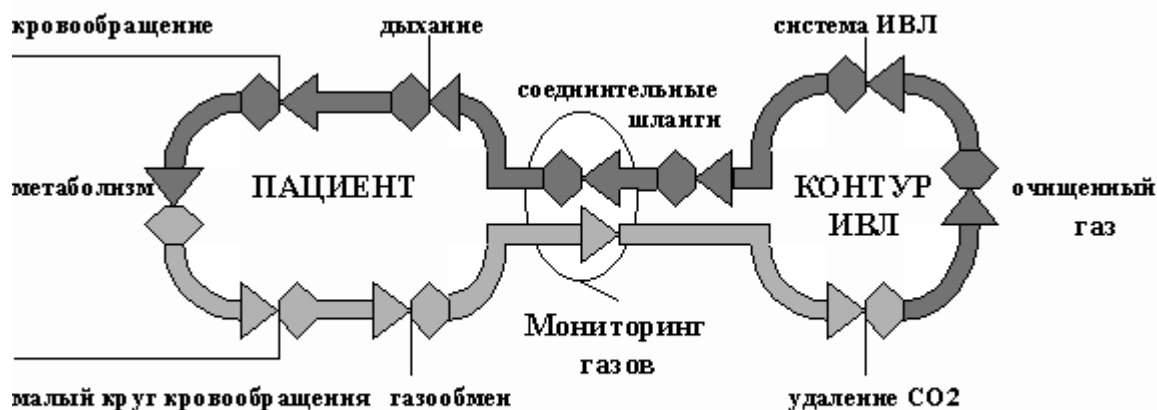
$\text{CO}_2$  мониторинг дает информацию как о состоянии пациента, так и о системе обеспечения ИВЛ. Так как концентрация  $\text{CO}_2$  зависит от многих факторов, она редко является достаточной для постановки специфического диагноза. Однако монитирование  $\text{CO}_2$  с быстродействующей индикацией и отображением концентрации  $\text{CO}_2$  в каждом выдохе обеспечивает достаточный запас времени для принятия необходимых мер по исправлению ситуации.

#### Клинические преимущества $\text{CO}_2$ мониторинга.

В условиях стабильного состояния пациента (ИВЛ в сочетании с нормальной гемодинамикой) концентрация  $\text{CO}_2$  тесно связана с изменением напряжения  $\text{CO}_2$  в крови и, следовательно, является неинвазивным методом контроля  $\text{PaCO}_2$ . Выделение  $\text{CO}_2$  - величина довольно стабильная, поэтому резкие изменения  $\text{PetCO}_2$  обычно отражают либо изменения кровообращения в малом круге (например легочную эмболию), либо легочной вентиляции (например отсоединение трубки или избыточная ИВЛ - гипервентиляция).

**Использование мониторинга  $\text{CO}_2$  позволяет:**

- Быстро определить правильность интубации трахеи.
- Быстро выявить нарушения в воздушном тракте (коннектор интубационной трубки, интубационная трубка, дыхательные пути) или в системе подачи воздуха (аппарат ИВЛ).
- Объективно, непрерывно, неинвазивно контролировать адекватность вентиляции.
- Распознавать нарушения в газообмене, легочном кровообращении и метаболизме.
- Обеспечивает контроль безопасного использования малопотоковых наркотических методик с присущим им экономичным расходом ингаляционных анестетиков.
- Уменьшает необходимость в частых рутинных анализах газа крови, так как тренд  $\text{PetCO}_2$  отражает тренд  $\text{PaCO}_2$ . Газоанализ крови становится необходим в случаях значимого отклонения тренда  $\text{PetCO}_2$ .



### Общепринятые термины мониторинга $\text{CO}_2$

“капно” - означает уровень  $\text{CO}_2$  при выдохе (от греческого “карнос” курить); “гипер” - значит слишком много; “гипо” - значит слишком мало.

### Использование $\text{PetCO}_2$ для контроля вентиляции.

В норме при спокойном естественном дыхании газообменная функция легких обеспечивает парциальное давление  $\text{CO}_2$  в крови ( $\text{PaCO}_2$ ) около 40 мм рт.ст. Это происходит путем регулирования частоты и глубины дыхания. При увеличении выделения  $\text{CO}_2$  (например, при физических нагрузках) пропорционально возрастает частота и глубина дыхания. Во время наркоза с применением мышечных релаксантов, анестезиолог должен обеспечить надлежащий уровень вентиляции. Обычно этот уровень оценивается путем расчета необходимой вентиляции по номограммам. Гораздо более эффективный способ контроля адекватной вентиляции основан на мониторинге  $\text{CO}_2$ .

### Физиологические факторы, управляющие удалением $\text{CO}_2$ .

Удаление  $\text{CO}_2$  зависит от 3-х факторов: скорости метаболизма, состояния системы легочного кровообращения и состояния системы альвеолярной вентиляции.

Необходимо помнить, что эти 3 фактора взаимосвязаны. Изменение кислотно-основного баланса (или состояния КОС), вызванное различными причинами, может так же влиять на удаление  $\text{CO}_2$ . Опыт диагностики различных критических ситуаций во время ИВЛ приходит довольно быстро. Так, если стационарное значение  $\text{CO}_2$  возрастает при постоянной вентиляции, изменения в  $\text{PetCO}_2$  обычно возникают из-за изменения в легочном кровообращении. При этом следует обратить внимание на изменения метаболизма или КОС.

В процессе наркоза, скорость метаболизма обычно меняется слабо (основным исключением является редкий случай злокачественной гипертермии, который вызывает резкий рост  $\text{PetCO}_2$ .)

### Что такое альвеолярная вентиляция.

Когда уровень вентиляции устанавливается, поддерживая стабильное и в пределах нормы  $\text{PetCO}_2$ , то нет необходимости проводить какие-либо расчеты. Вместе с тем, чтобы быть готовым к любой ситуации, полезно знать особенности легочной вентиляции. Как уже говорилось, часть воздуха при дыхании не достигает альвеол и остается в механическом (соединительный коннектор, клапанная коробка, эндотрахеальная трубка) и анатомическом (трахея, бронхиальное дерево) мертвом пространстве, где газообмен не происходит. Чтобы рассчитать объем альвеолярной вентиляции в л/мин, который собственно и обеспечивает газообмен в легких, необходимо вычесть объем общего мертвого пространства из дыхательного объема. Умножив объем воздуха, проникающего в альвеолярные пространства, на частоту дыхания, можно получить альвеолярную минутную вентиляцию - показатель эффективной вентиляции.

### 5. Диагностика гипер- и гиповентиляции.

После начала наркоза и проведения интубации трахеи, анестезия обычно поддерживается системой искусственной вентиляции в стационарном состоянии выделения  $\text{CO}_2$ . Заметим, что в течении продолжительной операции (более 1.5 часов), из-за угнетающего действия анестетиков и развивающейся гипотермии, слегка снижается метаболизм пациента и наблюдается постепенное уменьшение  $\text{PetCO}_2$

Далее мы рассмотрим случаи резкого и постепенного изменения концентрации  $\text{CO}_2$  при наблюдении тренда  $\text{PetCO}_2$  и формы капнограммы в реальном времени.

### Нормокапния и нормовентиляция.



Альвеолярная вентиляция обычно устанавливается так, чтобы обеспечить нормокапнию - то есть PetCO<sub>2</sub> должно находиться в диапазоне 4.8 - 5.7 % (36 -43 мм рт.ст.). Такая вентиляция называется **нормовентиляцией**, так как она характерна для здоровых людей. Иногда альвеолярную вентиляцию при ИВЛ устанавливают с легкой гипервентиляцией (PetCO<sub>2</sub> 4-5%, 30-38 мм рт.ст.).

#### Преимущества нормовентиляции.

При поддержании нормовентиляции гораздо легче распознается развитие критических ситуаций: нарушения альвеолярной вентиляции, кровообращения или метаболизма. Спонтанное дыхание восстанавливается более легко. Кроме того, восстановление в посленаркозном периоде происходит гораздо быстрее.

#### Гипокапния и гипервентиляция.



Уровень PetCO<sub>2</sub> ниже 4.5% (34 мм.рт.ст.) называется гипокапнией. **При наркозе** наиболее частым случаем гипокапнии является слишком высокая альвеолярная вентиляция (гипервентиляция).

**В после-наркозный период** гипокапния при спонтанном дыхании пациента может быть результатом гипервентиляции вызванной страхом, болью или развивающимся шоком.

#### Недостатки длительной гипервентиляции.

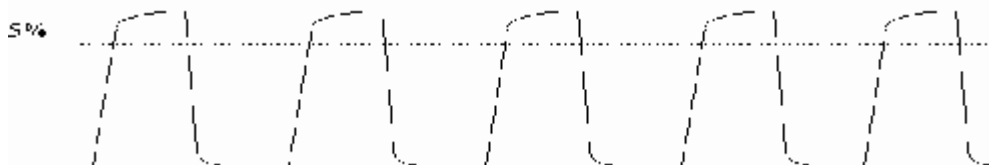
К сожалению до сих пор распространенной практикой при ИВЛ является гипервентиляция пациента, которая по общепринятому мнению необходима для обеспечения адекватной оксигенации и даже для углубления наркоза. Однако современные лекарственные средства и способы мониторинга могут обеспечить лучшую оксигенацию и анестезию без гипервентиляции "на всякий случай".

Гипервентиляция имеет достаточно серьезные недостатки:

вазokonстрикция, приводящая к снижению коронарного и церебрального кровотока;  
избыточный дыхательный алкалоз;  
угнетение дыхательных центров;

Все эти факторы приводят к более трудному и продолжительному восстановлению в посленаркозный период.

#### Гиперкапния и гиповентиляция.



Превышение PetCO<sub>2</sub> уровня 6.0% (45 мм рт.ст. при P<sub>атм</sub>=760) называется гиперкапнией. Наиболее распространенной причиной гиперкапнии при наркозе является недостаточность альвеолярной вентиляции (гиповентиляция), обусловленная низким уровнем дыхательного объема и (или) частоты дыхания. Кроме того, в закрытом контуре ИВЛ продолжительная гиперкапния может быть вызвана недостаточно полным поглощением CO<sub>2</sub>. На капнограмме это проявляется в том, что концентрация CO<sub>2</sub> в фазе вдоха не падает до нулевого уровня.

**В после-наркозный период** продолжительная гиперкапния при спонтанном дыхании пациента может быть вызвана:

- остаточным нейромышечным блоком;
- медикаментозным подавлением дыхательных центров;
- болевым ограничением дыхания (особенно после операции на органах брюшной полости).

Заметим, что гиперкапния может сопровождаться гипоксией, однако это не обязательно. Гипоксическое состояние наступает позже гиперкапнии при более низких значениях альвеолярной вентиляции.

Дополнительными клиническими проявлениями гиперкапнии являются: тахикардия, появление испарины, повышение напряжения, головная боль, беспокойство. При продолжительной гиперкапнии возникают нежелательные побочные эффекты, такие как склонность к сердечной аритмии (при воздействии летучих анестетиков), увеличение сердечного выброса, увеличение внутричерепного давления, легочная вазоконстрикция и периферическая вазодилатация.

### 6. Интерпретация капнограммы и тренда $\text{CO}_2$ .

Мониторы  $\text{CO}_2$  обычно отображают кривую изменения концентрации  $\text{CO}_2$  каждого выдоха в реальном времени (капнограмму) и тренд  $\text{PetCO}_2$  за 30 минут. Резкие изменения в выделении  $\text{CO}_2$  хорошо заметны на капнограмме выдоха, в то время как постепенные изменения лучше заметны по тренду  $\text{CO}_2$ .

#### Нормальная капнограмма.



Капнограмма здорового человека при искусственной вентиляции имеет нормальную форму. Любое значительное отклонение от нормальной формы капнограммы отражает нарушение в дыхательной системе, комплексные или механические нарушения в контуре ИВЛ.

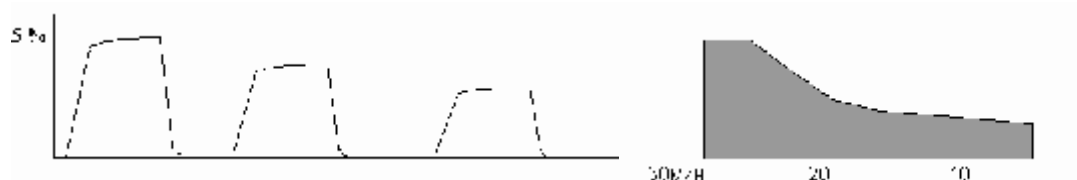
**$\text{CO}_2$  резко перестал обнаруживаться.**



Если капнограмма имела нормальный вид, а затем резко оборвалась до нуля, за один выдох, наиболее вероятной причиной является нарушение герметичности контура вентиляции.

Другой возможной причиной является полная обструкция дыхательного тракта, например вызванная перекручиванием (перегибом) интубационной трубки.

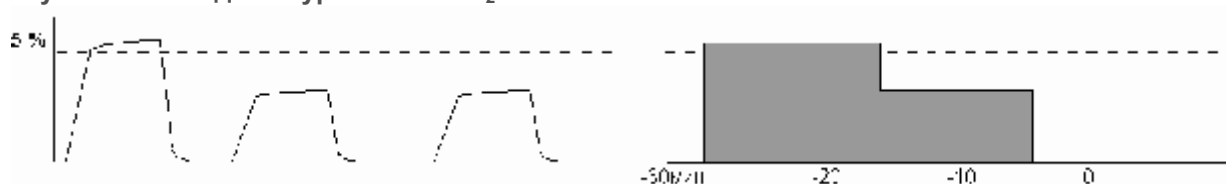
**Экспоненциальное падение  $\text{PetCO}_2$ .**



Быстрое падение  $\text{PetCO}_2$  за несколько дыхательных циклов может указывать на:

- выраженную легочную эмболию
- остановку сердца
- значительное падение артериального давления (сильная кровопотеря)
- выраженную гипервентиляцию (за счет ИВЛ).

**Ступенчатое падение уровня  $\text{PetCO}_2$**

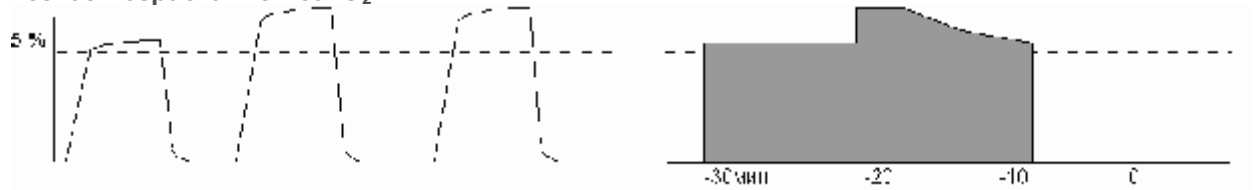


Наиболее вероятной причиной резкого (но не до нуля) падения уровня  $\text{PetCO}_2$  является:

- Перемещение эндотрахеальной трубки в один из главных бронхов, (например при изменении положения пациента).

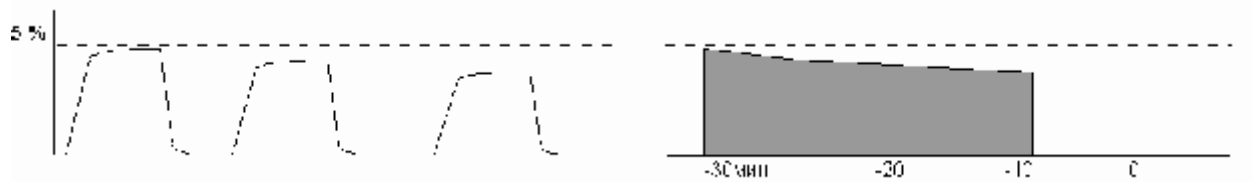
- Внезапная частичная обструкция воздушных путей.

#### Резкое возрастание PetCO<sub>2</sub>.



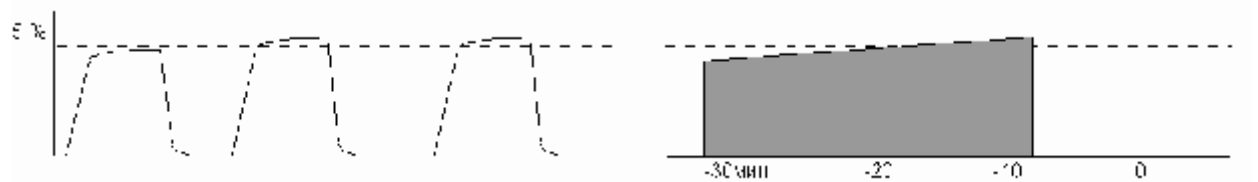
Внезапно появившееся резкое, но плавно проходящее возрастание PetCO<sub>2</sub>, при концентрации CO<sub>2</sub> во вдыхаемом воздухе равной нулю, может быть вызвано внутривенным введением бикарбоната.

#### Постепенное снижение PetCO<sub>2</sub>.



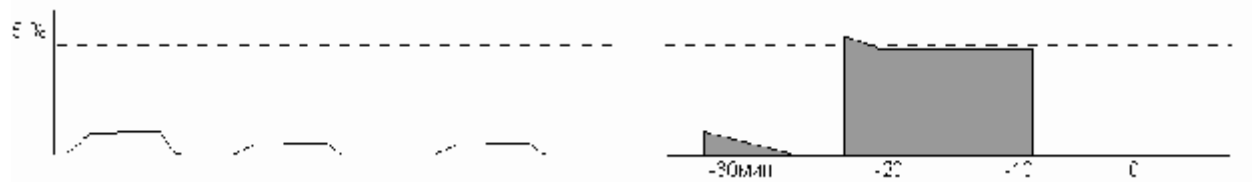
Постепенное снижение PetCO<sub>2</sub> в течении нескольких минут может быть вызвано возрастанием минутной вентиляции, падением сердечного выброса, или ухудшением перфузии.

#### Постепенное возрастание PetCO<sub>2</sub>



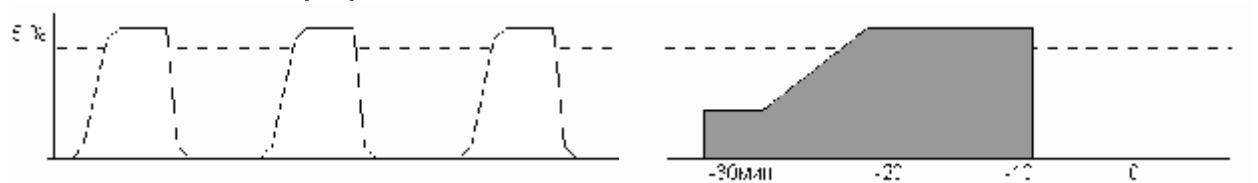
Постепенное возрастание PetCO<sub>2</sub> в течении нескольких минут может быть вызвано наступлением гиповентиляции, возрастанием скорости метаболизма в результате реакции пациента на стрессовое воздействие (боль, страх, повреждение и т.п.).

#### Интубация пищевода.



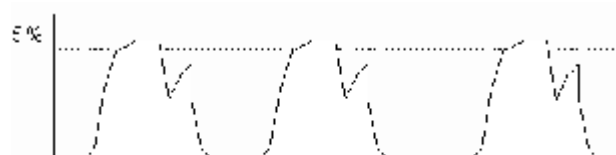
При интубации пищевода небольшая концентрация CO<sub>2</sub> может регистрироваться, благодаря ручной вентиляции через рот. После извлечения эндотрахеальной трубки и успешного ее введения некоторое время наблюдается повышенное значение PetCO<sub>2</sub> из-за накопления CO<sub>2</sub> при апноэ.

#### Злокачественная гипертермия.



Монитор CO<sub>2</sub> является быстродействующим индикатором злокачественной гипертермии. Быстрое возрастание скорости метаболизма легко обнаруживается по возрастанию PetCO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> вдоха остается нулевым).

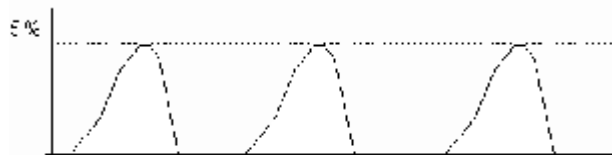
#### Неполная мышечная релаксация.





При неполной мышечная релаксация и недостаточной глубине наркоза у больного сохраняется собственное дыхание "работающее" против ИВЛ. Это неглубокое спонтанное дыхание вызывает провалы на капнограмме.

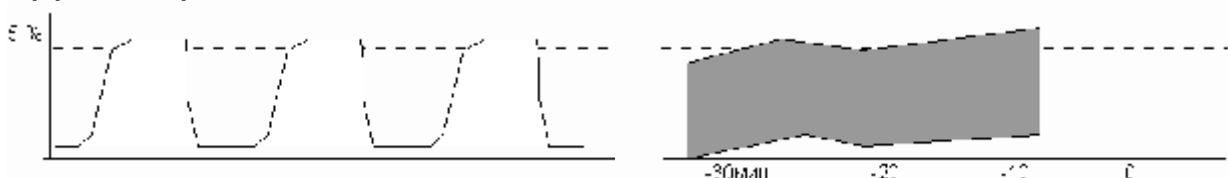
#### Частичная обструкция дыхательных путей.



Искаженная форма капнограммы (с медленной скоростью нарастания) может указывать на частичную обструкцию воздушных путей. Возможной причиной обструкции может быть:

- генерализованный бронхоспазм,
- слизь в дыхательных путях,
- перегиб эндотрахеальной трубки.

#### Эффект возвратного дыхания.



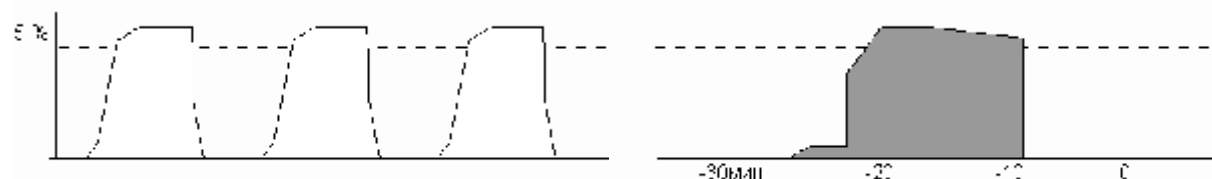
Возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  вдоха отражает эффект возвратного дыхания, заключающийся в том, что пациент вдыхает  $\text{CO}_2$  выдохнутый им в замкнутый контур ИВЛ (неполное поглощение  $\text{CO}_2$  в контуре прибора ИВЛ).

#### Осцилляции капнограммы при сердечных сокращениях.



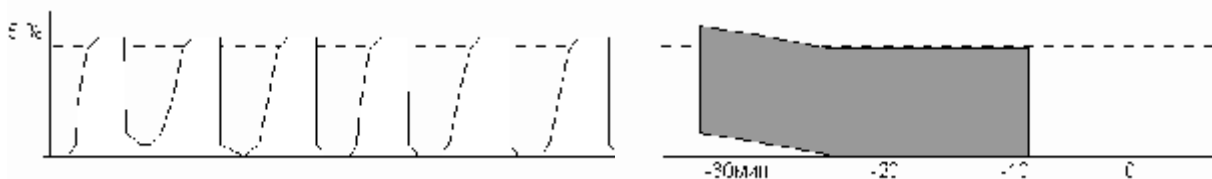
При слабом дыхании (особенно во второй половине выдоха при крайне низких скоростях потока) сердечные сокращения могут проявляться на спадающем участке капнограммы. Осцилляции капнограммы происходят из-за движения сердца против диафрагмы, вызывающего прерывистый поток воздуха в сторону эндотрахеальной трубки.

#### Восстановление естественного дыхания.



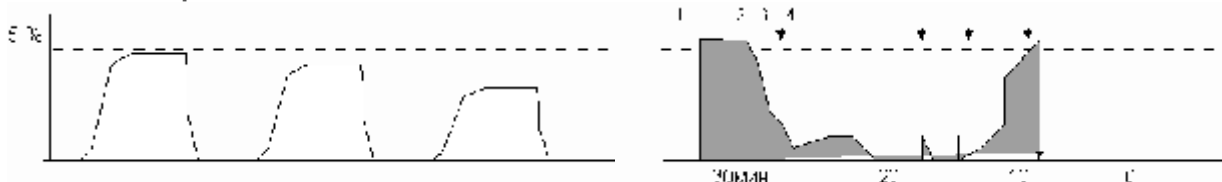
В критической ситуации пациента обычно вручную вентилируют 100% кислородом. При этом намеренно допускают рост  $\text{PetCO}_2$ , чтобы запустить спонтанное дыхание. После чего пациент с не нарушенной вентиляцией быстро достигает удовлетворительной альвеолярной вентиляции.

#### Детская капнограмма.



На рисунке приведена типичная капнограмма, получаемая при использовании системы дыхания Jackson-Rees в детской анестезии. Начальное возвратное дыхание вызвано недостаточной очисткой газового потока, что было в дальнейшем скорректировано. Отчетливое альвеолярное плато подтверждает, что регистрируется "реальное" значение  $\text{PetCO}_2$ .

## Остановка сердца.



Быстрый спад высоты капнограммы, при сохранении правильной формы показывает резкое падение легочной перфузии из-за слабого сердечного выброса (1). При сердечной асистолии  $\text{CO}_2$  не транспортируется к альвеолам легочным кровотоком (2). Начинается эффективная кардиопульмональная реанимация (3). Восстановление кровотока подтверждается ростом капнограммы.

Тренд  $\text{CO}_2$  и капнограмма в реальном времени помогут Вам оценить всю процедуру и ее эффективность.

### 7. Практическое руководство по $\text{CO}_2$ мониторингу.

Мониторы  $\text{CO}_2$  используют для измерения небольшие количества газа, который непрерывно забирается из воздушного тракта пациента (150 - 200 ml/min). Монитор с боковым отбором газа может использоваться со всеми типами контуров анестезии. Для мониторинга  $\text{CO}_2$  при естественном дыхании используется носовой адаптер.

#### Основное правило для размещения отборника газа.

Размещайте адаптер отбора газа как можно ближе к рту или носу пациента. Таким образом вы исключаете нежелательное "мертвое пространство" между местом отбора газа и пациентом, и измеренная концентрация  $\text{PetCO}_2$  будет точнее соответствовать уровню альвеолярного  $\text{CO}_2$ . Когда для нагрева и увлажнения вдыхаемого воздуха используются нагреватель и влагообменник, адаптер отбора газа должен быть расположен между эндотрахеальной трубкой и нагревателем, и влагообменником.

В частности, когда используется закрытый контур вентиляции, адаптер отбора газа должен быть расположен возле эндотрахеальной трубки, чтобы предотвратить смешивание очищенного и выдохнутого газов.

Соединительные трубки не должны очищаться после использования. Очистка химическими веществами может испортить внутреннюю поверхность трубок и увеличить сопротивление потоку газа.

Стальные газоотборные адаптеры являются многоразовыми и могут быть стерилизованы, но пластиковые адаптеры предназначены только для одного пациента.

Используйте только фирменные трубки и адаптеры. Применение других образцов может привести к неправильным измерениям.

До использования воздухопроводные трубки и адаптеры должны быть визуально проверены.

#### Удаление газа с выхода монитора.

Из выходного штуцера прибора газ выходит с достаточным давлением. Для предотвращения загрязнения воздуха палаты анестезионными газами, выходная трубка монитора должна подключаться к шлангу вытяжной вентиляции.

#### Мониторинг при слабых воздушных потоках.

Небольшие объемы газа, которые отбираются для мониторинга, обычно удаляются. Однако если в закрытой системе используются ультразвуковые потоки, газ после анализа должен быть возвращен в ветвь выдоха дыхательного контура.

### 8. $\text{CO}_2$ мониторинг в посленаркозный период.

С помощью носового адаптера отбора газа  $\text{CO}_2$  монитор позволяет непрерывно измерять  $\text{PetCO}_2$  у пациента со спонтанным дыханием. При этом  $\text{CO}_2$  мониторинг является прекрасным методом для выявления апноэ или угнетения дыхательных центров.

Если пациент остается под искусственной вентиляцией  $\text{CO}_2$  монитор позволяет Вам оценить необходимый уровень вентиляции пациента непрерывно и неинвазивно.

Часто нарушение вентиляционно-перфузного отношения, вызванное легочной патологией проявляется в артериально-альвеолярном различии ( $\text{aA}\text{DCO}_2$ ). Измерение концентрации  $\text{CO}_2$  в артериальной крови и сравнение его с  $\text{PetCO}_2$  дает оценку состояния легких. Причины изменения  $\text{aA}\text{DCO}_2$  обязательно должны быть выяснены.

#### Рекомендуемая литература.

1. Nunn JF. Applied Respiratory Physiology, 2nd edition London: Butterworth, 1977.
2. Smalhout B, Kalenda Z. An Atlas of Capnography, 2nd edition. The Netherlands: Kerckedosh-Zeist, 1981
3. Kalenda Z. Mastering Infrared Capnography. The Netherlands: Kerckebosh-Zeist, 1989

4. Paloheimo M, Valli M, Ahjopalo H. A Guide to CO<sub>2</sub> Monitoring. Helsinki, Finland: Datex Instrumentarium Corp, 1983
5. Lindoff B, Brauer K. Klinick Gasanalys. Lund, Sweden: KF-Sigma, 1988
6. Lillie PE, Roberts JG. Carbon Dioxide Monitoring. Anaesth Intens Care 1988;16:41-44
7. Salem MR. Hypercapnia, Hypocapnia and Hypoxemia. Seminars in Anesthesia 1987;3:202-15
8. Swedlow DB. Capnometry and Capnography: The Anesthesia Disaster Early Warning System. Seminars in Anesthesia 1986;3:194-205
9. Ward SA. The Capnogram: Scope and Limitations. Seminars in Anesthesia 1987;3:216-228
10. Gravenstein N, Lampotang S, Beneken JEM. Factors influencing capnography in the Bain circuit. J Clin Monit 1985;1:6-10
11. Badgwell JM et al. Fresh Gas Formulae do not accurately predict End-Tidal PCO<sub>2</sub> in Pediatric Patients. Can J Anaesth 1988;35:6/581-6
12. Lenz G, Kloss TH, Schorer R. Grundlagen und anwendungen der Kapnometrie. Anasthesie und Intensivmedizin 4/1985; vol 26: 133-141

#### **Приложение 1**

##### **“ГАРВАРДСКИЙ СТАНДАРТ” минимального анестезиологического мониторинга (1985).**

- Обязательное присутствие анестезиолога в течении всего времени проведения общей и региональной анестезии.
- Артериальное давление и частота пульса (каждые 5 минут).
- Электрокардиография.
- Постоянный мониторинг/вентиляция и гемодинамика/.
- для вентиляции: наблюдение за размерами дыхательного мешка, аускультация дыхательных шумов, мониторинг вдыхаемых и выдыхаемых газов (PetCO<sub>2</sub>).
- для кровообращения: пальпация пульса, аускультация сердечных тонов, наблюдение за кривой артериального давления, пульсовая плетизмография или оксиметрия.
- Мониторинг разгерметизации дыхательного контура с звуковым сигналом.
- Кислородный анализатор с заданным уровнем тревоги по минимальной концентрации кислорода.
- Измерение температуры.