



# Испарители

Др. Варвинский

Андрей Михайлович

Консультант-Анестезиолог  
Больница Торбэй, г.Торки, Девон  
Великобритания

# Графство собаки Баскервилей



# Torbay Hospital



# Пар

- Пар – это газообразное вещество и при комнатной температуре и давлении может существовать в виде жидкости.
- Очень легко конденсируется назад в жидкость и легко испаряется

# Пар или газ

- Для любого газа существует максимальная (критическая) температура, при которой его можно превратить в жидкость с помощью давления
- Выше этой температуры этого сделать невозможно, независимо от приложенного давления
- Поэтому выше этой температуры это пар
- Критическая  $T$  варьирует для разных веществ
- Например, для закиси азота  $36.5^{\circ}\text{C}$ . Поэтому при комнатной  $T$  это пар и под давлением в баллоне существует в виде жидкости и пара
- Если анестезия проводится при  $T$  выше критической, то закись ведет себя только как газ
- Кислород – это газ при любом климате, если только его не охладить до  $-118^{\circ}\text{C}$  (его критическая  $T$ ). Поэтому жидкий кислород хранится ниже этой температуры

# Летучие анестетики

- То что мы называем «летучими анестетиками» - это жидкости при комнатной температуре и атмосферном давлении
- Жидкость состоит из молекул в постоянном движении и взаимном притяжении
- Если поверхность жидкости открыта атмосфере, то некоторые молекулы выходят из жидкости, когда их энергия превышает энергию притяжения между молекулами жидкости
- Это и называется процессом испарения, который повышается при увеличении  $T$
- Летучие анестетики легко испаряются и не нуждаются в подогреве для образования пара

# Летучие анестетики

- Если налить летучего анестетика в закрытую ёмкость, то со временем пар высвобождаемый из жидкости накапливается над жидкостью
- По мере накопления молекулы движутся беспорядочно и создают определенное давление
- Некоторые молекулы будут снова входить назад в жидкость
- В конце концов процесс достигает эквиприума, при котором количество выходящих и входящих молекул равно

# Давление насыщенного пара

- Давление насыщенного пара (ДНП) – это давление осуществляемое молекулами пара в состоянии равновесия
- Если жидкость находится в незакрытой ёмкости, то процесс испарения продолжается, пока весь препарат не превратится из жидкости в пар и не улетучится в атмосферу
- Оставьте флакон с фторотаном незакрытым и в нем ничего не останется через пару часов



# Скрытая теплота испарения

- Чтобы конвертировать вещество из газа в пар требуется энергия
- СТИ определяется как количество энергии необходимое для конвертации 1г жидкости в пар без изменения  $T$ .
- Чем летучее жидкость, тем меньше энергии требуется
- СТИ выражается в  $\text{kJ/g}$  или  $\text{kJ/mol}$ , т.к. разные вещества имеют разный молекулярный вес
- Если энергия не приходит извне, то она берется из самой жидкости
- Это ведет к охлаждению жидкости
- Капните фторотана или эфира себе на руку и почувствуйте охлаждение при испарении, т.к. тепло берется с Вашей кожи

# Летучесть

- Это термин соединяющий ЛТИ и ДСП
- Чем летучее анестетик, тем меньше энергии надо для конвертации жидкости в пар и
- Этот пар создаёт большее давление при данной  $T$
- Летучесть зависит от конкретного анестетика и  $T$
- Севофлюран более летучий, чем фторотан или изофлюран

# Пример 1

- Снимите крышку с банки с краской и Вы почувствуете запах
- Сначала запах сильный, т.к. пар сконцентрирован в банке. Он находится в равновесии с краской. Он «сатурирован» (насыщен)
- Вскоре после открытия крышки запах уменьшается
- Пар ушел в атмосферу и т.к. краска малолетуча, то пара из неё получается немного
- Если оставить банку открытой, то краска затвердеет быстрее, чем улетучится.

## Пример 2

- Сравните с бензином, который более летучий
- Если оставить канистру с ним открытой, то запах остаётся сильным дольше
- Вскоре совсем не останется бензина. Он весь испарился в атмосферу
- Если канистра была заполнена в теплый день, а открыта в жаркий день, то будет слышно шипение при её открытии
- В более холодный день воздух засасывается в канистру
- ДСП выше в жаркие дни и ниже в холодные, т.к. зависит от  $T$

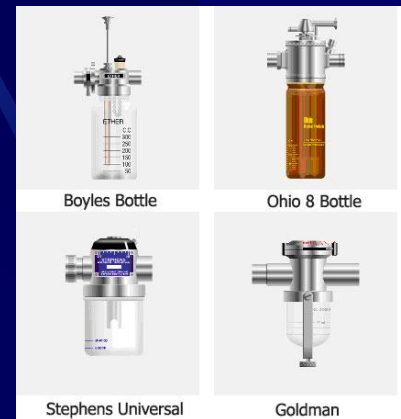
# Испарители

- Устройства для доставки безопасной концентрации летучего анестетика в дыхательный контур
- Анестетик заливается в испаритель в жидкой форме и выходит в виде пара в концентрации установленной анестезиологом
- У всех испарителей есть общие черты:
  - Камера испарения
  - Обходной канал
  - Современные созданы под конкретный препарат

# Испарители

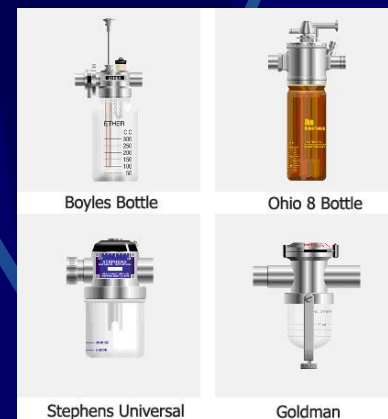
## Классификации

- **Drawover v plenum.** Drawover – газоток идет через испаритель по пути снижения сопротивления в контуре, а в Plenum газоток проходит через испаритель под давлением
- Специфично для препарата или для всех
- **T компенсация.** Поддерживает тот же выход анестетика при разных T. При её отсутствии надо менять установку, т.к. Анестетик охлаждается при испарении
- **Стабилизация по газотоку.** При каком разбросе потока выход надежен?
- Сопротивление газотоку? Какое усилие необходимо для подачи или высасывания газотока из испарителя?



# Испарители Классификация

- Комбинируя всё это можно разделить на 2 основные категории
- 1. Drawover or Plenum
- 2. Калиброванные и Некалиброванные

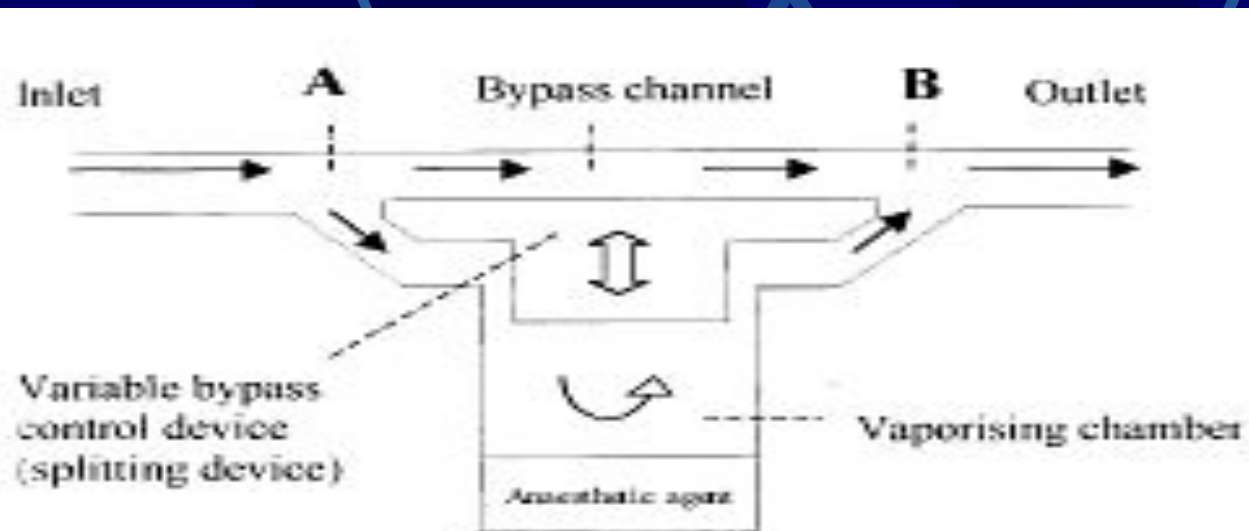


# Калибровка

- Это термин для описания точности работы испарителя в определенных границах
- Производители могут предоставить данные сравнения выхода анестетика с идеальными условиями
- Пример: Испаритель может быть откалиброван выдавать  $\pm 10\%$  от установки при газотоке от 2 до 10 л/мин
- За этими границами выход менее предсказуем



# Внутри Испарителя



*Figure 1: Basic elements of a vaporiser:*

*Carrier gas enters the inlet. At point A the gas is split into 2 streams, one passing along the bypass channel, the other directed into the vaporising chamber. Amount of flow into the vaporising chamber is controlled by the "splitting device". In the vaporising chamber the gas is saturated with anaesthetic vapour. At point B vapour mixes with the bypass gas, and then exits via the outlet.*

# Основные компоненты

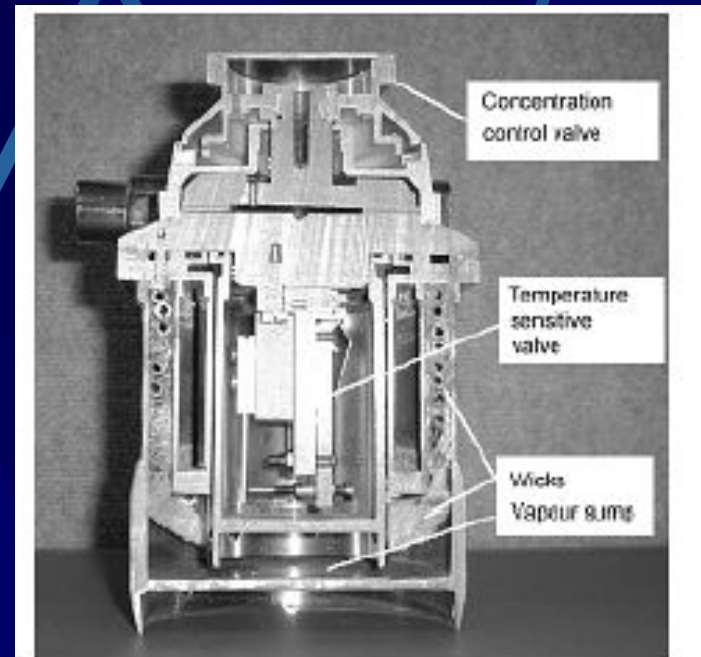
- Камера Испарения и Устройство Разделения Газотока
  - Анестетик доставляется больному газом через дыхательный контур
  - Анестетик нельзя просто подлить к контур, т.к. их ДСП слишком высоко и конечная концентрация будет слишком высока, что может вызвать передозировку
  - Испаритель для безопасной, предсказуемой и управляемой концентрации в дыхательный контур
  - Разделение газотока на 2 потока
    - Один через Камеру Испарения
    - Второй через Обходной Канал сразу в контур
- «Соотношение Разделения» - Этим и управляет анестезиолог

# Управление испарителем

- После испарителя в контуре эти 2 потока смешиваются
- При калибровке производитель исходит из того, что газ, идущий через испаритель полностью насыщается паром анестетика в известной концентрации
- Затем можно достичь желаемой концентрации изменяя «Соотношение Разделения», подмешивая к газу с анестетиком чистый газ
- Поэтому очень важно, чтобы Камера Испарения выдавала сатурированный пар анестетика.
- Это достигается следующими устройствами

# Фитили

- Для увеличения поверхности соприкосновения жидкости с газотоком, где происходит испарение для лучшей сатурации газа
- Без них концентрация пара не достигнет ДСП, т.к. лишком мало пара будет выходит с поверхности в единицу времени для подхватывания его газотоком
- Выходная концентрация будет падать
- Испаритель Goldman.



*Figure 2b: Cut-away view of a Fluotec2 halothane vaporiser (Cyprane, UK) Note the solid metal structure which acts as a heat sink and the wicks to aid vaporisation. Note the complex internal construction of the temperature compensation valve which causes high internal resistance in contrast to the EMO (figure 3a). This vaporiser cannot be used in a drawover mode.*

# Baffles

- Это пластины или каналы, обеспечивающие лучшее смешивание газа с паром для увеличения сатурации пара перед выходом его в контур

# Температурная компенсация

- Поскольку ДСП зависит от  $T$ , выход будет варьировать при разной  $T$
- При снижении  $T$  падает и ДСП и концентрация пара на выходе упадёт
- Меньше пара будет добавляться к газотоку и конечный % упадет
- Поэтому производители ввели устройства температурной компенсации

# Устройства для Температурной компенсации

- Чтобы снизить эффект охлаждения при испарении (латентное тепло) испарители делаются из металлов с высокой проводимостью, которые могут донировать тепловую энергию жидкому анестетику
- Большая масса такого материала называется “тепловой камерой”.
- Водяная баня в ЕМО, тяжелое медное основание у испарителей серии Тес

# Устройства для Температурной КОМПЕНСАЦИИ

- Биметаллические пластины (в серии Тес)
- 2 разных металла расширяются и сокращаются по разному при изменении  $T$ , открывая или закрывая выходное отверстие в Камере Испарения

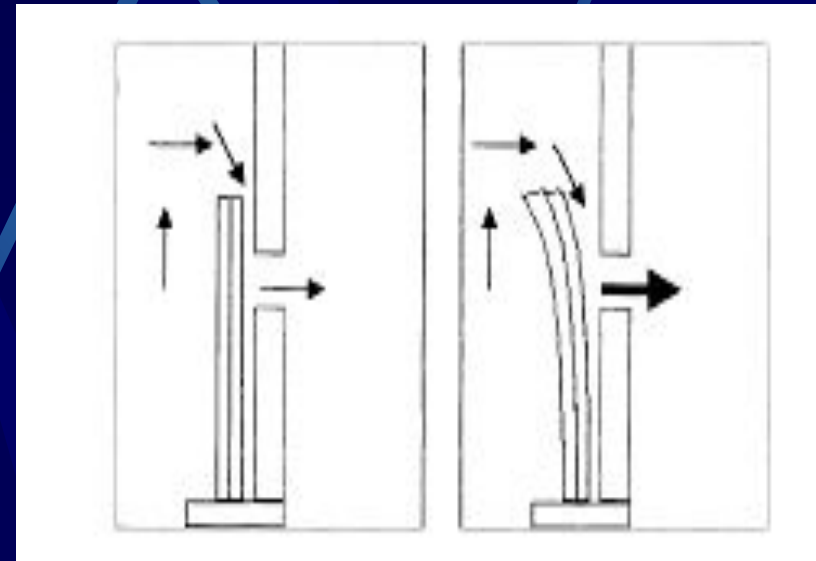


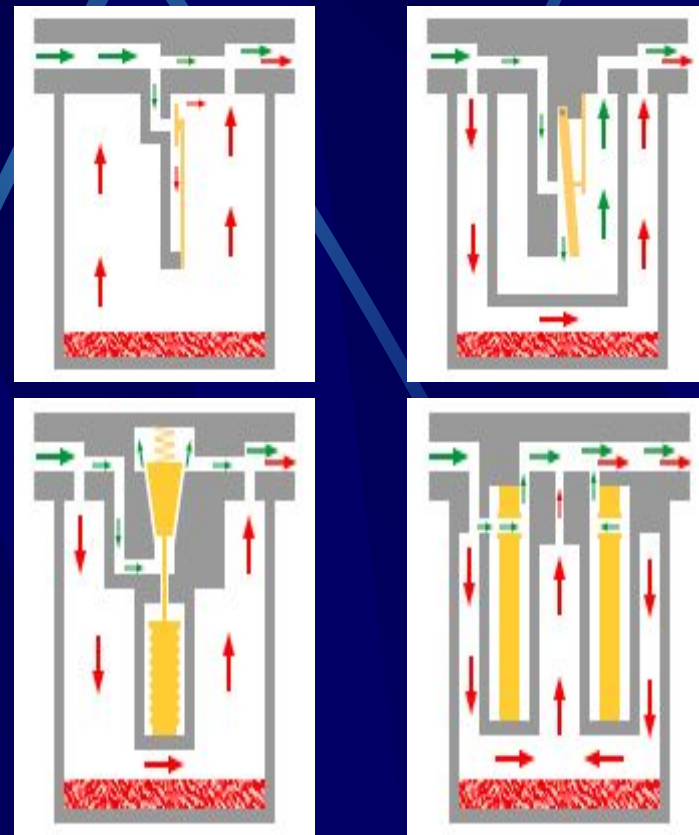
Figure 2a. Bimetallic strips

The two metals expand or contract in response to temperature, but at different rates such that the strip is forced to bend away from the aperture when the system cools, allowing more vapour out, and compensating for the decrease in vaporisation at the lower temperature.



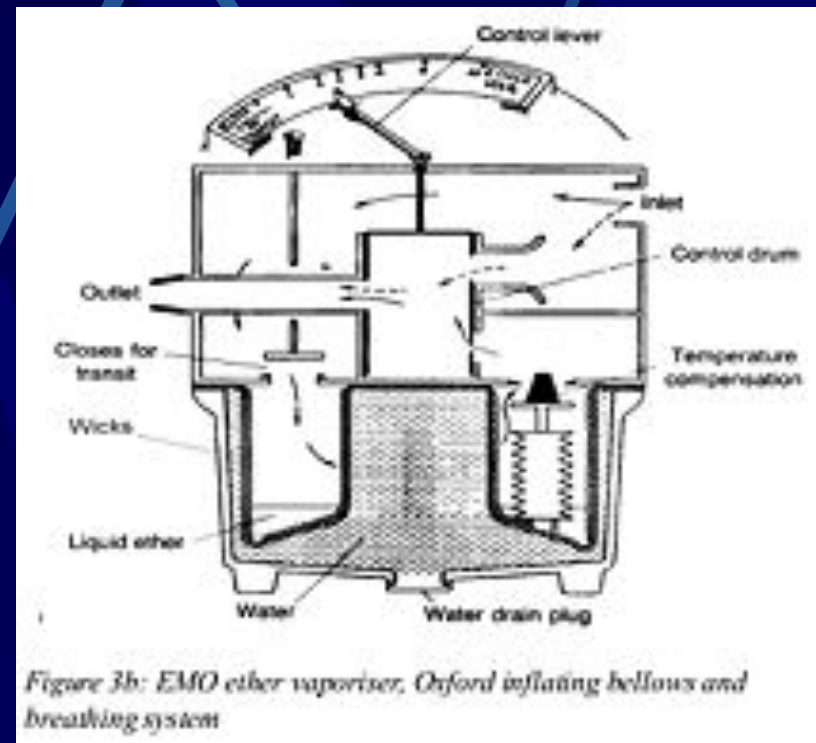
# Устройства для Температурной КОМПЕНСАЦИИ

- **Тес 2** – биметаллическая пластина снижает поток через камеру испарения при снижении  $T$
- **Тес 3** – биметаллическая пластина увеличивает поток через обходной канал при повышении  $T$
- **Ohio 100** – меха и клапан увеличивают поток через обходной канал при повышении  $T$
- **Dräger 19** – круговой клапан из разных металлов увеличивает поток через обходной канал при повышении  $T$



# Устройства для Температурной КОМПЕНСАЦИИ

- Межа, заполненные эфиром (Penlon) соединены с клапаном
- Межа меняют размер с изменением  $T$ , изменяя соотношение зазора и выхода анестетика
- При охлаждении пара межа спадаются и отверстие увеличивается и выход анестетика повышается



# **EMO Эфирный испаритель (Epstein, Macintosh, Oxford)**

- Прочный
- Водяная баня
- Эфирные меха для Т компенсации
- Индикатор уровня анестетика



*Figure 3a: The EMO ether vaporiser. Note the mass of water providing the heat sink, and the temperature compensation device - an ether filled bellows*

# Открытые методики (эфир и хлороформ)

- Маска Schimmelbusch и ингалятор Ogston
- Частота капель определяет вдыхательную концентрацию
- Важно число слоёв марли
- Может произойти охлаждение
- Защита глаз

# Испарители **PLENUM**

- Plenum это латинский термин, означающий “полный”. Противоположное вакууму
- Сконструированы для постоянного потока газа под давлением с высоким внутренним сопротивлением
- Современные испарители специфичны по анестетику и “стабилизированны по потоку”, т.е. работают в диапозоне газотока ( $\pm 20\%$  0.5-10 л/мин)

# Испарители Tec

- Т компенсация
- Биметаллическая пластина
- Фитили
- Массивное металлическое основание

Tec 4



Tec 5



Sevotec 5



Penlon Sigma

Delta



Penlon Sigma



Tec 6



'Tec 2

'Tec 3

Ohio 100

Drager 19

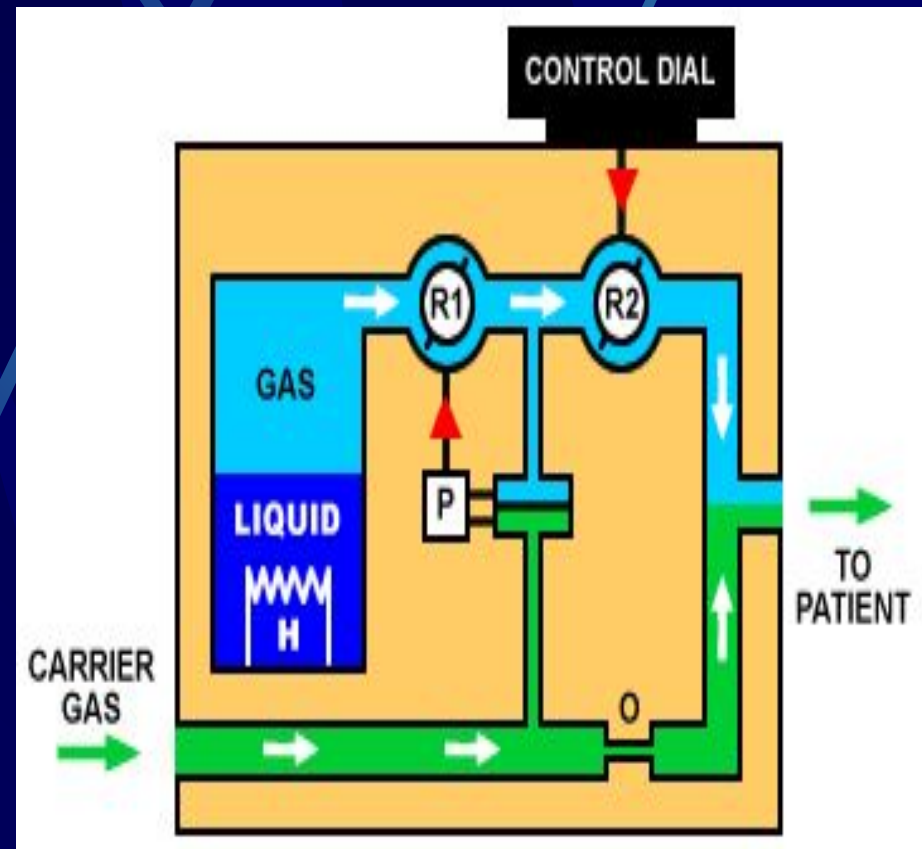
# Тес 6

- Дезфлюран очень летучий: при 22.8 С, его точка кипения и это делает невозможным использование обычного испарителя
- Тес 6 подогревает десфлюран выше его точки кипения в герметичной камере под давлением и смешивает чистый газ дезфлюрана с несущим газотоком



# Тес 6

- Подогрев до 39 С нагревательным элементом (H) и при этой T его ДСП 1300 mmHg
- Газоток регулируется рестриктором (O), чтобы давление газотока внутри испарителя было пропорционально общему газотоку
- Давление измеряется датчиком (P), который регулирует резистор (R1), чтобы поток Дез из испарителя был пропорционален газотоку
- Это позволяет конечной концентрации анестетика не зависеть от газотока
- Наружный регулятор контролирует резистор (R2), который определяет выход Дез и конечную его концентрацию
- Тес 6 питается от сети управляется электронно
- Поскольку камера испарения герметична, то требуется специальная насадка на флакон для введения в испаритель





# Увеличение выхода пара при низком потоке

- Происходит при низком потоке при ИВЛ, когда нарастает обратное давление на испаритель
- Давление в контуре и камере испарения возрастает во время вдоха
- Это ведет к движению пара назад из камеры испарения с забросом в обходной канал, когда давление падает на выдохе
- Обходной канал контаминируется, что ведет к неточной конечной концентрации
- Конструкторы уменьшили этот эффект увеличив внутренне сопротивление, что снижает обратный поток в камеру испарения
- Другими способами является «безвозвратный клапан», поддерживающий постоянное давление в камере испарения и удлиненные трубки выхода из испарителя с высоким сопротивлением (Drager)

## Эффект давления (снижение выхода пара при высоком газотоке)

- Положительное давление при ИВЛ при высоком газотоке сдавливает газовую смесь, концентрируя её
- Когда давление снижается (выдох), объём увеличивается, плотность газа снижается и концентрация анестетика падает

# Испарители

## Безопасность

- Индивидуальные насадки снижают риск использования не того анестетика
- Индикаторы уровня анестетика
- Стабилизирующие пластины насадки предупреждающие перевёртывание
- После блока ротаметров
- Интерлок предотвращает одновременное включение нескольких испарителей
- Мониторинг концентрации анестетика

# Потенциальные проблемы

- Перезаполнение может привести к непредсказуемой концентрации на выходе.
- Жидкий анестетик может попасть в обходной канал и увеличить выход
- Необходимо слить анестетик до рекомендуемого уровня по индикатору
- Перевертывание. Повышенный выход из-за попадания жидкого анестетика в обходной канал
- Нужно пропустить газоток в 10 л/мин в течении 10 мин или оставить на ночь
- Всё это может привести к передозировке анестетика особенно, если нет устройства для измерения концентрации анестетика в контуре

# Потенциальные проблемы

- Утечка часто происходит при неправильной установке испарителя на стойке испарителей и легко проверяется стандартной системой проверки аппарата
- Тес 6 могут давать утечку при заполнении, если у флакона дезфлюорана отсутствует резиновое кольцо на конце (*Anesth Analg* 2003;96:1534-5)
- Отказ электроники

# Заключение

- Невозможно рассказать о всех аспектах функции испарителей при разных условиях
- Надеюсь, что понимание описанных общих принципов позволит вам определить, что является безопасным и опасным, возможным и невозможным в конкретной клинической ситуации